รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การทำแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

โดย

รศ.ดร.นัยทัศน์ ภู่ศรัณย์

อ.อำพิน กันธิยะ

น.ส.นราพร เชาวน์วิทยางกูร

ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

พ.ศ. 2543

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่ายประจำปีงบประมาณ 2541 และ 2542 ผ่านทางคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นเงินทั้งสิ้น 240,000 บาท (สองแสนสี่หมื่นบาทถ้วน) ในฐานะหัวหน้าโครงการวิจัย ใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในงานวิจัยนี้จนสำเร็จเป็นรูปเล่มโดยสมบูรณ์

(รศ.ดร.นัยทัศน์ ภู่ศรัณย์)
หัวหน้าโครงการวิจัยฯ

บทคัดย่อ

จากการทดลองหาลักษณะเจลที่เหมาะสมจากสารข้นเหนียว 4 ชนิด คือ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ, แคปปา-คาร์ราจีแนน, โลคัสบีนกัม และโซเดียม-อัลจิเนท พบว่าสารข้นเหนียวที่สามารถให้ลักษณะเจลที่เหมาะสมในการทำแยม คือ การใช้ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ 0.7 เปอร์เซ็นต์ ในสภาวะที่เหมาะสมประกอบด้วย แคลเซียมคลอไรด์ 3 เปอร์เซ็นต์ (เปอร์เซ็นต์ของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ) และน้ำตาลซูโครส 20 บริกซ์ (ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย) หรือ ใช้แคปปา-คาร์ราจีแนน 0.6 เปอร์เซ็นต์ ในสภาวะที่เหมาะสมประกอบด้วย แคลเซียมคลอไรด์ 15 เปอร์เซ็นต์ (เปอร์เซ็นต์ของแคปปา-คาร์ราจีแนน) และน้ำตาลซูโครส 25 บริกซ์ (ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย) เมื่อทดลองทำแยมสับปะรดจากสารข้นเหนียวทั้ง 2 ชนิด ที่เปรียบเทียบกันโดยใช้เนื้อสับปะรดที่ปั่นละเอียดกับน้ำในอัตราส่วน 45:30 และมีค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 3.0-3.3 แยมสับปะรดที่ให้ค่าการประเมินผลทางประสาทสัมผัสที่ใกล้เคียงกับค่าทางอุดมคติมากที่สุด คือ แยมสับปะรดที่ทำจากสารข้นเหนียวชนิดเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ จากการทดลองใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล 2 ชนิด คือ แอสพาร์เทมหรือซอร์บิทอล์เติมลงในแยมสับปะรดที่ทำจากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำที่ประกอบด้วยน้ำตาล 14 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นปรับระดับความหวานของแยมด้วยสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลโดยเติมแอสพาร์เทม 0.15, 0.20, และ0.26 เปอร์เซ็นต์ หรือเติมซอร์บิทอล์ 53.33, 73.33 และ 94.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความหวานเท่ากับสารละลายซูโครสที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 40, 50 และ 60 บริกซ์ ตามลำดับ พบว่า แยมสับปะรดที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดได้จากการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลชนิดแอสพาร์เทม 0.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความหวานเท่ากับสารละลายซูโครสที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 50 บริกซ์ โดยไม่ทำให้โครงสร้างของแยมเปลี่ยนแปลง ค่าความแน่นแข็งของแยมที่ใช้แอสพาร์เทมมีค่ามากกว่าแยมที่ใช้ซอร์บิทอล์ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ และพบว่าการใช้แอสพาร์เทมที่ทุกระดับความเข้มข้นให้ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ แต่การใช้แอสพาร์เทมที่ 0.20 เปอร์เซ็นต์ จะให้ค่าการประเมินผลทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับค่าทางอุดมคติมากที่สุด และค่าการยอมรับโดยรวมมีค่ามากที่สุด ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ทำการพัฒนาแล้วมีค่าสีในรูปค่าสีฮันเตอร์ ค่า L เท่ากับ 44.67 ค่า a* เท่ากับ –1.74 และค่าสี b* เท่ากับ 11.89 มีค่าแรงกดเท่ากับ 0.42 นิวตัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.31 มีปริมาณกรดทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์กรดซิตริก)เท่ากับ 0.77 เปอร์เซ็นต์ มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เท่ากับ 22 บริกซ์

มีค่าน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ท น้ำตาลทั้งหมด และปริมาณแอสพาร์เทม เท่ากับ 4.16, 18.45 และ 0.18 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าพลังงานเท่ากับ 61.38 กิโลแคลอรี่ต่อ 100 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับ 260 กิโลแคลอรี่ต่อ 100 กรัม ในแยมปกติ ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ได้มีการยอมรับเป็นอย่างดีของผู้บริโภคทั้งในด้านลักษณะสีของแยมสับปะรด การกระจายของสับปะรด การกระจายของแยม ความแข็งแรงของแยม ความหนืดแยม กลิ่นสับปะรด รสหวาน รสขม รสเย็นซ่า รสหวานติดลิ้น รสเปรี้ยวและการยอมรับรวม โดยมีค่า mean ideal ratio scores ของลักษณะดังกล่าวเท่ากับ 0.95, 1.00, 1.00, 0.95, 0.95, 0.95 1.00, 0.99, 0.99, 0.96, 0.90 และ 0.90 ตามลำดับ จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ค่าสี L ค่าสี b* แรงกด และค่าความเป็นกรด-ด่าง มีปริมาณลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าสี a* ปริมาณกรดทั้งหมด และน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ท มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่า ผู้บริโภคมีความพอใจต่อผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ และผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสน่าจะมีอายุการเก็บอยู่ได้ไม่น้อยกว่า 12 สัปดาห์ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสน่าจะมีอายุการเก็บอยู่ได้นาน 6 สัปดาห์

Abstract

Four types of thickeners, low-methoxyl pectin, K-carrgeenan, locust bean gum and Na-alginate, for making of low calory jam were investigated. It was found that low-methoxyl pectin of 0.7 %, calcium cholride of 3 %(based on low-methoxyl pectin), and sucrose of 20 brix or K-carrageenan of 0.6 %, calcium cholride of 15 % (based on K-carrageenan) and sucrose of 25 brix were the optimal conditions. Making of pineapple jam,quantity of pineapple and water in the ratio of 45:30 and pH 3.0-3.3, by employing those 2 thickeners was also studied. It was revealed that the organoleptic test of jam made of low-methoxyl pectin was closed to the ideal profile than jam made of K-carrageenan. Then, two types of non nutritive sweeteners, aspartame and sorbitol were employed in pineapple jam consisted of 14 % of sucrose.The equivalent sweetneess was adjusted to sucrose syrup of 40, 50 and 60 brix with aspartame of 0.15, 0.20 and 0.26 % or with sorbitol of 53.33, 73.73 and 94.14 %,respectively. It was found that low calory jam substituted with aspartame of 0.20%,at the equivalent sweetness of 50 brix of sucrose syrup, was highly accepted. Gel strength of low calory pineapple substituted with aspartame was significant higher than that of jam substituted with sorbitol at $p \leq 0.05$.Organoleptic test of all jam samples substituted with aspartame was not significant different.The organoleptic test of jam substituted with aspartame of 0.2% was closed to that of the ideal profile jam.Its overall acceptance was the highest. The colour of the low calory pineapple jam in term of Hunter value, colour L, a* and b* were 44.67, -1.74 and 11.89 respectively, and the puncture force of 0.42 newton was obtained. The pH, total acidity (as citric acid), total soluble solid, reducing sugar before the inversion, total sugar and also aspartame content of the low calory pineapple jam of 3.31, 0.77%, 22 brix, 4.16%, 18.45%, and 0.18% were achieved, respectively. The energy of 61.38 kcal / 100 g of the low calory pineapple jam was obtained, compared to 260 kcal / 100 g in normal jam. Mean ideal ratio scores of the low calory pineapple jam in term of colour, pineapple spread, jam spread, strength, viscosity, odour, sweetness, bitterness, cooling, lingering sweetness, sourness and

overall acceptance were 0.95, 1.00, 1.00, 0.95, 0.95, 0.95, 1.00, 0.99, 0.99, 0.96, 0.96 and 0.90 respectively. Shelf life of the low calory pineapple jam kept at 5°C and 35°C for 12 weeks were investigated. It was found that colour L and b*, puncture force and pH decreased along with time. On the other hand, colour a*, total acidity and reducing sugar before inversion increased along with time. It was revealed that the rate of changes of the low calory pineapple jam kept at 35°C was faster than that at 5 °C. No microorganisms was detected during storage for 12 weeks at both temperature.Organoleptic test of the low calory pineapple jam kept at 5°C was significant better than that at 35°C. Shelf life of the low calory pineapple jam kept at 5°C and 35°C were at less 12 and 6 weeks, respectively.

สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบาญตาราง	ฌ
สารบาญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการ ทฤษฎี เหตุผล และ/หรือ สมมติฐาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 นิยามและลักษณะของผลิตภัณฑ์แยม	4
2.2 การผลิตแยม	5
2.2.1 วัตถุดิบ	5
2.2.2 การให้ความร้อน	6
2.2.3 การบรรจุ	7
2.3 การเกิดเปกตินเจลในแยมปกติ	8
2.3.1 เปกติน (pectin)	8
2.3.2 น้ำตาล	11
2.3.3 กรด	12
2.4 สมดุลขององค์ประกอบในผลิตภัณฑ์	12
2.5 การผลิตแยมแคลอรี่ต่ำ	13
2.5.1 การเลือกใช้สารชั้นเหนียวที่เหมาะสมในการทำให้เกิดเจลทดแทนเปกติน	13
2.5.2 การใช้สารให้ความหวานที่มีแคลอรีต่ำแทนความหวานจากน้ำตาล	23

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีทดลอง	32
3.1 วัสดุอุปกรณ์	32
3.1.1 วัตถุดิบ	32
3.1.2 สารเคมี	32
3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตแยม	33
3.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ	34
3.1.5 เครื่องประมวลผลข้อมูลทางสถิติ	35
3.2 วิธีการทดลอง	35
3.2.1 การทำเจลชนิดมาตรฐานจากเปกตินชนิด 150 เกรด	35
3.2.2 ศึกษาการเกิดเจลโดยใช้สารข้นเหนียว (Thickeners) ชนิดต่าง ๆ	36
3.3 ทดลองทำแยมสับปะรด	41
3.4 ศึกษาการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลในแยมสับปะรด	42
3.5 การวิเคราะห์ผลและตรวจสอบแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ	43
3.6 ศึกษาอายุการเก็บของแยมแคลอรี่ต่ำ	43
3.6.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ	44
3.6.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	44
3.6.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์	44
3.6.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	45
4.1 ผลการทดลองทำเจลมาตรฐานจากเปกตินชนิด 150 เกรด	45
4.2 ผลการศึกษาการเกิดเจลโดยใช้สารข้นเหนียว (Thickeners) ชนิดต่าง ๆ	46
4.2.1 ผลการศึกษาการเกิดเจลของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ	46
4.2.2 ผลการศึกษาการเกิดเจลโดยใช้สารข้นเหนียวคาร์ราจีแนน	51
4.3 ผลการทดลองทำแยมสับปะรด	54
4.4 ผลการศึกษาการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลในแยมสับปะรด	58
4.5 สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ	66

หน้า

4.5.1 สูตรการผลิตผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ 66

4.5.2 ขั้นตอนการผลิตแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ 66

4.5.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ผลิตโดยใช้สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม 67

4.6 ผลการศึกษาคุณภาพของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษา 70

4.6.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ 70

4.6.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี 77

4.6.3 ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส 83

4.6.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ 97

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 98

5.2 ข้อเสนอแนะ 101

เอกสารอ้างอิง 102

ภาคผนวก 107

ภาคผนวก ก. รูปภาพประกอบการทำแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ 108

ภาคผนวก ข. แบบสอบถาม 115

ภาคผนวก ค. วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา 123

ภาคผนวก ง. วิธีวิเคราะห์เปกติน 134

ภาคผนวก จ. วิธีวิเคราะห์หาแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์ด้วยวิธี LC 137

ภาคผนวก ฉ. วิธีวิเคราะห์หาพลังงานของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ 140

สารบาญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แผนการทดลองแบบ 23 Factorial Design + 4 center points	37
3.2	แผนการทดลองแบบ 2x3 Factorial experiment in randomized complete block design	42
4.1	ผลค่าแรงกดของเจลมาตรฐานที่วัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron series 5500)	45
4.2	ค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ทางกายภาพของเจลที่ได้จากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ	47
4.3	ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์ทางเคมีของเจลที่ได้จากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ	48
4.4	ค่าเฉลี่ยของการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของเจลที่ได้จากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ	49
4.5	สมการที่ยังไม่ได้ถอดรหัสของลักษณะต่าง ๆ ของเจลที่ได้จากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ	50
4.6	ค่าวิเคราะห์ทางด้านกายภาพของเจลที่ได้จากคาร์ราจีแนน	51
4.7	ค่าวิเคราะห์ทางเคมีของเจลที่ได้จากคาร์ราจีแนน	52
4.8	ค่าเฉลี่ยของผลการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของเจลที่ได้จากคาร์ราจีแนน	53
4.9	สมการที่ยังไม่ได้ถอดรหัสของลักษณะต่าง ๆ ของเจลที่ได้จากคาร์ราจีแนน	54
4.10	ค่าเฉลี่ยของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของแยมสับปะรดที่ทำจากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำและคาร์ราจีแนน	55
4.11	ค่าการวิเคราะห์ทางด้านเคมีและทางกายภาพของแยมสับปะรดที่ทำจากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำและคาร์ราจีแนน	56
4.12	ค่าเฉลี่ยของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของแยมสับปะรดที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล 2 ชนิด ในระดับความหวานที่แตกต่างกัน	58
4.13	ค่าการวิเคราะห์ทางเคมีและทางด้านกายภาพของแยมสับปะรดที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล 2 ชนิด ในระดับความหวานแตกต่างกัน	59
4.14	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ	67
4.15	ค่า mean ideal ratio score ของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ	68

ตารางที่ **หน้า**

4.16	ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	72
4.17	ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	73
4.18	ผลการวิเคราะห์ค่าแรงกดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส	76
4.19	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	78
4.20	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	79
4.21	ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	83
4.22	ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	84
ค-1	Invert Sugar Table for 10 ml. Fehling's Solution	129
ค-2	ตารางเอ็มพีเอ็นสำหรับ 3 หลอด	133

สารบาญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การเกิดเอสเทอร์ของหมู่เมธิลบนโซ่ของกรดกาแลกทูโรนิก	8
2.2	หมู่ฟังก์ชั่นในเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ (a) carboxyl (b) ester (c) amide	11
2.3	โครงสร้างการเกิดเจลของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ	14
2.4	กลไกการเกิดเจลของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำด้วยแคลเซียมอิออน	15
2.5	ความคงตัวของสารละลายเปกตินเมธ็อกซิลต่ำและเปกตินเมธ็อกซิลสูง เมื่อถูกต้มในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างกัน	16
2.6	กลไกการเกิดเจลของคาร์ราจีแนน	18
2.7	กลไกการเกิดเจลของคาร์ราจีแนนเมื่อมีการเติมโลหะอิออนลงไปด้วย	19
2.8	กลไกการเกิดเจลของอัลจิเนท	20
2.9	โครงสร้างเจลของอัลจิเนท	21
2.10	โครงสร้างบางส่วนของกลูโคแมนแนนในแป้งบุก	22
2.11	โครงสร้างทางเคมีของแอสพาร์เทม	24
2.12	กลไกการเปลี่ยนแปลงของแอสพาร์เทมเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม	25
2.13	ความคงตัวของสารละลายแอสพาร์เทมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	26
2.14	ความคงตัวของสารละลายแอสพาร์เทมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	27
2.15	ครึ่งชีวิตของสารละลายแอสพาร์เทมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในสภาวะต่าง ๆ	27
4.1	แผนภาพเค้าโครงในการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสระหว่างแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำกับแยมในอุดมคติ	57
4.2	การกระจายของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์	60
4.3	ความแข็งแรงของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์	60
4.4	ความหนืดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์	61
4.5	ความหวานของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์	62
4.6	ความเปรี้ยวของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์	62
4.7	ความเย็นซ่าของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์	63

ภาพที่ หน้า

4.8 ความชมของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์ 63

4.9 ความหวานติดลิ้นของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์ 64

4.10 ค่าแรงกดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์ 65

4.11 แผนภาพเค้าโครงในการวิเคราะห์ด้านประสาทสัมผัสของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ 69

4.12 ผลการวิเคราะห์ค่าสี L ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 74

4.13 ผลการวิเคราะห์ค่าสี a* ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 74

4.14 ผลการวิเคราะห์ค่าสี b* ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 75

4.15 ผลการวิเคราะห์ค่าแรงกดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 77

4.16 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 79

4.17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 80

4.18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ทของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 82

4.19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 82

4.20 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะสีของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 85

4.21 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสจากลักษณะการกระจายตัวของสับปะรดในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 86

ภาพที่ หน้า

4.22 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะการกระจายตัวของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 87

4.23 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะความแข็งแรงของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 88

4.24 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะความหนืดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 89

4.25 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะกลิ่นสับปะรดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 90

4.26 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะความหวานของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 91

4.27 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะความขมของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 92

4.28 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะความเย็นซ่าของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 93

4.29 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะความหวานติดลิ้นของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 94

4.30 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะความเปรี้ยวของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 95

4.31 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะการยอมรับโดยรวมของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 96

ก-1 เปรียบเทียบเจลมาตรฐานกับเจลที่ทำจากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำและคาร์ราจีแนน 109

ก-2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron series 5500) 109

ก-3 การวัดเนื้อสัมผัสเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron sereis 5500) 110

ภาพที่ หน้า

ก-4 แยมสับปะรดที่ทำจากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำและคาร์ราจีแนน 110

ก-5 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 111

ก-6 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซีย 111

ก-7 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 112

ก-8 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 112

ก-9 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 113

ก-10 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 113

ก-11 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 114

ก-12 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส 114

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการ ทฤษฎี เหตุผล และ/หรือ สมมติฐาน
(Principles Theory Rational and/or Hypothesis)

แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด เป็นผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ถนอมรักษาด้วยน้ำตาลความเข้มข้นสูง (ไม่น้อยกว่า 65 เปอร์เซ็นต์) ผลิตภัณฑ์ทั้งสามมีลักษณะที่เหมือนกัน คือ การเป็นเจลที่ยืดหยุ่นคงรูปอยู่ได้และผลิตภัณฑ์จะกระจายตัวออกแผ่ไปได้อย่างสม่ำเสมอเมื่อป้ายลงบนขนมปัง

ลักษณะการเป็นเจลของผลิตภัณฑ์แยมจะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญสามประการ คือ

1. ความเข้มข้นของน้ำตาลจะต้องไม่น้อยกว่า 65 เปอร์เซ็นต์
2. ความเป็นกรด-ด่าง ของผลิตภัณฑ์ จะอยู่ในช่วง 2.9-3.1
3. เปกตินซึ่งเป็นสารข้นเหนียว (Thickening agent) จะใช้เติมลงในแยมประมาณช่วง 1.0-1.5 เปอร์เซ็นต์ จึงจะได้ผลิตภัณฑ์แยมที่มีลักษณะเนื้อแข็งพอดีไม่อ่อนหรือแข็งเกินไป

แนวโน้มในการบริโภคอาหารในปัจจุบัน พบว่า ผู้บริโภคจะคำนึงถึงอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น จึงมีการแนะนำให้ลดการใช้น้ำตาลซูโครสในอาหารให้น้อยลง เนื่องมาจากการบริโภคน้ำตาลซูโครสมากเกินไปจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้ เช่น ฟันผุ มีไตรกลีเซอไรด์สูงในเลือด ลำไส้ใหญ่อุดตัน โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคอ้วน โรคผิวหนังอักเสบ และมีผลเสียต่อการมองเห็น (ศิริลักษณ์ , 2533)

ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลอยู่สูง และควรหลีกเลี่ยงในการบริโภค (Darren,1996)เช่น

1. ผลไม้ที่มีน้ำตาลอยู่สูง เช่น ทุเรียน ลำไย
2. ลูกกวาดและช็อกโกแลต
3. เครื่องดื่มต่าง ๆ เช่น น้ำลำไย น้ำตาลสด
4. น้ำเชื่อม เช่น น้ำเชื่อมข้าวโพด

5. ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น เค้ก

6. โยเกิร์ต

7. แยมและเยลลี่

8. มันฝรั่งอบ เพราะการอบจะไฮโดรไลซ์คาร์โบไฮเดรตให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาล

9. ซอสต่าง ๆ เช่น ซอสมะเขือเทศ

10. ไอศกรีม

องค์การอนามัยโลกได้สนับสนุน ให้ลดการบริโภคน้ำตาลลง โดยควบคุมให้อยู่ในช่วง 0-10 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ได้รับจากอาหารทั้งหมด(Black,1993) ส่งผลให้เกิดความต้องการของผลิต-ภัณฑ์ที่ปราศจากน้ำตาลเพิ่มขึ้นทั่วโลก ดังเช่น จากการสำรวจประชากรออสเตรเลียในปี ค.ศ1995 พบว่าประชากรชาวออสเตรเลียถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ที่มีการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากน้ำตาลทุกวัน, ในประเทศสแกนดิเนเวียมีหมากฝรั่งที่ปราศจากน้ำตาลถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และมีลูกอมที่ปราศจากน้ำตาลถึง 46 เปอร์เซ็นต์ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์, 30 เปอร์เซ็นต์ในประเทศอิตาลี และ20 เปอร์เซ็นต์ในประเทศเยอรมันนี (Carlon, 1996)

จากข้อมูลดังกล่าวเป็นการสนับสนุนการลดน้ำตาลในอาหารที่มีแคลอรี่สูง สำหรับในประเทศไทยผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการใช้น้ำตาลเป็นหลัก ได้แก่ แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีแคลอรี่สูงถึง 260 กิโลแคลอรี่ ต่อ 100 กรัม (ชมรมวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ, 2537) อาจจะส่งผลถึงอุตสาหกรรม แยม เยลลี่ และมาร์มาเลดในอนาคตได้หากยังไม่มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้การทำแยมแคลอรี่ต่ำน่าจะเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ตามความนิยมของผู้บริโภค

1.2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา (Purposes of the Study)

1.ศึกษาการใช้สารให้ความหวานที่มีแคลอรี่ต่ำทดแทนน้ำตาล

2.ศึกษาการใช้สารข้นเหนียวที่เหมาะสมเพื่อเกิดลักษณะเจลของผลิตภัณฑ์

3.ศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์แยมแคลอรี่ต่ำของผู้บริโภค

1.3. ประโยชน์ที่จะได้คาดว่าจะได้รับ (Education Advantages)

1.ทราบชนิดและปริมาณของสารให้ความหวานที่มีแคลอรี่ต่ำที่เหมาะสมต่อการผลิตแยมสับปะรด

2.ทราบชนิดและปริมาณของสารข้นเหนียวที่เหมาะสม

3.ทราบองค์ประกอบของแยมแคลอรี่ต่ำซึ่งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

4.ทราบอายุการเก็บรักษาของแยมแคลอรี่ต่ำ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย (Scope of Research)

แบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน คือ

1. การทำเจลมาตรฐานจากเปกติน 150 เกรด
2. ศึกษาการเกิดเจลโดยใช้สารข้นเหนียวชนิดต่าง ๆ
3. ทดลองทำแยมสับปะรด
4. ศึกษาการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลในแยมสับปะรด
5. การวิเคราะห์ผลและตรวจสอบแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ
6. ศึกษาอายุการเก็บของแยมแคลอรี่ต่ำ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การผลิต แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด จัดเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญอย่างหนึ่งในปัจจุบัน และเป็นช่องทางการนำผลไม้ที่ยังมีคุณภาพดี ไม่เน่าเสีย แต่ไม่เหมาะกับการใช้งานสำหรับจุดประสงค์อื่น เช่น มีรูปร่างผิดปกติ มีสีและขนาดไม่ได้ตามมาตรฐาน รวมทั้งเป็นการนำส่วนเหลือใช้ เช่น เปลือก แกน ผลที่มีรอยช้ำแต่ยังไม่เน่า มาใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ (กิตติพงษ์, 2536)

2.1 นิยามและลักษณะของผลิตภัณฑ์แยม

แยม ตามนำนิยามของ FDA ในปี 1936 แยม คือ ผลิตภัณฑ์ซึ่งได้จากการต้มส่วนที่บริโภคได้ของผลไม้กับน้ำตาลซูโครส หรือ เดกซ์โตรส อาจเติมเครื่องเทศ น้ำ น้ำส้มสายชู และกรดอินทรีย์ที่ไม่เป็นอันตราย แต่ไม่นับรวมกรดอินทรีย์หรือเกลือของกรดอินทรีย์ที่ใช้เป็นสารกันบูด(preservative) เคี่ยวจนมีความหนืดเหมาะสม ได้ผลิตภัณฑ์ที่สะอาดมีคุณภาพดี โดยกำหนดว่าจะต้องใช้ผลไม้ไม่น้อยกว่า 45-47 ส่วน ขึ้นกับชนิดของผลไม้ ต่อน้ำตาล 55 ส่วน กรณีที่ผลไม้ที่ใช้มีเปกตินต่ำ อาจเติมเปกตินลงไปได้ แต่ต้องใช้สัดส่วนของผลไม้ต่อน้ำตาลไม่ต่ำกว่านี้ ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมเปกตินจะต้องมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่ต่ำกว่า 65 บริกซ์ (กิตติพงษ์, 2536 และ Baker, 1996)

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ในปี 2521 ได้กำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์แยม แยมเป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อผลไม้กับสารให้ความหวาน อาจผสมน้ำผลไม้ หรือ น้ำผลไม้เข้มข้นด้วย แล้วทำให้มีความข้นเหนียว หรือกึ่งแข็งกึ่งเหลวพอเหมาะสำหรับใช้ทา (spreadibility) มีสี กลิ่นรส ตามชนิดของผลไม้ที่ใช้ทำ อาจใช้สีผสมอาหารที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในการปรุงแต่งสีได้ และได้แบ่งแยมเป็นสองประเภทใหญ่ ๆ คือ ประเภทที่มีเนื้อผลไม้ทั้งหมดไม่ต่ำกว่า 45 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก และ ประเภทที่มีเนื้อผลไม้ไม่ต่ำกว่า 33 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก ผลไม้ที่ใช้อาจใช้ผลไม้ชนิดเดียวหรือผลไม้ผสมหลายชนิด กรณีที่ใช้ผลไม้ชนิดเดียว ถ้าใช้ฝรั่งต้องมีเนื้อผลไม้ไม่น้อยกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ ถ้าใช้เนื้อมะม่วงหิมพานต์ต้องมีเนื้อผลไม้ไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ถ้าใช้กระเจี๊ยบ ขิง มะม่วง จะต้องมีเนื้อผัก ผลไม้ ไม่น้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์

กรณีที่ใช้ผลไม้ 2 ชนิด จะต้องมีส่วนที่เป็นผลไม้ชนิดหลัก 50-75 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักส่วนที่เป็นผลไม้ทั้งหมด ยกเว้น ผลไม้จำพวก แตง มะละกอ อาจมีได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักส่วนที่เป็นผลไม้ทั้งหมด สำหรับ มะนาว ขิง จะต้องมีเนื้อผัก ผลไม้ ไม่น้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ส่วนผสมหลักอาจมากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ได้ กรณีที่ใช้ผลไม้ 3 ชนิด จะต้องมีส่วนที่เป็นผลไม้ชนิดหลัก 33.3-75.0 เปอร์เซ็นต์ ของส่วนที่เป็นผลไม้ทั้งหมด และกรณีที่ใช้ผลไม้ 4 ชนิด จะต้องมีส่วนที่เป็นผลไม้ชนิดหลัก 25-75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนที่เป็นผลไม้ทั้งหมด (มอก.263,2521)

2.2 การผลิตแยม

2.2.1 วัตถุดิบ

วัตถุดิบหลักที่จำเป็นในการผลิตแยม คือ ผลไม้ เปกติน น้ำตาล และกรด นอกจากนี้อาจมีการเติมสารกันบูด หรือ สารกันการเกิดฟองด้วยก็ได้ (Baker, 1996)

2.2.1.1 ผลไม้ :- ผลไม้ที่ใช้ควรจะแก่และสุกเต็มที่ แต่ไม่ควรสุกงอมเกินไป เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรส และเนื้อสัมผัสที่ดี เพราะผลไม้ที่สุกงอมเกินไปนั้น เอนไซม์ตามธรรมชาติที่มีในผลไม้จะทำลายโครงสร้างของสารประกอบเปกติน ดังนั้นกรณีที่จำเป็นต้องนำผลไม้ที่สุกงอมเกินไปไม่เหมาะสมกับการแปรรูปอย่างอื่นมาผลิตแยม จึงต้องมีการเติมเปกตินหรือเติมสีสังเคราะห์ลงไป เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพและลักษณะปรากฏดีขึ้น สำหรับผลไม้ที่ยังไม่สุก หรือ สุก ๆ ดิบ ๆ นั้น สารประกอบเปกตินที่มีในผลไม้นั้น ไม่สามารถละลายน้ำได้ จึงยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตแยม (Broomfield, 1996 และ Pilgrim, 1991)

ผลไม้ที่เหมาะสมที่จะใช้ทำแยม ควรเป็นผลไม้พันธุ์ที่มีปริมาณน้ำตาลและกรดเพียงพอ รวมทั้งจะต้องมีสีสวย, มีกลิ่นรสที่ดี และควรเป็นผลไม้ที่สดด้วย แต่ในธรรมชาติการจะหาผลไม้ที่มีลักษณะดังกล่าวครบถ้วนเป็นไปได้ยาก การผลิตแยมจึงต้องเติมเปกตินหรือกรดลงไป เพื่อให้มีปริมาณสารเหล่านั้นเพียงพอและเหมาะสมในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์ (กิตติพงษ์, 2536)

อุตสาหกรรมแยมสามารถหาแหล่งของผลไม้ ได้ถึง 5 ทางคือ (Bhatia, 1997)

1. ผลไม้สด
2. ผลไม้แช่เยือกแข็ง
3. ผลไม้กระป๋อง หรือ ผลไม้ที่ถูกถนอมรักษาด้วยความเย็น
4. ผลไม้ที่ถนอมรักษาด้วย สารประกอบพวกกำมะถัน
5. ผลไม้แห้ง

การเตรียมผลไม้ก่อนการผลิตแยม จะต้องทำการล้างทำความสะอาด พวกที่มีเปลือกหรือเมล็ดจะถูกปอกเปลือก หรือ คว้านเมล็ดออก แยกเอาเฉพาะส่วนเนื้อที่รับประทานได้มาใช้ จากนั้นทำผลไม้ให้เป็นชิ้นเล็ก จะใช้วิธีใดขึ้นกับชนิดของผลไม้ เช่น อาจใช้วิธี หั่น สับ บด หรือต้มจนเละก็ได้ (Broomfield, 1996)

2.2.1.2 สารให้ความหวาน :- สารให้ความหวานที่นิยมใช้จะเป็นน้ำตาลซูโครส นอกจากนี้อาจมีการใช้น้ำตาลชนิดอื่น เช่น น้ำเชื่อมฟรักโทส (high fructose syrup) หรือ น้ำเชื่อมอินเวอร์ท (invert syrup) ในการใช้น้ำตาลเหล่านี้ต้องพิจารณาถึงน้ำตาลอินเวอร์ทที่มีอยู่ด้วยเพราะจะมีผลต่อคุณภาพของแยม ด้านการแข็งตัวของแยม และอาจเกิดการตกผลึกขึ้นได้ (Broomfield, 1996)

2.2.1.3 กรด :- กรดที่นิยมใช้ในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมของแยม คือ กรดซิตริก กรดมาลิก (Broomfield, 1996)

2.2.1.4 เปกติน :- เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากเปลือกของผลไม้ตระกูลส้ม และยังพบเป็นส่วนประกอบในเนื้อผลไม้บางชนิดด้วย เช่น แอปเปิล ฝรั่ง นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์แยมเพื่อทำหน้าที่เป็นสารทำให้เกิดเจล (gelling agent) (Baker, 1991)

2.2.2 การให้ความร้อน

ทำการต้มผลไม้ พร้อมกับเติมน้ำตาลส่วนหนึ่งลงไปเพื่อให้น้ำตาลดึงน้ำออกจากผลไม้ ผลไม้ที่มีเนื้อแข็ง อาจเติมน้ำลงไปพร้อมกับเนื้อผลไม้ด้วย กรณีที่ต้องการเติมเปกติน จะแบ่งน้ำตาลไว้ส่วนหนึ่ง เพื่อผสมกับเปกตินก่อนเติม จะทำให้เปกตินละลายดีขึ้นและไม่จับตัวเป็นก้อน (กิตติพงษ์, 2536)

วิธีการให้ความร้อนแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

1. วิธีการให้ความร้อนภายใต้สภาวะบรรยากาศ โดยใช้ภาชนะที่เป็นเหล็กปลอดสนิม และใช้ไอน้ำเป็นแหล่งให้ความร้อน โดยจะให้ความร้อนพร้อมกับมีการคนตลอดเวลา เพื่อป้องกันการไหม้ที่อาจเกิดขึ้น

2. วิธีการให้ความร้อนภายใต้สภาวะสุญญากาศ เป็นการให้ความร้อนภายใต้ความดันโดยใช้ความดันประมาณ 8.8 บาร์ หรือประมาณ 26 นิ้วปรอท ภายในภาชนะปิดสนิท เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งการให้ความร้อนโดยวิธีนี้ อาจจะเป็นได้ทั้ง กระบวนการผลิตแยมแบบต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่องก็ได้

ในช่วงท้ายของการให้ความร้อน จึงทำการเติมเปกตินที่ผสมกับน้ำตาลที่เหลือ กรด สี กลิ่น และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เหลือลงไป ก่อนหยุดให้ความร้อน จะต้องตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านต่าง ๆ โดยจะทำการตรวจสอบ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ท และ ค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์ (Bloomfield, 1996)

2.2.3 การบรรจุ

เมื่อการให้ความร้อนสิ้นสุดลงแล้วจึงทำการลดอุณหภูมิลงทันที โดยให้อยู่ในช่วง 82-85° ซ ก่อนทำการบรรจุแยมลงในภาชนะบรรจุเพื่อ

1. ทำให้เกิดการแข็งตัวของเจล
2. ทำให้เนื้อผลไม้กระจายตัวอย่างทั่วถึง เพราะถ้าบรรจุขณะที่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สูงเกินไป จะทำให้ชิ้นผลไม้ลอยตัวอยู่ด้านบน
3. ลดการเปลี่ยนแปลงบางอย่างที่ไม่ต้องการ เช่น ลดการเกิดสีคล้ำ และลดการเปลี่ยนซูโครสเป็นน้ำตาลอินเวอร์ทที่มากเกินไป

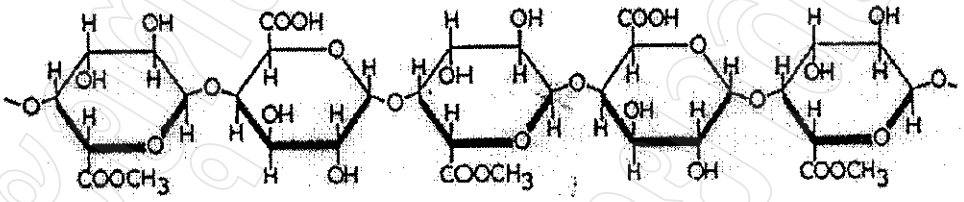
ภาชนะบรรจุแยมในปัจจุบันนิยมใช้ ขวดแก้ว หรือ ขวดพลาสติก หลังการบรรจุอาจทำการฆ่าเชื้อที่อาจติดมาในส่วนช่องว่างเหนือภาชนะบรรจุอีกครั้ง โดยการให้ความร้อนที่ 82° ซ เป็นเวลา 3 นาที และแยมที่ผลิตโดยวิธีการให้ความร้อนภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งใช้อุณหภูมิต่ำ ก็จะต้องผ่านการฆ่าเชื้อหลังการบรรจุอีกครั้ง โดยให้ความร้อนที่ 85-95° ซ 30 นาที เพื่อฆ่ายีสต์ซึ่งอาจปะปนในผลิตภัณฑ์ และเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้นด้วย (กิตติพงษ์, 2536 และ Bloomfield, 1996)

2.3 การเกิดเปกตินเจลในแยมปกติ

การเกิดเจลในแยมปกตินั้น จะต้องเกิดภายใต้สภาวะ และ องค์ประกอบที่เหมาะสม องค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดเจล คือ เปกติน น้ำตาล และ กรด (Baker, 1996)

2.3.1 เปกติน (pectin)

เปกตินจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเจลในผลิตภัณฑ์แยม (Oaleenfull, 1991) มีสถานะเป็นสารอนุพันธุ์ประกอบเชิงซ้อนของคาร์โบไฮเดรตที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ สารเหล่านี้จะเกิดอยู่ในหรือเตรียมได้จากเนื้อเยื่อพืช ส่วนมากจะประกอบด้วยหน่วยย่อยของกรดแอนไฮโดรกาแลกทูโรนิก (anhydrogalacturonic acid) ต่อกันเป็นสายยาว และกลุ่มคาร์บอกซิลของกรดกาแลกทูโรนิกบางส่วนอาจเกิดเอสเทอร์กับหมู่เมธิล (methyl group) หรือถูกสะเทินด้วยด่างตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป (กิตติพงษ์, 2536)



ภาพที่ 2.1 การเกิดเอสเทอร์ของหมู่เมธิลบนโซ่ของกรดกาแลกทูโรนิก
ที่มา: Rolin , 1990

เปกติน คือ กรดเปกตินิกที่ละลายน้ำได้ เปกตินมีขนาดความยาว และน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 50,000 ถึง 200,000 ขึ้นกับแหล่งที่เกิด วิธีการสกัดและการเตรียม (Kringelum, 1991) และในโมเลกุลเปกตินจะมีปริมาณเอสเทอร์แตกต่างกันด้วย ขึ้นอยู่กับ แหล่งที่เกิด, ความแก่อ่อนของผลไม้ และวิธีการสกัด โดยทั่วไปโมเลกุลเปกตินจะมีปริมาณเอสเทอร์อยู่ในช่วง 60-90 เปอร์เซ็นต์ (Buren, 1991) โมเลกุลของเปกตินในธรรมชาติส่วนมากมักจะเกิดการเอสเทอร์แบบเมธ็อกซิลเอสเทอร์ขึ้น (Kringelum, 1991)

ปริมาณของเมธ็อกซิลเอสเทอร์ในโมเลกุลจะมีผลต่อการเกิดเจลของเปกติน และการแสดงปริมาณเอสเทอร์นี้ อาจกำหนดได้ในรูปของปริมาณเมธ็อกซิล (methoxyl content) หรือระดับการเกิดเมธ็อกซิลเอสเทอร์ ซึ่งนิยมเรียกว่า DM (Degree of Methoxylation)

ปริมาณเมธ็อกซิลนั้น จะแสดงถึงน้ำหนักของหมู่เมธ็อกซิล ($-OCH_3$) โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทั้งหมด ปริมาณเมธ็อกซิลสูงสุดจึงมีค่า 16.32 เปอร์เซ็นต์ โดยคิดจาก น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของหมู่เมธ็อกซิล คือ 31 เทียบกับน้ำหนักโมเลกุลของกรดเมธ็อกซิลกาแลกทูโรนิก คือ 190 และค่าระดับการเกิดเมธ็อกซิลเอสเทอร์ หรือค่า DM นั้น จะแสดงถึง เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มคาร์บอกซิลที่เกิดเอสเทอร์ คิดเทียบจากปริมาณทั้งหมด ค่า DM สูงสุดจะมีค่า 100 เปอร์เซ็นต์ คือ ทุกกลุ่มในโมเลกุลจะเกิดเมธ็อกซิลเอสเทอร์หมด ดังนั้น ค่า DM 100 เปอร์เซ็นต์ จะเทียบเท่ากับ ค่าปริมาณเมธ็อกซิล 16.32 เปอร์เซ็นต์ (กิตติพงษ์, 2536) เปกตินที่มีค่า DM ลดลงจะมีความสามารถในการเกิดเจลกับน้ำตาลและกรดลดลง ค่า DM ที่เหมาะสมของเปกตินที่จะเกิดเจลได้ดีมีค่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ (Buren, 1991)

สารอนุพันธ์ของเปกติน ได้แก่

1. **โปรโตเปกติน** (protopectin) เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ มีอยู่ในเนื้อเยื่อพืชส่วนลาเมลลาชั้นกลาง โปรโตเปกตินมีอยู่ในผลไม้ดิบ ขณะผลไม้สุกเอนไซม์ในผลไม้จะย่อยโปรโตเปกตินเป็นเปกติน และในระหว่างที่ผลไม้แก่เต็มที่เปกตินจะถูกย่อยสลายต่อจนได้ กรดเปกติก และ เมธิลแอลกอฮอล์ เนื่องจากโปรโตเปกตินเป็นตัวเชื่อมประสานของเซลในเนื้อเยื่อพืช การสลายโปรโตเปกตินเป็นเปกตินที่สามารถละลายน้ำจะมีผลทำให้พันธะระหว่างเซลพืชอ่อนตัวลง ผลไม้จึงมีลักษณะนุ่มขึ้นเมื่อสุก (Bloomfield, 1996 และ Kringelum, 1991)

2. **กรดเปกติก** (pectic acid) อยู่ที่เนื้อเยื่อของพืชในรูปของเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมเปกเตท (calcium or magnesium pectates) ซึ่งละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดโพลีกาแลกทูโรนิกที่เกือบไม่มีเอสเทอร์ในโมเลกุลเลย (Pilgrim, 1991)

3. **กรดเปกตินิก** (pectinic acid) อยู่ในรูปของเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมเปกติเนท (เปกติน คือ กรดเปกตินิกที่สามารถรวมตัวกับน้ำตาลและกรด แล้วมีลักษณะเป็นเจล) ไม่ละลายน้ำแต่จะกระจายตัวอยู่ในน้ำได้ กรดเปกตินิกประกอบด้วยกรดโพลีกาแลกทูโรนิกที่มีเอสเทอร์เกิดขึ้นในโมเลกุลมาก (Pilgrim, 1991)

การแบ่งชนิดของเปกตินตามการใช้งาน แบ่งได้เป็น 2 ชนิด

1. **เปกตินเมธ็อกซิลสูง** :- มีค่า DM มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ การเกิดเจลของเปกตินชนิดนี้จะต้องมีองค์ประกอบที่เหมาะสม คือ มีปริมาณน้ำตาล 55-65 เปอร์เซ็นต์, ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.9-3.1 ซึ่งเป็นสภาวะปกติที่ใช้ในแยมทั่วไป (Rolin, 1990)

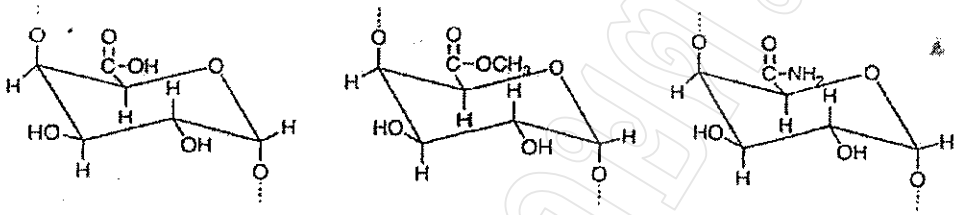
เปกตินเมธ็อกซิลสูงแบ่งตามระยะเวลาการแข็งตัวของเจลได้ 6 ชนิด (Kringelum, 1993)

1. Ultra-rapid-set pectin : มีปริมาณเอสเทอร์ 82 เปอร์เซ็นต์
2. Extra-rapid-set pectin : มีปริมาณเอสเทอร์ 76 เปอร์เซ็นต์
3. Rapid-set pectin : มีปริมาณเอสเทอร์ 72 เปอร์เซ็นต์
4. Medium-rapid-set pectin : มีปริมาณเอสเทอร์ 68 เปอร์เซ็นต์
5. Slow-set pectin : มีปริมาณเอสเทอร์ 64 เปอร์เซ็นต์
6. Extra-slow-set pectin : มีปริมาณเอสเทอร์ 58 เปอร์เซ็นต์

2. **เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ** :- มีค่า DM ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ โดยมากมักมีค่า DM อยู่ในช่วง 20-50 เปอร์เซ็นต์ (Baker, 1996) และถ้ามีค่า DM ต่ำมาก ๆ เปกตินชนิดนี้สามารถเกิดเจลได้กับอิออนของโลหะบางชนิด เช่น แคลเซียมอิออน ได้ที่อุณหภูมิห้องและสามารถทำให้เกิดเจลได้ โดยใช้ปริมาณน้ำตาลน้อย หรือไม่ใช้เลย (Axelos, 1991) สามารถเกิดเจลได้ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.0-4.5 ซึ่งเป็นช่วงที่กว้างกว่าเดิม (Rolin, 1990) เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด (Hoefler, 1991)

2.1 Amidate Low-methoxyl pectin : การที่บางส่วนของกรดกาแลกทูโรนิกเกิดเอสเทอร์กับหมู่เอไมด์

2.2 Conventional Low-methoxyl pectin : การที่บางส่วนของกรดกาแลกทูโรนิกเกิดเอสเทอร์กับหมู่คาร์บอกซิล



a b c

ภาพที่ 2.2 หมู่ฟังก์ชั่นในเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ (a) carboxyl (b) ester (c) amide
ที่มา : Axelos, 1991

2.3.2 น้ำตาล

น้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตแยม น้ำตาลทำให้เกิดโครงสร้างเจล นอกจากนี้ยังให้รสหวานแก่ผลิตภัณฑ์แยมอีกด้วย น้ำตาลส่วนใหญ่ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์คือซูโครส และ น้ำตาลจะช่วยทำให้เกิดเจลโดยการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของเปกติน หรืออาจจะเนื่องจากน้ำตาลเป็นสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมาก จึงอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลเปกตินเป็นอิสระ สามารถเกิดพันธะไฮดรอกซิลบนโมเลกุลเปกตินอื่น หรือ บนส่วนอื่นของโมเลกุลเปกตินได้ นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยทำให้เกิดพันธะขึ้นระหว่างกลุ่มเมธิลเอสเทอร์ในโมเลกุลเปกตินอีกด้วย (กิตติพงษ์, 2536 และ Baker, 1996)

นอกจากซูโครสแล้ว ยังอาจใช้น้ำตาลชนิดอื่นทดแทนได้บางส่วน เพื่อช่วยลดการตกผลึกของซูโครส เช่น การเติมน้ำตาลอินเวอร์ท แยมที่ดีควรมีน้ำตาลลอินเวอร์ทอยู่ในช่วง 30-45 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ถ้ามีปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ทน้อยเกินไปจะทำให้ซูโครสตกผลึก แต่ถ้ามีปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ทมากเกินไป จะได้แยมที่มีลักษณะเป็นยางหนืดและเกิดผลึกของกลูโคส น้ำตาลอินเวอร์ทอาจได้จากการเติมลงไปโดยตรงหรือจากการสลายตัวของซูโครสด้วยกรดระหว่างการให้ความร้อนระหว่างการทำแยม

บางครั้งอาจมีการเติมน้ำเชื่อมกลูโคสแทนซูโครสได้ ในปริมาณ 5-15 เปอร์เซ็นต์ การเติมน้ำเชื่อมกลูโคสจะช่วยลดการตกผลึกของซูโครส, เพิ่มความแวววาว, ป้องกันการแยกตัวของน้ำออกจากเจล และยังช่วยลดความหวานของผลิตภัณฑ์ลงไม่ให้หวานจนเกินไปด้วย
(กิตติพงษ์, 2536)

การใช้น้ำตาลชนิดอื่นทดแทน อาจมีผลทำให้ลักษณะเจลและสภาวะเจลเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น การใช้มอลโทสทดแทนซูโครสบางส่วน จะทำให้ระยะเวลาในการแข็งตัวของเจลเร็วขึ้น และเกิดเจลได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่าง ที่กว้างขึ้น (Baker, 1996)

2.3.3 กรด

กรดที่ใช้ในผลิตภัณฑ์แยม มักเป็นกรดอินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติในผลไม้ที่นำมาใช้ ผลไม้ที่มีกรดต่ำ อาจจะต้องเติมกรดลงไป กรดที่นิยมใช้เติมในผลิตภัณฑ์คือ กรดซิตริก, กรดมาลิก และกรดแลคติก กรณีผลไม้ที่มีปริมาณกรดตามธรรมชาติมากเกินไป จะลดความเป็นกรดลงโดยการเติม เกลือที่มีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต, โซเดียมซัลเฟต หรือโซเดียมซิเตรท การใช้บัฟเฟอร์เหล่านี้ต้องไม่ใช้ในปริมาณมากเกินไป เพราะจะมีผลต่อการเกิดเจลของเปกติน และอาจทำลายกรดแอสคอร์บิคที่มีอยู่ (กิตติพงษ์, 2536)

กรดจะเป็นตัวช่วยในการเกิดเจลของเปกติน โดยในสภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่างสูง จะมีผลทำให้หมู่คาร์บอกซิลบนโมเลกุลของเปกตินแตกตัว ซึ่งจะทำให้โมเลกุลมีประจุ และเกิดการผลักกันขึ้นระหว่างโมเลกุลที่มีประจุด้วยกันเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ยากทำให้เกิดเจลไม่ได้ แต่ถ้ามีกรดจะทำให้ความเป็นกรด-ด่างต่ำลง ช่วยลดการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิลได้ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนและเกิดเจลได้ง่ายขึ้น (Baker, 1996)

2.4 สมดุลขององค์ประกอบในผลิตภัณฑ์

การเกิดเจลและลักษณะของเจลที่ดีในผลิตภัณฑ์จะเกิดขึ้นได้นั้น เกิดจากสมดุลขององค์ประกอบที่สำคัญสามอย่าง คือ ปริมาณเปกติน, ปริมาณน้ำตาล และ ปริมาณกรดที่เหมาะสม ความสมดุลขององค์ประกอบทั้งสาม จะทำให้ได้เจลที่แข็งแรง โดยเปกตินจะเป็นตัวโครงสร้าง และเกี่ยวข้องกับความต่อเนื่องของโครงสร้างเจล ส่วนน้ำตาลและกรดจะมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง (กิตติพงษ์, 2536 และ Baker, 1996)

เนื่องจากเปกตินทำหน้าที่เป็นตัวโครงสร้าง ต้องมีปริมาณมากพอสมควรจึงจะสามารถเกิดเป็นร่างแหโครงสร้างที่ต่อเนื่องได้ ปริมาณเปกตินที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับ เปกตินเกรดที่เลือกใช้ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ ปริมาณน้ำตาลควรใช้มากกว่า 55 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าใช้มากเกินไปอาจเกิดการตกผลึกของน้ำตาลได้ โดยทั่วไปนิยมใช้ 65 เปอร์เซ็นต์ (Rolin, 1990) สำหรับปริมาณกรดในผลิตภัณฑ์นั้นจะควบคุมจากค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ควรอยู่ใน

ช่วง 2.9-3.1 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 2.5 เจลที่ได้จะไม่แข็งแรง และที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 3.5 จะไม่เกิดเจล (กิตติพงษ์, 2536)

นอกจากนี้ลำดับของการผสมองค์ประกอบต่าง ๆ ก็มีผลต่อการเกิดเจลที่ดีอีกด้วย ตามปกติจะเคี่ยวผลไม้กับน้ำตาลก่อน แล้วจึงเติมน้ำตาลที่ผสมเข้ากันกับเปกตินลงไป เมื่อน้ำตาลและเปกตินละลายหมดจึงเติมกรดรวมทั้งสีและกลิ่นถ้ามีการใช้ แล้วจึงหยุดให้ความร้อน การเติมกรดหลังจากเคี่ยวผลไม้และเปกตินแล้วเป็นเพราะ ถ้าเติมในช่วงแรก เปกตินจะถูกให้ความร้อนในสภาวะที่เป็นกรดเป็นเวลานาน โมเลกุลจะเกิดการแตกตัวทำให้ไม่เกิดเจล หรือเกิดเจลที่มีคุณภาพไม่ดี ซึ่งเป็นเหตุผลที่ต้องนำกรดมาเติมช่วงท้ายของการให้ความร้อน เพราะถ้าเติมกรดในช่วงแรกของการให้ความร้อนนอกจากกรดจะสลายโมเลกกุลเปกตินแล้ว กรดยังสลายน้ำตาลซูโครสทำให้มีปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ทในผลิตภัณฑ์มากเกินไป ซึ่งอาจเกิดการตกผลึกของกลูโคสได้ (กิตติพงษ์, 2536 และ Pilgrim, 1991)

2.5 การผลิตแยมแคลอรี่ต่ำ

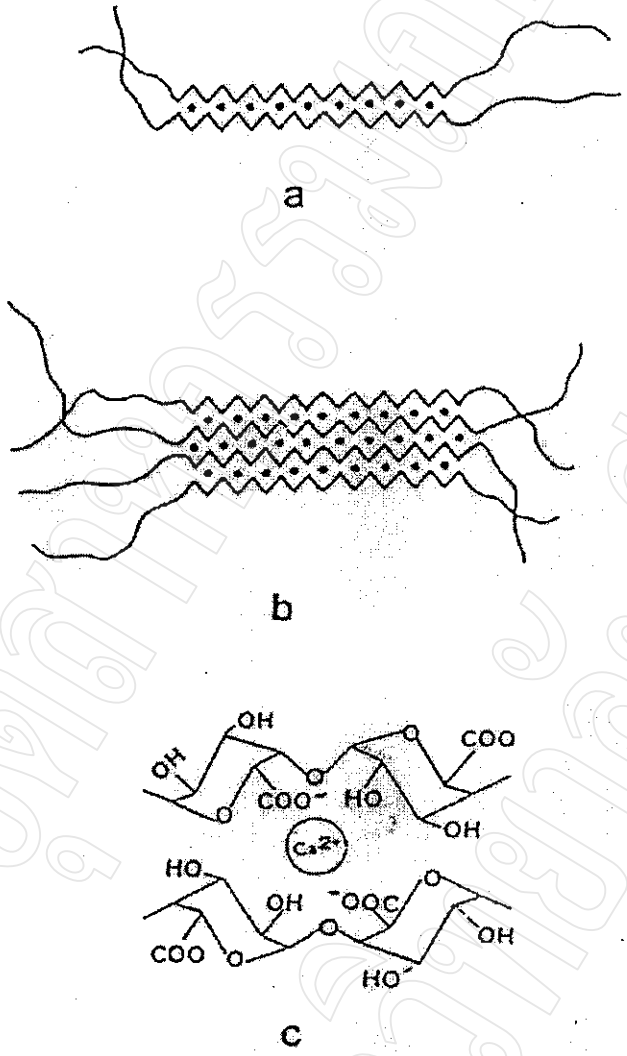
การพัฒนาแยมให้มีแคลอรี่ต่ำลงจากสูตรปกติ ซึ่งมีแคลอรี่ประมาณ 260 กิโลแคลอรี่ ต่อ 100 กรัม (ชมรมวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ, 2537) จะต้องลดปริมาณน้ำตาลจากเดิม 65 เปอร์เซ็นต์ลง ทั้งนี้เพราะน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักในผลิตภัณฑ์แยมสูตรปกติที่ให้แคลอรี่ที่สูง และในการลดปริมาณน้ำตาลในแยมลง จะมีผลต่อการเกิดเจลของแยม กล่าวคือ จะทำให้สมดุลองค์ประกอบในแยมเปลี่ยนไป ส่งผลให้โครงสร้างร่างแหของเจลไม่แข็งแรง จะทำให้ของเหลวแยกตัวออกมาจากส่วนที่เป็นของแข็ง หรือส่วนที่เป็นเจล (Syneresis) และยังมีผลในด้านรสชาติของแยมอีกด้วย (กิตติพงษ์, 2536) ดังนั้นการผลิตแยมแคลอรี่ต่ำ โดยลดปริมาณน้ำตาลลง อาจทำได้โดย (Furia, 1983)

1. เลือกใช้สารข้นเหนียวที่เหมาะสมในการทำให้เกิดเจลทดแทนเปกติน
2. ใช้สารให้ความหวานที่มีแคลอรี่ต่ำแทนความหวานจากน้ำตาล

2.5.1 การเลือกใช้สารข้นเหนียวที่เหมาะสมในการทำให้เกิดเจลทดแทนเปกติน

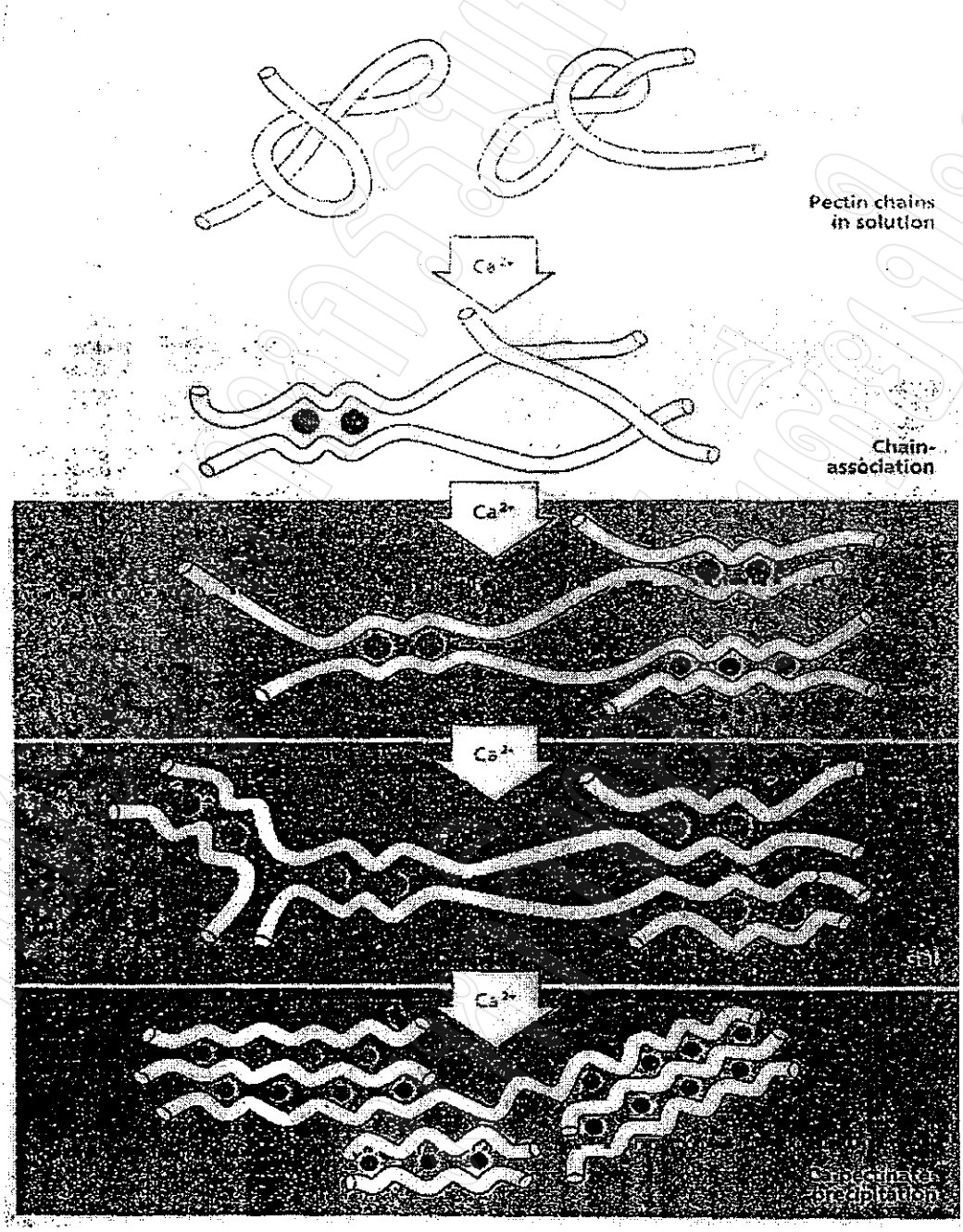
การเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างร่างแหเจลของเปกตินทำได้โดยการเลือกใช้เปกตินอีกชนิดหนึ่งคือ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ (low-methoxyl pectin) ซึ่งสามารถเกิดเจลได้กับอนุมูลโลหะที่มีวาเลนซีสอง เช่น แคลเซียมอิออน และจะใช้น้ำตาลต่ำหรือไม่ใช้เลยก็ได้ พบว่าแคลเซียมอิออนจะเชื่อมโมเลกุลของเปกตินเข้าด้วยกัน โดยแคลเซียมจะทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลของกรดกาแลกทูโรนิก

ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของโมเลกุลเปกติน โดยโครงสร้างเจลจะมีลักษณะคล้ายกล่องไข่ (egg-box) (Axelos, 1991) ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างการเกิดเจลของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ :
(a) egg-box dimer ; (b) aggregation of dimer ; (c) an egg-box cavity
ที่มา : Axelos, 1991

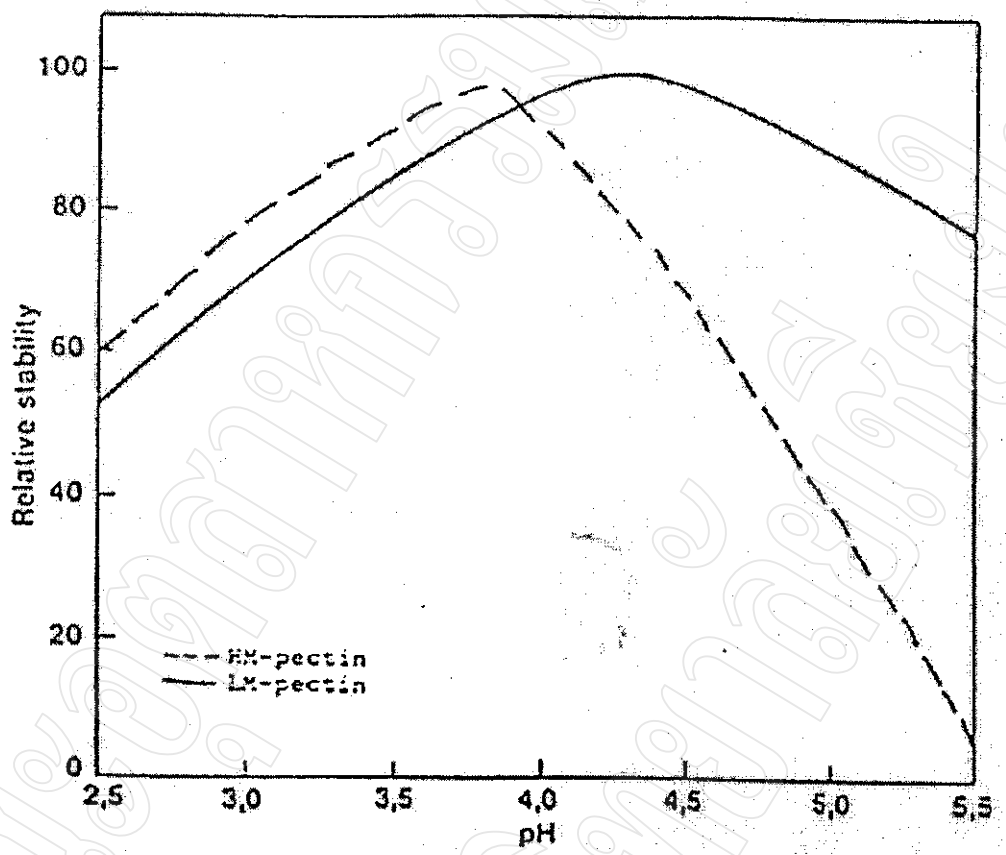
เจลที่ได้จะมีลักษณะแข็งแรงและอุ้มของเหลวไว้ภายในเจลได้ทั้งหมด ไม่เกิดปัญหาของเหลวแยกตัวอีกต่อไป แต่ต้องควบคุมปริมาณแคลเซียมอิออนที่ใช้ เพราะถ้ามีความเข้มข้นมากเกินไปจะทำให้เปกตินตกตะกอนและไม่เกิดเป็นเจล (บริษัทบูรพาชีพ, 2540) ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 กลไกการเกิดเจลของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำด้วยแคลเซียมอิออน

ที่มา : บริษัทบูรพาชีพ , 2540

ค่าความเป็นกรด-ด่างในสภาวะการเกิดเจลของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ จะอยู่ในช่วง 3.0-4.5 ซึ่งเป็นช่วงที่กว้างกว่าเดิมที่ต้องควบคุมให้อยู่ในช่วง 2.9-3.3 มิฉะนั้นจะได้เจลที่ไม่แข็งแรงในกรณีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 2.9 หรือไม่เกิดเจลในกรณีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 3.3 และสภาวะการเกิดเจลนั้นสามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงได้อีกด้วย (Somogyi, 1996) ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ความคงตัวของสารละลายเปกตินเมธ็อกซิลต่ำและเปกตินเมธ็อกซิลสูง เมื่อถูกต้มในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างกัน

ที่มา : Somogyi และคณะ , 1996

สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดนั้นไม่มีอิทธิพลกับการเกิดเจลของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำมากนัก แต่ในกรณีที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นก็จะมีผลทำให้ได้เจลที่แข็งแรงขึ้นด้วย (Rolin, 1990) ในทางตรงข้ามถ้าให้ความร้อนในสภาวะการเกิดเจลของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ ที่สูงเกินไปจะมีผลทำให้โครงสร้างของเจลไม่แข็งแรง (Axelos, 1991) Rolin, 1990 กล่าวว่า อุณหภูมิการเกิดเจล จะขึ้นอยู่กับสภาวะที่ต่าง ๆ กัน โดยแปรผันกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้, ปริมาณเปกติน และปริมาณแคลเซียม เจลทำได้จากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำนั้นสามารถคืนตัวละลายได้อีกครั้งเมื่อได้รับความร้อน(thermoreversible) ซึ่งจะตรงข้ามกับเจลที่ได้จากเปกตินเมธ็อกซิลสูงที่ไม่สามารถคืนตัว จากคุณสมบัตินี้จะช่วยลดปัญหาการแยกตัวของ ๆ เหลวออกจากเจลได้ เพราะเจลที่ได้เกิดจากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำนั้นสามารถสร้างโครงสร้างเจลขึ้นอีกครั้งหลังจากที่โครงสร้างเดิมถูกทำลายไป (Axelos, 1991)

Matias และคณะ (1997) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแยมแคลอรี่ต่ำจากน้ำองุ่น พบว่าแยมองุ่นที่ดีที่สุดจะมีน้ำตาล 38 บริกซ์ (ช่วง 20-50 บริกซ์), เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ 1.2 เปอร์เซ็นต์ (ช่วง 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์) และอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตคือ 69° ซ (ช่วง 55-90° ซ) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.4 และไม่ต้องเติมแคลเซียมคลอไรด์ เพราะน้ำองุ่นมีปริมาณแคลเซียม 125.7 กรัมต่อลูกบาศก์เดซิลิตร ซึ่งเพียงพอต่อความแข็งตัวของเจล

Beach, (1993) ประสบผลสำเร็จในการผลิตแยมแคลอรี่ต่ำโดยใช้ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ 0.7 เปอร์เซ็นต์, น้ำตาล 30 เปอร์เซ็นต์, ผลไม้ 45 เปอร์เซ็นต์, โปแตสเซียมซอร์เบท 0.2 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเบนโซเอท 0.3 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.2

การทดลองของ Sousa และคณะ, (1997) ในการทำเยลลี่พลังงานต่ำจากน้ำองุ่น พบว่าควรใช้น้ำตาล 38 บริกซ์ (ช่วง 20-50 บริกซ์), เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ 1.2 เปอร์เซ็นต์ (ช่วง 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์) และใช้อุณหภูมิในการผลิตที่ 69° ซ (ช่วง 55-90° ซ) จะได้เยลลี่พลังงานต่ำที่มีลักษณะที่ดีและได้รับการยอมรับมากที่สุด

Nawawi และคณะ, (1995) ได้ประสบความสำเร็จจากการหาสภาวะการเกิดเจลที่เหมาะสมจากการใช้ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำพบว่า การใช้ซูโครสที่ 20 หรือ 30 เปอร์เซ็นต์ (ช่วง 10-50 เปอร์เซ็นต์) เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ 1 เปอร์เซ็นต์ (ช่วง 0.5-1.2 เปอร์เซ็นต์) และใช้แคลเซียม 45 มิลลิกรัมต่อกรัมของเปกติน (ช่วง 15-100 มิลลิกรัมต่อกรัมของเปกติน) และมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 3.0 หรือ 3.6 (ช่วง 3.0-3.6) จะได้เจลที่มีความแข็งแรง ไม่เกิดการแยกตัวของของเหลวออกจากเจล

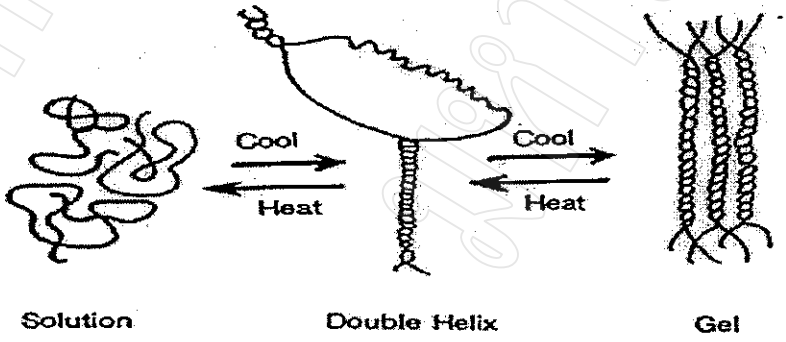
นอกจากนี้การเพิ่มความแข็งแรงของเจลในผลิตภัณฑ์แยมยังอาจทำได้โดยใช้สารข้นเหนียวที่มีคุณสมบัติในการเกิดเจลโดยปราศจากน้ำตาล ทดแทนเปกตินในผลิตภัณฑ์แยมเป็นบางส่วนหรือทั้งหมด สารข้นเหนียวที่นิยมใช้ เช่น คาร์ราจีแนน (carrageenan), แป้งบุก (konjac flour), อัลจิเนท (alginate), โลคัสบีนกัม (locust bean gum) และวุ้น (agar) โดยอาจเลือกใช้สารข้นเหนียวตัวใดตัวหนึ่งหรือหลาย ๆ ตัวทดแทนเปกตินก็ได้ (Furia, 1983 และชมรมวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ, 2537)

2.5.1.1 คาร์ราจีแนน (carrageenan)

คาร์ราจีแนน เป็น sulphated polysaccharides ที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง คาร์ราจีแนนแบ่งออกเป็นสามชนิดใหญ่ ๆ คือ kappa, iota และ lambda ชนิด kappa และ iota เท่านั้นที่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล (นิธิยา, 2534)

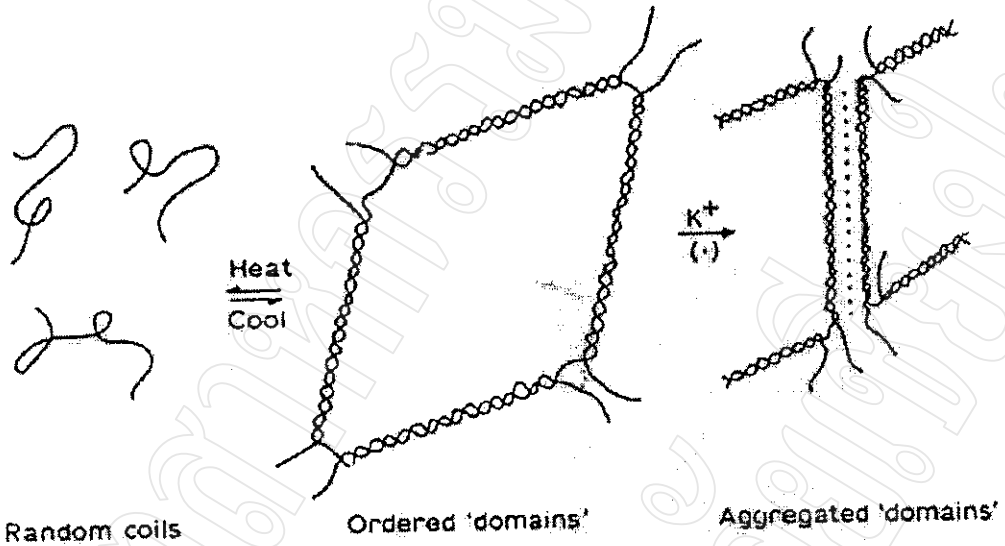
คาร์ราจีแนนทั้งสามชนิดมีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลกาแลคโทสที่ถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยกรดซัลฟูริคที่ดีกรีต่าง ๆ กัน ด้วยพันธะ β-1,3- และ α-1,4- สำหรับ kappa และ iota จะเกิดเจลแบบ thermoreversible aqueous gel โดยมีกลไกการเกิดเป็น double-helix carrageenan polymers (นิธิยา, 2534)

คาร์ราจีแนนทุกชนิดจะละลายในน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 75° ซ และค่าความเป็นกรด-ด่างของสภาวะการเกิดเจลอยู่ในช่วง 3-6 คาราจีแนนที่อยู่ในรูปสารละลายน้ำจะมีโครงสร้างเป็น random coil เมื่อทำให้เย็นลงจะเกิด polymer network เป็น 3 มิติ แต่ละสายของโพลีเมอร์จะรวมตัวกันเข้าเกิด junction point เมื่อปล่อยให้เย็นลงอีกจะมีการเกาะตัวกันของ junction point ทำให้เกิดการแข็งตัวของเจล (Stayley, 1990) ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 กลไกการเกิดเจลของคาร์ราจีแนน
ที่มา : นิธิยา , 2534

การเติมโลหะอิอออนจะมีผลทำให้เกิดเจลที่แข็งแรงขึ้น เช่น การเติมโลหะอิอออน เช่น โปแตสเซียมอิออน และแคลเซียมอิออน เช่น กรณีของแคปปา-คาร์ราจีแนน การเติมแคลเซียมอิออนจะทำให้เกิดเจลที่มีความแข็งและโครงสร้างเจลจะแข็งแรงขึ้น และถ้าเติมโปแตสเซียมอิออนจะทำให้เจลมีความยืดหยุ่นได้ดีขึ้น (Norman, 1990) ดังภาพที่ 2.7



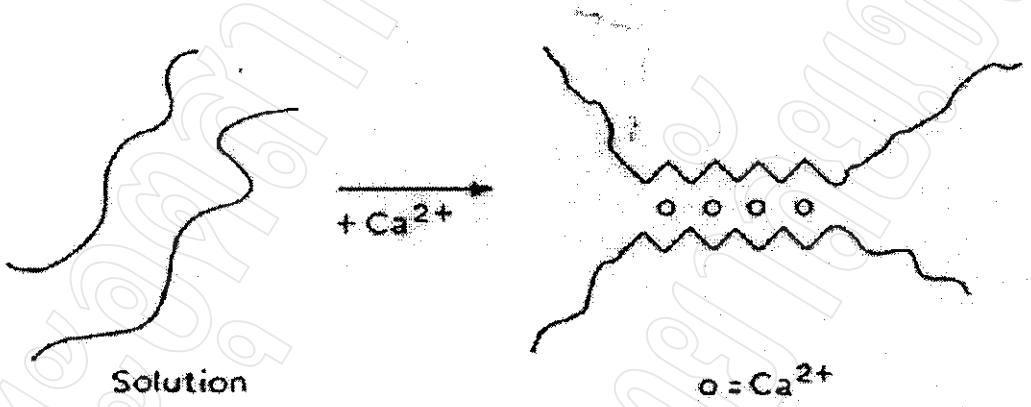
ภาพที่ 2.7 กลไกการเกิดเจลของคาร์ราจีแนนเมื่อมีการเติมโลหะอิอออนลงไปด้วย
ที่มา : Stanley , 1990

ได้มีการใช้คาร์ราจีแนน หรือคาร์ราจีแนนร่วมกับโลคัสบีนกัม ในการผลิตเยลลี่แคลอรี่ต่ำด้วย (Stanley, 1990) และมีการทำเยลลี่ผลไม้แคลลอรี่ต่ำ หรือแยมแคลอรี่ต่ำ โดยใช้คาร์ราจีแนนซึ่งอาจใช้ร่วมกับเปกติน หรือแทนที่เปกตินเลยก็ได้ (Rolin, 1990) นอกจากนี้สามารถนำคาร์ราจีแนนมาใช้ร่วมกับแป้งบุกในอัตราส่วน 70 : 30 ถึง 50 : 50 จะให้เจลที่มีความยืดหยุ่นและแข็งแรงมากที่สุด เจลที่ได้สามารถผันกลับได้โดยความร้อน (thermal reversible gel) ใช้ในผลิตภัณฑ์แยมแคลอรี่ต่ำได้ด้วย (อดิศักดิ์, 2538)

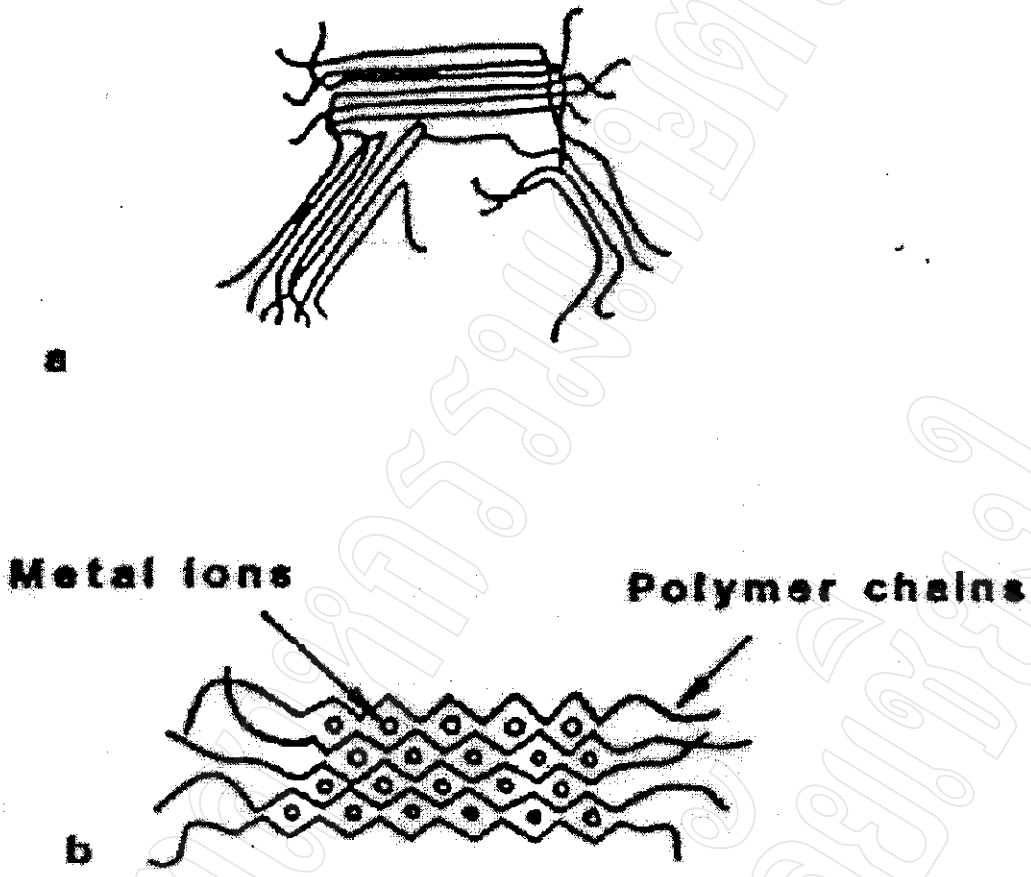
2.5.1.2 อัลจิเนท (Alginate)

อัลจิเนท เป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล อัลจิเนทมักอยู่ในรูปของเกลือซึ่งมีอยู่หลายรูป เช่น K^+, Na^+, NH_4^+ และ Ca^{2+} อัลจิเนทเป็น linear copolymer ในโมเลกุลประกอบด้วย polymer segment สามชนิดของ D-mannuronic acid, L-guluronic acid และทั้งสองชนิดแรกสลับกัน สัดส่วนของทั้งสาม segment และโครงสร้างของโพลีเมอร์จะเป็นตัวชี้บ่งคุณสมบัติของอัลจิเนท

อัลจิเนทบางชนิดเท่านั้นที่มีคุณสมบัติเป็นเจลและจะเกิดเจลได้เมื่อทำปฏิกริยากับแคลเซียมอิออน โครงสร้างของเจลมีลักษณะคล้ายกล่องไข่ ดังภาพที่ 2.8 และ2.9 โดยมีแคลเซียมอิออนจับอยู่กับสายโพลีเมอร์ คุณสมบัติของอัลจิเนท คือ เกิดเจลแบบ irreversible gel และสามารถเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำในสภาวะที่เป็นกรดได้ (นิธิยา, 2534 และ Sime, 1990)



ภาพที่ 2.8 กลไกการเกิดเจลของของอัลจิเนท
ที่มา : Sime, 1990

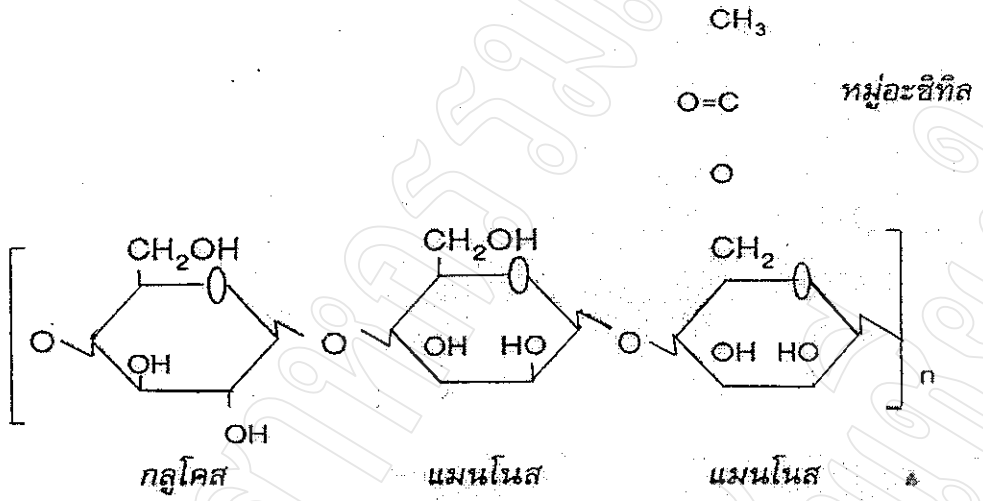


ภาพที่ 2.9 โครงสร้างเจลของของอัลจิเนท (a) โครงสร้างของ calaium alginate gel ;
(b) the egg-box model
ที่มา: นิธิยา, 2534

2.5.1.3 แป้งบุก (Konjac flour)

แป้งบุกประกอบไปด้วยเม็ดแป้งกลมขนาด 100-500 ไมครอน องค์ประกอบที่พบในแป้งบุก คือ กลูโคแมนแนน หรือที่เรียกว่า คอนยัคแมนแนน (Tye, 1991 ; Sugiyama and Shimahara, 1976) ซึ่งเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนส และน้ำตาลกลูโคส ในอัตราส่วน 2:1 เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลัยโคไซด์ ที่ตำแหน่งเบตา 1,4 แป้งบุกมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 300,000 ดาลตัน และมีหมู่อะซิธิลกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปบนสายโมเลกุลของ

กลูโคแมนแนน โดยทุก ๆ 19 หน่วยของโมเลกุลต่อแมนโนสจะพบหมู่อะซิธิลอยู่ 1 หมู่ ดังภาพที่ 2.10 ซึ่งหมู่อะซิธิลนี้มีผลต่อการละลาย เมื่อนำแป้งชนิดนี้มาละลายน้ำจะได้เป็นสารละลายข้นหนืด และสามาถเกิดเจลได้เมื่อใช้ร่วมกับสารละลายด่าง หรือสารไฮโดรคอลลอยด์บางชนิด เช่น คาร์ราจีแนน และแซนแทนกัม เป็นต้น (Tye, 1991)



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างบางส่วนของกลูโคแมนแนนในแป้งบุก
ที่มา Tye (1991)

แป้งบุกมีคุณสมบัติหลาย ๆ ด้านด้วยกัน เช่น เป็นสารให้ความหนืดเมื่อละลายน้ำที่อุณหภูมิห้อง แป้งบุกจะพองตัวและขยายตัวได้ประมาณ 20-30 เท่า (บุปผา, 2535) การเกิดเจลของแป้งบุกจะต่างจากโพลีแซคคาไรด์อื่น ๆ ที่เกิดเจลทนต่อความร้อนจนถึงระดับอุณหภูมิหนึ่ง ๆ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นเจลจะแตกหรือเกิดการแยกตัวของโครงสร้างตาข่ายโพลีเมอร์ (polymer network) ทำให้สูญเสียความเป็นเจล (อดิศักดิ์, 2538) ส่วนแป้งบุกจะให้เจลที่ทนต่อความร้อน (thermal stability) มีความเหนียวและมีความทรงตัวสูงแม้นำไปต้มในน้ำเดือด การให้ความร้อนซ้ำแก่เจลมีส่วนทำให้เจลมีความแข็งแรงและมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น ด่างที่นิยมใช้ในการเกิดเจลของแป้งบุกนั้น ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมคาร์บอเนท เจลที่ได้จะเป็นชนิดไม่ผันกลับโดยความร้อน (thermal irreversible gel) แต่การใช้สารละลายด่างในการเกิดเจลมักทำให้เกิดปัญหาบางประการ เช่น เจลที่ได้มีความเป็นกรด-ด่างสูง มีกลิ่นด่าง เกิดการสูญเสียน้ำได้ง่าย และขั้นตอนการเตรียมเจลค่อนข้างยาก (Tye, 1991)

การนำเอาแป้งบุกมาใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทแยมและเยลลี่ อาจเกิดปัญหาบางประการ เช่น กลิ่นด่างตกค้าง และลักษณะของเจลที่ได้บางครั้งไม่เป็นที่ต้องการ การนำแซนแทนกัมมาใช้ร่วมกับแป้งบุกในการผลิตแยมและเยลลี่สามารถลดปัญหาเรื่องด่างได้ (อดิศักดิ์, 2538)

2.5.1.4 โลคัสบีนกัม (Locust bean gum)

ได้มาจาก endosperm ของเมล็ดต้น carob เรียกว่า carob seed gum ก็ได้ โครงสร้างของโลคัสบีนกัมมี back bone เป็นโพลีเมอร์สายยาวของโพลีแมนแนน โมเลกุลของน้ำตาลแมนโนสต่อกันด้วยพันธะ β-1,4- และมีแขนงแยกเป็นน้ำตาลกาแลกโทสโมเลกุลเดี่ยวต่อกันด้วยพันธะ 1-6 โดยมีอัตราส่วนของแมนโนสต่อกาแลกโทส เป็น 4:1 และมีน้ำหนักโมเลกุล ประมาณ 310,000 (นิธิยา, 2534 และ Furia, 1983)

โลคัสบีนกัมมีคุณสมบัติพองตัวได้ในน้ำเย็น และต้องใช้ความร้อนช่วยในการละลาย จะให้สารละลายที่มีความหนืดสูงสุดเมื่อได้รับความร้อนสูงถึง 95° ซ สามารถทนต่อความเป็นกรด-ด่างได้ในช่วง 3-11 (Furia, 1983)

โลคัสบีนกัมไม่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล ต้องนำมาผสมกับแซนแทนกัมจึงจะทำให้เกิดเจลได้ และเมื่อนำมาใช้ร่วมกับแคปปา-คาร์ราจีแนน จะทำให้เจลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และลดการแยกตัวของน้ำออกจากเจลได้ เช่น ใช้คาร์ราจีแนน 50 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับโลคัสบีนกัม 33.33 เปอร์เซ็นต์ และโปแตสเซียมคลอไรด์ 16.67 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ได้เจลที่มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น(นิธิยา, 2534)

หน้าที่หลักของโลคัสบีนกัม คือ เพิ่มความหนืดและความคงตัวให้กับอีมัลชั่น และยับยั้งการแยกตัวของน้ำออกจากเจล มักนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น ซอส, ขนมหวาน, เยลลี่, เครื่องดื่ม และไอศครีม เป็นต้น (นิธิยา, 2534)

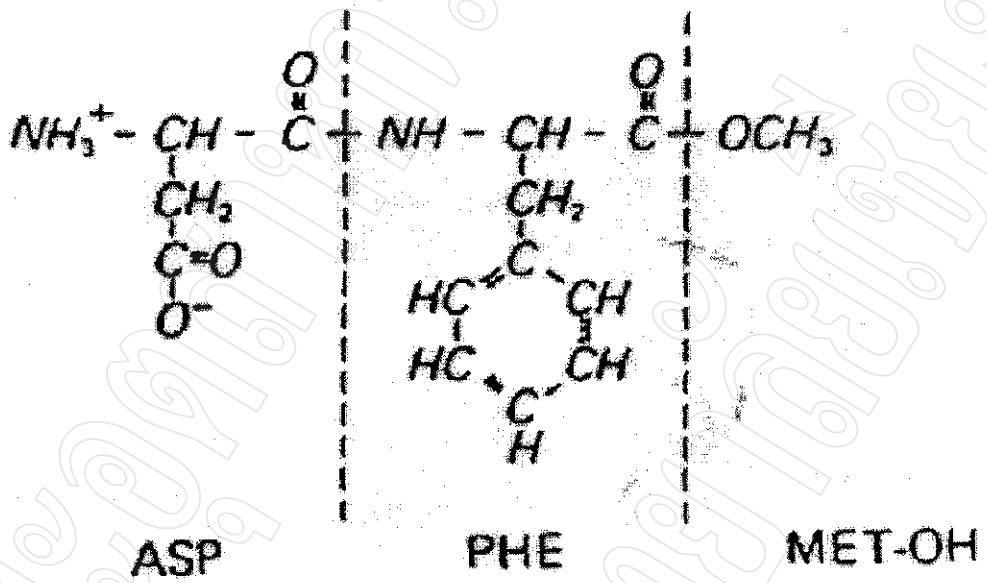
2.5.2 การใช้สารให้ความหวานที่มีแคลอรี่ต่ำแทนความหวานจากน้ำตาล

สำหรับการใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาลนั้นจะใช้สารให้ความหวานที่มีรสหวานมากกว่าน้ำตาลและปริมาณที่ใช้เพียงเล็กน้อยทำให้ผู้บริโภคได้รับแคลอรี่น้อยลง สารให้ความหวานที่นิยมใช้ในแยม เช่น แอสพาร์เทม (aspartame), อะซีซัลเฟม-เคม (acesulfame-K), ซูคราโลส (sucralose) และซอร์บิทอล์ (sorbitol) (Nabors และคณะ, 1991)

2.5.2.1 แอสพาร์เทม

ปัจจุบันพบว่าแอสพาร์เทม เป็นสารให้ความหวานที่ประสบความสำเร็จในด้านการนำไปใช้มากที่สุด เนื่องจากมีรสหวานที่คล้ายคลึงกับน้ำตาลมากที่สุด และยังเป็นที่ยอมรับของตลาดการค้า มีการใช้แอสพาร์เทม ในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ทั่วโลกมากกว่า 4,100 ชนิด (ทวีชัย, 1996)

แอสพาร์เทม เป็นไดเปปไทด์เอสเทอร์ของกรดอะมิโน 2 ชนิด คือ L-aspartic acid และ L-phenylalanine (ดังภาพที่ 2.11) เป็นผงสีขาวสะอาดไม่มีกลิ่น และมีรสหวานคล้ายน้ำตาล ไม่มีรสขม และมีความหวานมากกว่าน้ำตาลประมาณ 180-200 เท่า (Homler และคณะ, 1991)

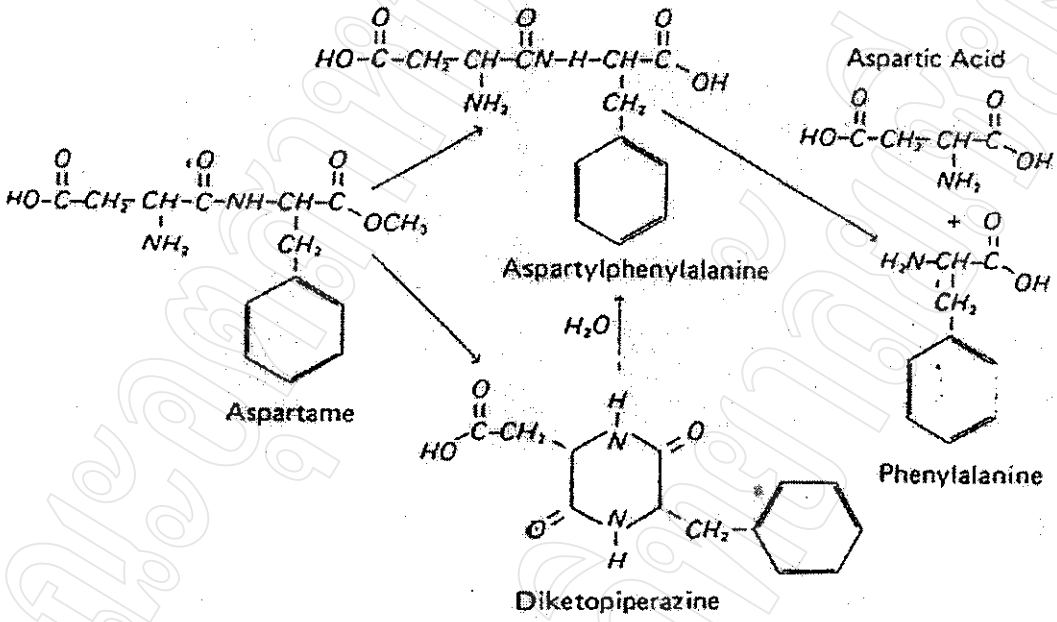


รูปที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของแอสพาร์เทม
ที่มา: Homler และคณะ, 1991

แอสพาร์เทมมีรสหวานสนิท ไม่มีรสขมติดลิ้นหลังรับประทาน ได้มีการทดลองเปรียบเทียบรสของแอสพาร์เทมกับน้ำตาล โดยใช้ผู้ชิมทั้งที่มีและไม่มีประสบการณ์ ปรากฏว่าผู้ชิมลงความเห็นว่าแอสพาร์เทมมีรสหวานสนิท ไม่มีรสขมเจือปนเลย แต่มีผู้ให้ข้อสังเกตว่า แอสพาร์เทมมีรสหวานติดลิ้น ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้บางครั้งก็เป็นที่ต้องการ แต่ถ้าไม่ต้องการก็สามารถทำได้โดยผสมกับสารให้ความหวานชนิดอื่นหรืออาจลดปริมาณของแอสพาร์เทมลง (Giese, 1993)

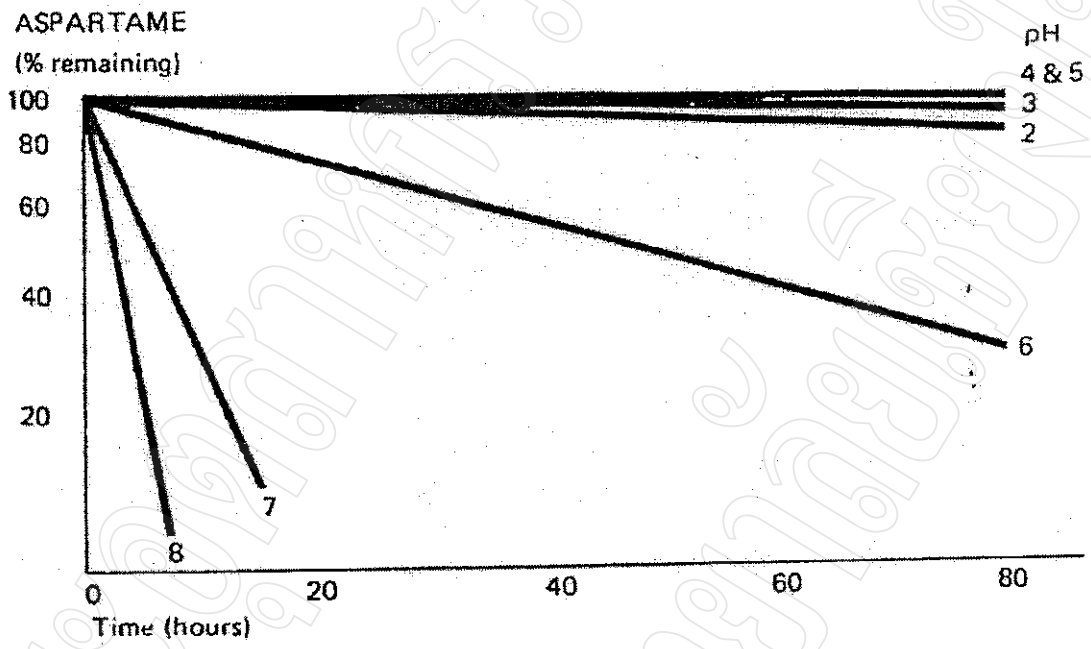
นอกจากนี้แอสพาร์เทมยังช่วยให้กลิ่นรสของอาหารดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำผลไม้ที่มีกรดสูง เช่น น้ำส้ม, น้ำมะนาว และน้ำองุ่น เป็นต้น จากการทดลองพบว่าคุณสมบัตินี้จะให้ผลดีกับน้ำผลไม้มากกว่าเครื่องดื่มที่เติมสารให้สีและกลิ่นรสผลไม้ที่เป็นสารสังเคราะห์ (Homler และคณะ, 1991)

สำหรับความคงตัวของสารละลายแอสพาร์เทมขึ้นกับปัจจัยสามประการ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง, อุณหภูมิและเวลา ถ้าปัจจัยที่ไม่เหมาะสมจะทำให้แอสพาร์เทมถูกไฮโดรไลซ์เป็น aspartylphenylalanine (AP) หรือ diketopiperazine (DKP) และ DKP ring สามารถเปลี่ยนรูปกลายเป็น AP และไฮโดรไลซ์ไปเป็น aspartic acid และ phenylalanine ซึ่งฟอร์มต่าง ๆ เหล่านี้เป็นสารประกอบที่ไม่มีความหวาน (Homler และคณะ, 1991) ดังแสดงในภาพที่ 2.12



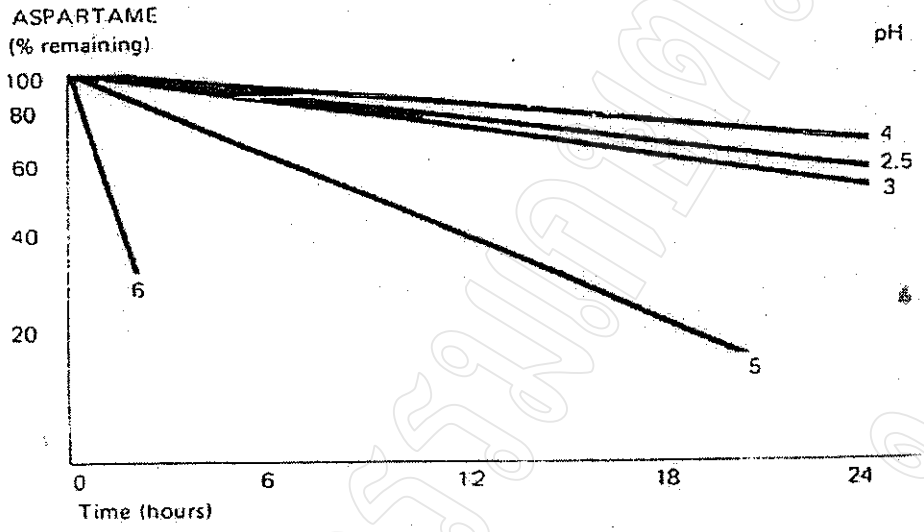
ภาพที่ 2.12 กลไกการเปลี่ยนแปลงของแอสพาร์เทมเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม
ที่มา: Homler และคณะ, 1991

แอสพาร์เทมในสภาพสารละลายเก็บที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจะเกิดการสลายตัวได้มาก แต่แอสพาร์เทมจะคงตัวดีที่สุดเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 3.0-5.0 จากการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิและสภาพความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อความคงตัวของสารละลายแอสพาร์เทม พบว่า ที่อุณหภูมิ 40° ซ ความเป็นกรด-ด่างในช่วง 3-5 เป็นเวลา 80 ชั่วโมง จะมีการสลายตัวของแอสพาร์เทมเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บสารละลายแอสพาร์เทมที่ 80° ซ ความเป็นกรด-ด่างในช่วง 2.5-4 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แอสพาร์เทมยังคงเหลืออยู่ 60 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 2.13 และ 2.14



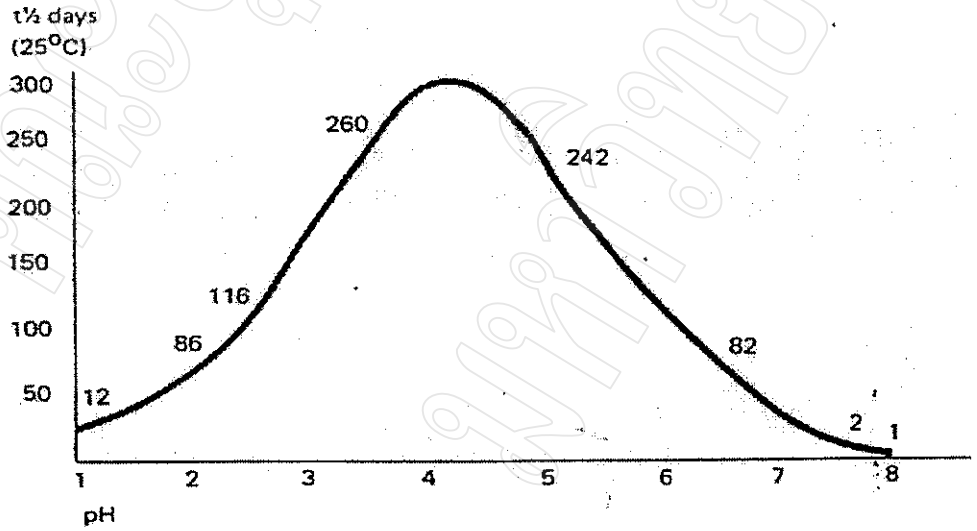
ภาพที่ 2.13 ความคงตัวของสารละลายแอสพาร์เทมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ที่มา: Homler และคณะ, 1991



ภาพที่ 2.14 ความคงตัวของสารละลายแอสพาร์เทมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
ที่มา: Homler และคณะ, 1991

สำหรับครึ่งชีวิต (Half life) ของสารละลายแอสพาร์เทมที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 และ 4.3 ที่อุณหภูมิ 25° ซ มีค่า 180 วัน และ 280 วัน ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 ครึ่งชีวิตของสารละลายแอสพาร์เทมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในสภาวะต่าง ๆ
ที่มา: Homler และคณะ, 1991

มีการนำเอาแอสพาร์เทม มาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ (Homler และคณะ, 1991) เช่น

1. เครื่องดื่มต่าง ๆ
2. โยเกิรต์
3. ผลิตภัณฑ์ผสมแห้ง เช่น กาแฟผง
4. หมากฝรั่ง
5. fruit-spread
6. อาหารที่พร้อมบริโภค

สถาบันวิจัยโภชนาการได้ผลิตแยมแคลอรี่ต่ำ เช่น แยมสับปะรด, ผลไม้รวม และมาร์มาเลด โดยใช้บุกและแอสพาร์เทมแทนเปกตินและสารให้ความหวาน ทำให้ลดปริมาณการใช้น้ำตาลลงได้ ปริมาณแคลอรี่ที่ได้คือ 84 กิโลแคลอรี่ ต่อ 100 กรัม และจากงานวิจัยของอดิศักดิ์, 2540 ได้ทดลองทำแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำโดยใช้บุก : แซนแทนกัม (ความเข้มข้นรวม 3 เปอร์เซ็นต์) ในอัตราส่วน 50 : 50, สับปะรดหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ 55 เปอร์เซ็นต์ และใช้แอสพาร์เทม 1.1 เปอร์เซ็นต์ จะได้แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่มีเนื้อสัมผัสและความหวานอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับ

Bakr ,(1997) ได้พัฒนาคุณภาพอาหารพลังงานต่ำ และอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยได้ทำการผลิตแยมสตรอเบอร์รี่และแยมฝรั่ง ซึ่งใช้สารให้ความหวานผสมกันระหว่าง ไซลิทอล์-ซอร์บิทอล์-แอสพาร์เทม พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของแยมที่เหมาะสมนั้นจำเป็นต้องเพิ่มแคลเซียมคลอไรด์ลงไป 0.2 เปอร์เซ็นต์ และเก็บรักษาแยมไว้ที่ 4° ซ จึงจะได้แยมที่มีคุณภาพดี

Damasio และคณะ ,(1997) ได้ทดลองทำเจลรสส้มโดยใช้น้ำตาลในปริมาณต่ำ พบว่าลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส และกลิ่นรสที่ได้รับการยอมรับมาก คือ การใช้ซูโครสที่ 30 บริกซ์ แอสพาร์เทม 0.5 เปอร์เซ็นต์ และใช้เจลแลนกัม 0.55 เปอร์เซ็นต์ หรืออาจใช้กัมผสมกันที่ความเข้มข้น 0.7 เปอร์เซ็นต์ ระหว่าง เจลแลนกัม : แซนแทนกัม : โลคัสบีนกัม ในอัตราส่วน 3:1:1

Hoerlein และคณะ ,(1995) ได้ทำการพัฒนากระบวนการผลิตแยมสตรอเบอร์รี่พลังงานต่ำสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ที่ใช้สารให้ความหวานคือ อะซีซัลเฟม-เค : แอสพาร์เทม ในอัตราส่วน 1:1 พบว่าควรให้ความร้อนแยมในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80° ซ เป็นเวลานาน 15 นาที ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC แล้วพบว่า มีการสลายตัวของแอสพาร์เทมน้อยมาก และ ไม่มีการสลายตัวของอะซีซัลเฟม-เคเลย

ปัจจุบันได้มีการใช้แอสพาร์เทมกันอย่างแพร่หลาย มากกว่า 90 ประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศอุตสาหกรรมหลัก เช่น อังกฤษ เยอรมันนี และญี่ปุ่น ในประเทศแคนาดาได้มีการนำแอสพาร์เทมมาใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ถึง 145 ชนิด สำหรับกลุ่มประเทศยุโรปปัจจุบัน ตามที่กฎหมายเกี่ยวกับสารให้ความหวานและคณะกรรมการวิทยาศาสตร์การอาหารของกลุ่มประเทศยุโรปได้อนุญาตให้ใช้แอสพาร์เทมในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ ได้ (Montijano ,1998) ผลการศึกษาความปลอดภัยของแอสพาร์เทมที่มีผลกระทบต่อระบบเมตาบอลิซึม, ความเป็นพิษต่อร่างกาย ,สารก่อมะเร็ง ,สารก่อกลายพันธุ์ และผลต่อตัวอ่อน พบว่าการรับประทานแอสพาร์เทมไม่มีอันตรายแต่อย่างใด ดังนั้นคณะกรรมการอาหารและยาสหรัฐอเมริกา (FDA) จึงได้กำหนดค่าต่ำสุดที่ยอมรับให้รับบริโภคได้ต่อวัน (acceptable daily intake) ของแอสพาร์เทมเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน (the International Food Information Council Foundation,1998 และ American Dietetic Association,1998)

2.5.2.2 อะซีซัลเฟม-เค

อะซีซัลเฟม-เค เป็นสารให้ความหวานที่ไม่ให้แคลอรี่ มีความหวานประมาณ 200 เท่าของน้ำตาลซูโครส มีความคงตัวที่อุณหภูมิห้องได้นาน 6 ปี โดยไม่เสื่อมสลาย และทนต่อความร้อนในระหว่างการหุงต้มอาหารได้ แต่รสหวานของอะซีซัลเฟม-เคจะถูกทำลายอย่างรวดเร็วถ้าใช้ในปริมาณมากจะเกิดรสขม อะซีซัลเฟม-เค จะไม่ถูกย่อย ดังนั้นจึงไม่ให้พลังงานแก่ร่างกายใช้ อะซีซัลเฟม-เคถูกใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมากกว่า 4000 ชนิดทั่วโลก เช่น ผลิตภัณฑ์ลูกอม, หมากฝรั่ง, เครื่องดื่ม, ผลิตภัณฑ์นมต่าง ๆ , ผลิตภัณฑขนมอบ และเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ อีกทั้ง Joint Expert Committee on Food Additives(JECFA) of the World Health Organization และคณะกรรมการวิทยาศาสตร์การอาหารของสหภาพยุโรป ได้รับประกันความปลอดภัยของอะซีซัลเฟม-เค ว่าไม่เป็นสารพิษ ไม่ทำให้เกิดการก่อกลายพันธุ์ และไม่เป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นคณะกรรมการอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกาจึงได้กำหนดค่าต่ำสุดที่ยอมรับให้บริโภคได้เท่ากับ15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน (the International Food Information Council Foundation,1998 และ American Dietetic Association,1998)

2.5.2.3 ซูคราโลส

ซูคราโลสเป็นผลึกสีขาวมีความหวาน 400-800 เท่าของน้ำตาล มีความคงตัวที่อุณหภูมิสูงและในสภาวะที่เป็นกรดได้ดี ไม่เกิดรสขมหลังบริโภค (Miller,1991) และร่างกายจะไม่ดูดซึมซูคราโลส ดังนั้นจึงไม่ให้พลังงานแก่ร่างกาย

คณะกรรมการอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้ซูคราโลสได้ในผลิตภัณฑ์อาหาร 15 ชนิด (International Food Information Council Foundation, 1998) คือ

1. ผลิตภัณฑ์ขนมอบ
2. เครื่องดื่มต่าง ๆ
3. หมากฝรั่ง
4. กาแฟและชา
5. ผลิตภัณฑ์ลูกอมต่าง ๆ
6. ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายผลิตภัณฑ์นม
7. น้ำมันและไขมัน
8. ของหวานที่ทำมาจากผลิตภัณฑ์นม
9. ของหวานพวกผลไม้ในน้ำเชื่อม
10. เจลาตินและพุดดิ้ง
11. แยม และเยลลี่
12. ผลิตภัณฑ์นม
13. ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำผลไม้
14. สารให้ความหวานแทนน้ำตาล
15. ซอสต่าง ๆ และไซรัป

สำหรับการประเมินความปลอดภัยโดยรวมซึ่งได้มีการรับรองความปลอดภัยของซูคราโลสจากองค์กรต่าง ๆมากกว่า 30 ประเทศทั่วโลก พบว่าซูคราโลสไม่เป็นพิษ, ไม่เป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์, ไม่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ และไม่ใช่สารก่อมะเร็ง และJECFA(The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) ได้กำหนดค่าต่ำสุดที่ยอมรับให้บริโภคเท่ากับ 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน (the International Food Information Council Foundation,1998 และ American Dietetic Association,1998)

2.5.2.4 ซอร์บิทอล์

ซอร์บิทอล์เป็นสารให้ความหวานที่มีความหวาน 0.7 เท่าของน้ำตาล และนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์แคลอรี่ต่ำสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ทั้งนี้เพราะ ซอร์บิทอล์จะถูกดูดซึมช้า ทำให้มีระดับน้ำตาลกลูโคสและระดับอินซูลินในเลือดต่ำ คณะกรรมการอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดค่าต่ำสุดที่ยอมรับให้บริโภคได้ไม่เกิน 50 กรัมต่อวัน หากบริโภคมากเกินไปจะทำให้เกิดอาการท้องร่วงได้ (American Dietetic Association,1998)

อย่างไรก็ตามการเลือกใช้สารให้ความหวานนั้น ควรพิจารณาถึง ความปลอดภัยเมื่อบริโภค ,รสชาติ, ความคงตัวของสารให้ความหวาน และราคาที่เหมาะสม (Giese, 1992)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

- สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจากตลาดต้นลำไย จังหวัดเชียงใหม่

3.1.2 สารเคมี

- เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ (Low-methoxyl pectin)
- แคปปา-คาร์ราจีแนน (K-carageenan , S.K. Trading Co.ltd.)
- โลคัสบีนกัม (Locust bean gum , S.K. Trading Co.ltd.)
- โซเดียมอัลจิเนท (Sodium alginate , S.K. Trading Co.ltd.)
- แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium cholride , $CaCl_2$, Tokuyama Crop.Japan)
- กรดซิตริก (Citric acid (food grade) , S.K. Trading Co.ltd.)
- ซูโครส (Sucrose , food grade)
- แอสพาร์เทม (Aspartame , Fluka , Switzerlane)
- ซอร์บิทอล์ (Sorbitol , THAI WAH LG CHEMICAL CO.LTD)
- โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Cholride , NaCl , Merck , Germany)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH , Merck , Germany)
- ฟีนอลฟ์ธาลีน ($C_{20}H_{14}O_4$, Merck , Germany)
- ฟีนอลเรด (Phenol red , Merck , Germany)
- ซิงค์อะซิเตตไดไฮเดรท (Zinc acetate dihydrate , $(CH_3OO)_2Zn.2H_2O$, Merck, Germany)
- โซเดียมโปแตสเซียมตาร์เตรต (Sodium potassium tartrate , $NaKC_4O_6.4H_2O$ Reagent Puro Erba , France)

- โปแตสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ (Potassium ferrocyanide , $K_4(Fe(CN)_6).3H_2O$, Merck , Germany)
- คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate , $CuSO_4.5H_2O$, Merck , Germany)
- เมทธิลีนบูล (Methylene blue , BDH , England)
- กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid , HCl , Merck , Germany)
- เมธานอล์ (Methanol , S.K. Trading Co.ltd.)
- โปแตสเซียมไดไฮโรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate , KH_2PO_4 , Carlo Erba , Italy)
- กรดฟอสฟอริก (Phophoric acid , H_3PO_4 , Merck , Germany)
- กรดเบนโซอิก (Benzoic acid , Merck , Germany)
- กลูโคสโมโนไฮเดรต (Glucose , $C_6H_{12}O_6H_2O$, Merck , Germany)
- nutrient agar (Difgo , USA)
- agar (Difgo , USA)
- peptone (Difgo , USA)
- Brilliant Green Bile Broth (BBL , USA)

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตแยม

- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Analytical balance, Sartorious : Model B 3100P , Germany)
- ตู้แช่แข็ง (Sunyo : Model SF-C 65 A , Sunyo , Thailand Co,Ltd)
- เครื่องปั่นผสม (Blender, National : Model MX-T 31 GN , Taiwan)
- เตาแกส

3.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

3.1.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี

- เครื่องวัดสี (Minolta camera : Model CR 200, Japan)
- เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyser, Instron : Model 5500, Instron Crop)
- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Analytical balance , Sartorious : Model B 3100P,Germany)
- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance, Mettler-Toledo : Model AB 54 , Switzerland)
- เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH-meter , Orion : 520 A , USA)
- เครื่องวัดค่าของแข็งที่ละลายได้ (Hand refractometer, Atago : Model N1 Brix 1~32% , Japan)
- เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC, Shimadzu : Model CTO 6A , Japan)
- เครื่อง Liquid Chromatograhy (LC, HP 1050 Series, Hewlett packard, Germany)
- เครื่องวัดพลังงาน (Bomb Calorimeter, Gallencamp : Model CBB-330 , English)
- เครื่องกรองสุญญากาศ (Vaccuum suction, Medi-Pump : Model 1132 B, USA)
- Ultrasoniccator (Cavitator , Mettler Electronics corp : Model ME 4.6 , USA)
- Freeze dryer (Freezeone Plus Liter : Model 79340 , USA)

3.1.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

- หม้อนึ่ง (Autoclave , All America : Model 1941X , USA)
- ตู้บ่มอุณหภูมิ (Incubator, Gallenkamp ; Heraeus : Model B6200 , England)
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath , GFL : Model D1004 , Germany)

3.1.4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- ชุดอุปกรณ์ทดสอบชิม ประกอบด้วย ถ้วยพลาสติกขาว , ช้อนเล็ก , ถาดโฟม , ขนมปัง และแบบประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส (ภาคผนวก)

3.1.5 เครื่องประมวลผลข้อมูลทางสถิติ

- เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- โปรแกรมสำเร็จรูป statistix version 4.0

3.2. วิธีการทดลอง

ในการวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1 การทำเจลมาตรฐานจากเปกตินชนิด 150 เกรด

เจลมาตรฐานมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.0-3.2 , ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 65 บริกซ์ ทำได้โดยชั่งภาชนะที่ใช้กวนแยมพร้อมทั้งพาย จากนั้นตวงน้ำต้มที่เย็นแล้ว 320 มล. ชั่งน้ำตาล 500 กรัม เตรียมสารละลายกรดซิตริกชนิด 50 เปอร์เซ็นต์ (กรด 50 กรัม ละลายน้ำจนได้ปริมาตรของสารละลายครั้งสุดท้ายเป็น 100 มล.) เตรียมสารละลายโซเดียมซิเตรทชนิด 25 เปอร์เซ็นต์ (โซเดียมซิเตรท 25 กรัม ละลายน้ำปรับปริมาตรสารละลายเป็น 100 มล.)แล้วชั่งเปกตินที่จะใช้ทดสอบ3.33 กรัม นำเปกตินที่ชั่งเสร็จมาคลุกกับน้ำตาล ใช้น้ำตาล 5 เท่าของเปกตินโดยน้ำหนัก เมื่อคลุกเปกตินกับน้ำตาลจนเข้ากันดีแล้วจึงเทลงในน้ำที่ตวงไว้ 320 มล. เติมสารละลายกรดซิตริก 0.5 มล. สารละลายโซเดียมซิเตรทอีก 1 มล. ต้มจนเดือด 30 วินาที จากนั้นเติมน้ำตาลส่วนที่เหลือ เคี่ยวของผสมจนได้น้ำหนักครั้งสุดท้ายเป็น 770 กรัม ยกลงจากเตาทิ้งไว้ให้เย็น 30 วินาที ถ้ามีฟองอยู่ให้ตักออกให้หมด จากนั้นเทลงในถ้วยวัดเจลขนาด 108 มล. ในถ้วยแต่ละใบบรรจุด้วยสารละลายกรดซิตริก 1 มล. กับสารละลายโซเดียมซิเตรท 0.25 มล. เทของผสมจากภาชนะลงใส่ถ้วย คนให้ของผสมในถ้วยเข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 18 ชั่วโมง (Kertesz, 1951) จากนั้นวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลที่เตรียมได้ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron series 5500)

3.2.2 ศึกษาการเกิดเจลโดยใช้สารข้นเหนียว(Thickeners)ชนิดต่างๆ

ทำการศึกษาว่าสารข้นเหนียวชนิดใดที่ให้ลักษณะเจลที่เหมาะสมใกล้เคียงกับเจลมาตรฐาน โดยเลือกใช้สารข้นเหนียว 4 ชนิด คือ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ,แคปปา-คาร์ราจีแนน, โลคัสบีนกัม และโซเดียมอัลจิเนท

3.2.2.1 : ศึกษาการเกิดเจลของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ

<u>ปัจจัยในการศึกษาคือ</u> ปริมาณเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ, น้ำตาล และแคลเซียมคลอไรด์

ปัจจัย a คือ ปริมาณ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ

a_1 = 0.3 เปอร์เซ็นต์

a_2 = 0.5 เปอร์เซ็นต์

a_3 = 0.7 เปอร์เซ็นต์

ปัจจัย b คือ ปริมาณน้ำตาล(ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

b_1 = 15 บริกซ์

b_2 = 20 บริกซ์

b_3 = 25 บริกซ์

ปัจจัยcคือ ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ)

c_1 = 2.0 เปอร์เซ็นต์

c_2 = 2.5 เปอร์เซ็นต์

c_3 = 3.0 เปอร์เซ็นต์

นำเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ มาวิเคราะห์หาปริมาณเมธ็อกซิลด้วยวิธีของ Kertesz พบว่ามีปริมาณเมธ็อกซิลเท่ากับ 11.09 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงนำมาศึกษาการเกิดเจลซึ่งทำได้โดยชั่งน้ำตาลและเปกตินเมธ็อกซิลต่ำตามปริมาณที่จะศึกษา ผสมให้เข้ากันใส่ลงในน้ำที่ปราศจากอิออนให้ความร้อนจนถึง 85 องศาเซลเซียส และเติมสารละลายกรดซิตริก 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ได้ที่ 3.0 แล้วจึงเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ร้อนประมาณ 80 องศาเซลเซียส ลงไป คนให้เข้ากัน วางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial experiment + 4 Center Points ดังตารางที่ 3.1

การออกแบบการทดลองแบบ Factorial experiment เป็นการจัดสิ่งทดลองเข้ากับปัจจัยที่มีหลายระดับ การทดลองแบบนี้เป็นการทดลองที่มีประโยชน์ในการศึกษา เพื่อหาระดับการใช้ที่ดีที่สุด เหมาะสมที่สุดสำหรับหน่วยทดลอง การทดลองจะช่วยให้สามารถสรุปผลได้อย่างกว้างขวาง เพราะนอกจากจะสำรวจเพื่อเปรียบเทียบระหว่างระดับในแต่ละปัจจัยแล้ว ยังบอกความสำคัญของความเกี่ยวข้อง (Interaction effect) ระหว่างปัจจัยได้อีกด้วย จึงวางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial experiment + 4 Center Points การทำการทดลองที่ระดับกึ่งกลางเพื่อลดข้อผิดพลาด (Error) ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจาก Interaction ระหว่างส่วนประกอบต่าง ๆ ในอาหารซึ่งเป็น Complex food เพื่อระบุให้เห็นว่าที่จุดกึ่งกลางจะมีแนวโน้มเป็นอย่างไร (ไพโรจน์, 2536)

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design + 4 Center Points

สิ่งทดลอง	ปัจจัยที่ศึกษา			
	รหัส	ปริมาณเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ (%)	ปริมาณน้ำตาล (บริกซ์)	ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ (%ของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ)
	-1	0.3	15	2.0
	0	0.5	20	2.5
	+1	0.7	25	3.0
a		+1	-1	-1
b		-1	+1	-1
ab		+1	+1	-1
c		-1	-1	+1
ac		+1	-1	+1
(1)		-1	-1	-1
bc		-1	+1	+1
abc		+1	+1	+1
cp1		0	0	0
cp2		0	0	0
cp3		0	0	0
cp4		0	0	0

หมายเหตุ: a=ปริมาณเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ, b= ปริมาณน้ำตาล, c= ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์

(1)= All low level, cp(center point) = ระดับกึ่งกลาง

เมื่อได้สิ่งทดลองทั้งหมดแล้ว จะนำตัวอย่างของแต่ละสิ่งทดลองมาทำการวิเคราะห์ทางกายภาพคือ วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron series 5500) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยเครื่อง hand refractometer วิเคราะห์ทางเคมีคือ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเป็นกรดทั้งหมดตามวิธีของAOAC(1990) รวมทั้งทำการประเมินผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยใช้วิธี ideal ratio profile technique เพื่อหาค่า mean ideal ratio score ในแต่ละลักษณะของเจล โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 10 คน ที่ได้รับการอธิบายให้ทราบถึงลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ของเจลก่อนทำการทดสอบ ได้แก่ การกระจายของเจล, ความแข็งแรงของเจลที่เหมาะสม, ความหนืดของเจลที่เหมาะสม และการยอมรับโดยรวม

นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ทางด้านสถิติโดยใช้โปรแกรม sx version 4.0 ด้วยวิธี stepwise regression analysis โดยที่ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นจะให้รหัสปัจจัยที่มีระดับสูง กลาง ต่ำ โดยใช้รหัสเป็นค่า +1 , 0 , -1 ตามลำดับ เพื่อหาข้อสรุปจากการทดลองถึงผลของเปกติน เมธ็อกซิลต่ำ, น้ำตาล และแคลเซียมคลอไรด์ ที่มีผลต่อคุณลักษณะของเจล รวมทั้งคำนวณหาปริมาณที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย โดยการนำเอาสมการที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส มาทำการถอดรหัสของตัวแปรในแต่ละสมการ ซึ่งสามารถพิจารณาจากค่า R^2 (Coefficient of multiple determination) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา ค่า R^2 ที่สูงหมายถึงความสัมพันธ์ที่ได้มีความเหมาะสมกับผลที่ได้ค่อนข้างสูง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลใกล้เคียงกับลักษณะที่เป็นค่าในอุดมคติของผลิตภัณฑ์มากที่สุด

หลักการถอดรหัสของตัวแปรสมการ (coded equation) ดังกล่าวสามารถทำได้โดยการนำเอาตัวแปรสมการที่มีปัจจัยที่ยังไม่ได้ทำการถอดรหัสมาแก้สมการโดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ปัจจัยที่ยังไม่ได้ถอดรหัส} = \frac{\text{ค่าจริง} - (\text{ค่าที่ระดับสูงของปัจจัยนั้น} + \text{ค่าที่ระดับต่ำของปัจจัยนั้น})/2}{(\text{ค่าที่ระดับสูงของปัจจัยนั้น} - \text{ค่าที่ระดับต่ำของปัจจัยนั้น})/2}$$

จากนั้นนำเอาปัจจัยที่ยังไม่ได้ถอดรหัสที่ได้ไปแทนในตัวแปรสมการ และแก้ไขสมการ ได้เป็นสมการที่ถอดรหัสแล้ว ซึ่งสามารถใช้สมการที่ได้นี้ไปคาดคะเนผลที่จะเกิดขึ้นได้ แต่การคาดคะเนนั้นจะต้องไม่กระทำในช่วงที่เกินจากช่วงหรือระดับสูง – ต่ำ ที่ได้ทำการทดลองจริงเท่านั้น (ไพโรจน์, 2536)

3.2.2.2 : ศึกษาการเกิดเจลของ แคปปา-คาร์ราจีแนน

<u>ปัจจัยในการศึกษาคือ</u> ปริมาณ แคปปา-คาร์ราจีแนน , น้ำตาล และแคลเซียมคลอไรด์

ปัจจัย a คือ ปริมาณ แคปปา-คาร์ราจีแนน

a_1 = 0.6 เปอร์เซ็นต์

a_2 = 0.7 เปอร์เซ็นต์

a_3 = 0.8 เปอร์เซ็นต์

ปัจจัย b คือ ปริมาณน้ำตาล(ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

b_1 = 15 บริกซ์

b_2 = 20 บริกซ์

b_3 = 25 บริกซ์

ปัจจัย c คือ ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์(คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแคปปา-คาร์ราจีแนน)

c_1 = 10 เปอร์เซ็นต์

c_2 = 15 เปอร์เซ็นต์

c_3 = 20 เปอร์เซ็นต์

ทำได้โดยชั่งน้ำตาลและแคปปา-คาร์ราจีแนน ตามปริมาณที่จะศึกษาผสมให้เข้ากันใส่ลงไปในน้ำที่ปราศจากอิออนให้ความร้อนจนถึง 80 องศาเซลเซียส และเติมสารละลายกรดซิตริก 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ได้ 3.0 แล้วจึงเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงไป โดยวางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design + 4 Center points ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับขั้นตอน 2.1

3.2.2.3 : ศึกษาการเกิดเจลของ โลคัสบีนกัม

<u>ปัจจัยในการศึกษาคือ</u> ปริมาณ โลคัสบีนกัม , น้ำตาล และแคลเซียมคลอไรด์

ปัจจัย a คือ ปริมาณ โลคัสบีนกัม

a_1 = 0.6 เปอร์เซ็นต์

a_2 = 0.7 เปอร์เซ็นต์

a_3 = 0.8 เปอร์เซ็นต์

ปัจจัย b คือ ปริมาณน้ำตาล(ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

b_1 = 15 บริกซ์

b_2 = 20 บริกซ์

b_3 = 25 บริกซ์

ปัจจัย c คือ ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์(คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักโลคัสบีนกัม)

c_1 = 10 เปอร์เซ็นต์

c_2 = 15 เปอร์เซ็นต์

c_3 = 20 เปอร์เซ็นต์

ทำได้โดยชั่งน้ำตาลและโลคัสบีนกัม ตามปริมาณที่จะศึกษาผสมให้เข้ากันใส่ลงไปในน้ำที่ปราศจากอิออนให้ความร้อนจนถึง 80 องศาเซลเซียส และเติมสารละลายกรดซิตริก 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ได้ 3.0 แล้วจึงเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงไป โดยวางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design + 4 Center points ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับขั้นตอน 2.1

3.2.2.4 : ศึกษาการเกิดเจลของ โซเดียมอัลจิเนท

<u>ปัจจัยในการศึกษาคือ</u> ปริมาณ โซเดียมอัลจิเนท, น้ำตาล และแคลเซียมคลอไรด์

ปัจจัย a คือ ปริมาณ โซเดียมอัลจิเนท

a_1 = 0.5 เปอร์เซ็นต์

a_2 = 1.0 เปอร์เซ็นต์

a_3 = 1.5 เปอร์เซ็นต์

ปัจจัย b คือ ปริมาณน้ำตาล(ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

b_1 = 15 บริกซ์

b_2 = 20 บริกซ์

b_3 = 25 บริกซ์

ปัจจัย c คือปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักโซเดียมอัลจิเนท)

c_1 = 5 เปอร์เซ็นต์

c_2 = 10 เปอร์เซ็นต์

c_3 = 15 เปอร์เซ็นต์

ทำได้โดยชั่งน้ำตาลและโซเดียมอัลจิเนท ตามปริมาณที่จะศึกษาผสมให้เข้ากันใส่ลงไปในน้ำที่ปราศจากอิออนให้ความร้อนจนถึง 80 องศาเซลเซียส และเติมสารละลายกรดซิตริก 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ได้ 3.0 แล้วจึงเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงไป โดยวางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design + 4 Center points ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับขั้นตอน 2.1

3.3 ทดลองทำแยมสับปะรด

ทำแยมสับปะรดจากสภาวะที่เหมาะสมของสารข้นเหนียวที่ได้ทดลองจากการทดลองที่ 2 เพื่อศึกษาว่าสารให้ความข้นเหนียวชนิดใดที่มีความเหมาะสมในการทำแยมสับปะรดมากที่สุด โดยทำการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 3.0-3.3 และใช้เนื้อผลไม้ที่ 45 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแยมตามข้อกำหนดของแยมในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แยม เยลลี่ มาร์มาเลด (มอก.263 2521)

กระบวนการทำแยม

นำเนื้อสับปะรดปั่นละเอียดกับน้ำในอัตราส่วน 45 : 30 มาปรับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 3.0 ด้วยกรดซิตริก แล้วจึงนำไปต้มพร้อมทั้งเติมน้ำตาลที่ผสมเข้ากันกับสารข้นเหนียวลงไป เมื่อน้ำตาลและสารข้นเหนียวละลายหมดและให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสม จึงเติมแคลเซียมคลอไรด์ในปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 2 ลงไป

สิ่งทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพคือ วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron series 5500) , ค่าสีระบบ L , a* , b* ตามวิธีของ Minolta camera Co.Ltd (1990) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยเครื่อง hand refractometer การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีคือ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) , ความเป็นกรดทั้งหมด ตามวิธีของ AOAC (1990) , ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธีของ Lane and Eynon General Volumetric Method (AOAC,1990) และทำการวิเคราะห์ผลทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal ratio profile technique

ข้อมูลที่ได้ทั้งหมด นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้วิธี two samples of t-test ที่มีการทดลองแบบ RCBD(Randomized Complete Block Design) การวิเคราะห์แบบ t-test เป็นการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในสิ่งทดลอง 2 กลุ่ม ใช้ในกรณีที่หน่วยทดลองมีขนาดเล็ก ($n \leq 30$) โดยจะอยู่ในลักษณะที่หาผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของหน่วยทดลอง 2 กลุ่มแล้วหารผลต่างด้วยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการแจกแจงของผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (ชูศรี , 2534)

3.4 ศึกษาการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลในแยมสับปะรด

<u>ปัจจัยในการศึกษาคือ</u> ชนิดของสารให้ความหวาน และระดับความหวานที่ปรับ (เทียบกับสารละลายซูโครส)

ปัจจัย a คือ ชนิดของสารให้ความหวาน

a_1 = แอสพาร์เทม

a_2 = ซอร์บิทอล์

ปัจจัย b คือ ระดับความหวานที่ปรับ (เทียบกับสารละลายซูโครส)

b_1 = 40 บริกซ์

b_2 = 50 บริกซ์

b_3 = 60 บริกซ์

ทำการศึกษาว่าสารให้ความหวานชนิดใดสามารถให้ความหวานได้เป็นที่ยอมรับมากที่สุด โดยทดลองใช้สารให้ความหวาน 2 ชนิดคือ แอสพาร์เทม และ ซอร์บิทอล์ ทำการปรับแยมสับปะรดให้มีความหวานเท่ากับสารละลายซูโครสที่ 40 บริกซ์ , 50 บริกซ์ และ 60 บริกซ์ โดยวางแผนการทดลองแบบ 2x3 Factorial experiment in randomized complete block design ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองแบบ 2x3 Factorial experiment in randomized complete block design

สิ่งทดลอง	ปัจจัยที่ศึกษา	
	ชนิดสารให้ความหวาน	ระดับความหวานเมื่อเทียบกับสารละลายซูโครส (บริกซ์)
a1b1	แอสพาร์เทม	40
a1b2	แอสพาร์เทม	50
a1b3	แอสพาร์เทม	60
a2b1	ซอร์บิทอล์	40
a2b2	ซอร์บิทอล์	50
a2b3	ซอร์บิทอล์	60

หมายเหตุ: a = ชนิดสารให้ความหวาน, b = ระดับความหวานที่ปรับ(เทียบกับสารละลายซูโครส)

สิ่งทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพคือ วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron series 5500) , ค่าสีระบบ L , a* , b* ตามวิธีของ Minolta camera Co.Ltd (1990) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยเครื่อง hand refractometer การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีคือ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) , ความเป็นกรดทั้งหมด ตามวิธีของ AOAC (1990) , ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธีของ Lane and Eynon General Volumetric Method (AOAC,1990) และปริมาณแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์ด้วยวิธี HPLC (High Performance Liquild Chromatography) และทำการวิเคราะห์ผลทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal ratio profile technique

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมด นำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม sx version 4.0 ด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Duncan's New multiple Range test เพื่อหาแยมสับปะรดที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด ในการวิเคราะห์ วาเรียนซ์หรือความผันแปร เป็นวิธีคำนวณเพื่อแบ่งแยกผลรวมกำลังสอง (Sum of Square) ของความผันแปรทั้งหมดออกเป็นส่วน ๆ เพื่อคำนวณความแตกต่างอันเนื่องมาจากสิ่งทดลองที่แตกต่างกันมากกว่า 2 กลุ่ม และสามารถเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลองว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร เพื่อสามารถเลือกสรุปสิ่งทดลองที่เหมาะสมให้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับค่าทางอุดมคติมากที่สุด (ชูศรี , 2534)

3.5 การวิเคราะห์ผลและตรวจสอบแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

นำแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำสูตรที่เหมาะสมมากที่สุดและผู้ทดสอบชิมยอมรับมากที่สุดจากการศึกษาในขั้นตอนที่ 4 มาวิเคราะห์คุณภาพต่าง ๆ ดังนี้คือ คุณภาพทางกายภาพ, ทางเคมี และการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัส เหมือนการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 4

3.6 ศึกษาอายุการเก็บของแยมแคลอรี่ต่ำ

นำแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำสูตรที่เหมาะสม บรรจุลงในภาชนะแก้วขนาด 250 กรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาอายุการเก็บเป็นเวลา 12 สัปดาห์ และทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ, ทางเคมี, ทางจุลินทรีย์ และการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส ในสัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 และ 12 ของระยะเวลาการเก็บรักษา

3.6.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron series 5500)
- ค่าสีระบบ L , a* , b* ตามวิธีของ Minolta camera Co.Ltd (1990)

3.6.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
- ความเป็นกรดทั้งหมด ตามวิธีของ AOAC(1990)
- ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธีของ Lane and Eynon General Volumetric Method (AOAC,1990)

3.6.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

ตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ตามที่พระราชบัญญัติอาหาร ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 89 (พ.ศ 2528) เรื่องแยม เยลลี่ และมาร์มาเลด ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทกำหนด คือ แบคทีเรียโคลิฟอร์มโดยวิธี MPN แบคทีเรียทั้งหมด และยีสต์ราโดยวิธี pour plate ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ NAและPDA และบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส , 3-5 วัน ตามวิธีของวิลาวัณย์ , 2539

3.6.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

ทำการประเมินผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยใช้วิธี ideal ratio profile technique เพื่อหาค่า mean ideal ratio score ในแต่ละลักษณะของแยม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 10 คน ที่ได้รับการอธิบายให้ทราบถึงลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ของแยมก่อนทำการทดสอบ ได้แก่ กลิ่น , รสชาติ , เนื้อสัมผัส , ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวม

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดนำมาวิเคราะห์ทางด้านสถิติโดยใช้โปรแกรม sx version 4.0 ด้วยวิธี Analysis of Variance และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Duncan's New multiple Range test เพื่อใช้ในการประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้น และทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการทดลองทำเจลมาตรฐานจากเปกตินชนิด 150 เกรด

จากการทดลองทำเจลมาตรฐานจากเปกตินชนิด 150 เกรด โดยควบคุมให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างช่วง 3.0-3.2 และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 65 บริกซ์ แล้วจึงใช้ลักษณะเจลที่ได้รับนั้นเทียบเป็นลักษณะเจลในอุดมคติเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสตามที่ต้องการ

การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลนั้น เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางด้านรีโอโลยี (rheological property) ของเจลแล้วการจะวัดหาลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของโครงสร้างเจล ปกตินิยมวัดในรูปหน่วยของแรงสูงสุดที่ใช้ไป มีหน่วยเป็นนิวตัน และพลังงานที่มีหน่วยเป็นมิลลิจูล โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสอาหาร (Instron) ซึ่งส่วนใหญ่มักแสดงในรูปของแรงเค้น(stress) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของแรงที่กระทำต่อวัตถุในรูปของแรงต่อพื้นที่ และแรงเครียด (strain) คือผลของการเปลี่ยนแปลงในด้านรูปร่างหรือขนาด อันเนื่องมาจากแรงที่กระทำต่อวัตถุนั้น ๆ ชนิดของแรงเค้นที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร ได้แก่ แรงทะลุ (puncture force) ซึ่งเป็นแรงที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อเจล (Giese,1995)

ผลการวิเคราะห์หาค่าแรงทะลุ 4 ครั้ง ครั้งละ 4 ซ้ำ พบว่า เจลมาตรฐานมีค่าแรงกดอยู่ในช่วง 1.05-1.14 นิวตัน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.10 นิวตัน

ตารางที่ 4.1 ผลค่าแรงกดของเจลมาตรฐานที่วัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส(Instron sereis 5500)

ตัวอย่างเจลมาตรฐาน	แรงกด (นิวตัน)
1	1.14±0.05
2	1.08±0.13
3	1.12±0.12
4	1.05±0.11
ค่าเฉลี่ย	1.10±0.04

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 ผลการศึกษาการเกิดเจลโดยใช้สารข้นเหนียว (Thickeners) ชนิดต่าง ๆ

เมื่อทำการศึกษาว่า สารข้นเหนียวชนิดใดที่ให้ลักษณะเจลที่เหมาะสมใกล้เคียงกับเจลมาตรฐาน โดยเลือกใช้สารข้นเหนียวแต่ละชนิด คือ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ (low-methoxyl pectin) , คาร์ราจีแนน (K-carrageenan) , โลคัสบีนกัม (locust bean gum) และอัลจิเนท (Na-alginate) แล้วพบว่าสารข้นเหนียวที่สามารถเกิดเจลและลักษณะเจลที่ได้สามารถทำการปรับปรุงให้มีลักษณะใกล้เคียงกับเจลมาตรฐานได้นั้น คือ สารข้นเหนียวชนิดเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ และคาร์ราจีแนน สำหรับสารข้นเหนียวชนิด โลคัสบีนกัม และอัลจิเนท จะให้เจลที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการในผลิตภัณฑ์แยม คือ โลคัสบีนกัมไม่สามารถเกิดเจลได้ และอัลจิเนทจะให้เจลในทันทีที่ทำปฏิกริยากับแคลเซียมอิออน จึงไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมต่อไป ดังนั้นจึงเลือกใช้สารข้นเหนียวชนิดเปกตินเมธ็อกซิลต่ำและคาร์ราจีแนนที่จะทำการศึกษาและพัฒนาให้มีลักษณะเจลที่ใกล้เคียงกับเจลมาตรฐานต่อไป

4.2.1 ผลการศึกษาการเกิดเจลของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ

จากการศึกษาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ , น้ำตาล (ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด) และแคลเซียมคลอไรด์ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ) ที่สามารถให้ลักษณะเจลที่ใกล้เคียงกับเจลมาตรฐาน และได้รับการยอมรับมากที่สุด

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางกายภาพ , เคมี และการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสแสดงในตาราง 4.2 ,4.3 ,4.4

ตาราง 4.2 ค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ทางกายภาพของเจลที่ได้จากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ

สิ่งทดลอง	ค่าแรงกด (นิวตัน)
1(a)	0.33±0.00
2(b)	0.11±0.01
3(ab)	0.38±0.00
4(c)	0.06±0.01
5(ac)	0.34±0.01
6(1)	0.06±0.00
7(bc)	0.09±0.01
8(abc)	0.41±0.01
9(cp1)	0.23±0.00
10(cp2)	0.23±0.01
11(cp3)	0.21±0.01
12(cp4)	0.22±0.00

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง4.3 ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์ทางเคมีของเจลที่ได้จากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ

สิ่งทดลอง	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	ปริมาณความเป็นกรดทั้งหมด(%)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด(Brix)
1	3.08±0.00	0.231±0.001	17.90±0.14
2	2.93±0.02	0.199±0.005	27.00±0.00
3	3.12±0.01	0.207±0.005	28.10±0.14
4	2.91±0.01	0.196±0.000	17.90±0.14
5	3.14±0.01	0.193±0.005	17.90±0.14
6	2.92±0.02	0.182±0.000	17.90±0.14
7	3.07±0.02	0.185±0.005	27.90±0.14
8	3.10±0.00	0.175±0.000	28.00±0.00
9	3.02±0.01	0.172±0.005	22.90±0.14
10	3.06±0.01	0.189±0.001	23.90±0.14
11	3.07±0.01	0.196±0.000	23.90±0.14
12	3.06±0.00	0.203±0.001	23.90±0.14

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.4 ค่าเฉลี่ยของการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของเจลที่ได้จากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ

สิ่งทดลอง	การะจายของเจล	ความแข็งแรงของเจล	ความหนืด	การยอมรับรวม
1	0.89±0.13	1.04±0.32	0.91±0.15	0.66±0.12
2	1.05±0.01	0.51±0.28	0.42±0.11	0.41±0.13
3	0.91±0.15	1.08±0.31	0.95±0.20	0.72±0.13
4	1.07±0.02	0.46±0.29	0.46±0.13	0.42±0.14
5	0.97±0.09	1.05±0.36	0.96±0.21	0.72±0.13
6	1.08±0.02	0.43±0.20	0.38±0.12	0.36±0.14
7	1.03±0.08	0.53±0.21	0.51±0.13	0.48±0.14
8	0.93±0.09	1.11±0.31	0.98±0.22	0.74±0.12
9	0.95±0.09	0.85±0.16	0.86±0.06	0.62±0.15
10	0.98±0.09	0.86±0.18	0.86±0.07	0.62±0.17
11	0.99±0.04	0.86±0.17	0.87±0.07	0.61±0.16
12	0.98±0.05	0.83±0.18	0.87±0.07	0.60±0.15

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์แบบ Stepwise regression analysis โดยกำหนดค่าตัวแปรอิสระและค่าตัวแปรตาม ค่าผลวิเคราะห์ซึ่งได้มาจากทั้งการวิเคราะห์ทางเคมี , กายภาพ และการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัส จะได้สมการความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามซึ่งเป็นสมการที่ยังไม่ได้ถอดรหัส (coded equation) ดังตาราง 4.5

ส.ร.
641.852
ห116ก
เลขหมู่..... C.3
สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ตาราง 4.5 สมการที่ยังไม่ได้ถอดรหัสของลักษณะต่าง ๆของเจลที่ได้จากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ

Response variables	Coded equation	R^2
Instron	$= 0.125+0.08(C)^2+0.1275(L)+0.0375(S)$	0.9577
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Brix)	$= 23.6-0.675(C)^2+4.925(S)$	0.9950
ค่าความเป็นกรดด่าง	$= 3.0166+0.0862(L)-0.0287(LxSxC)$	0.8321
ปริมาณกรดทั้งหมด(%)	$= 0.7375+0.02(C)-0.0225(C)^2+0.0075(CxS)$ $+0.025(L)-0.0125(LxSxC)+0.0175(S)$	0.9631
การกระจายของเจล	$= 0.9858-0.0663(L)+0.0163(LxC)$	0.8929
ความแข็งแรงของเจล	$= 0.8008+0.2938(L)+0.0313(S)$	0.9768
ความหนืด	$= 0.7525+0.2538(L)$	0.8542
การยอมรับรวม	$= 0.5798+0.1460(L)+0.0230(S)+0.0270(C)$	0.9603

หมายเหตุ : C= แคลเซียมคลอไรด์ , L= เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ และ S= น้ำตาล

ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงระดับการใช้ปัจจัยทั้ง 3 คือ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ, น้ำตาล และแคลเซียมคลอไรด์ โดยเมื่อพิจารณาจาก สมการความแข็งแรงของเจล และสมการการยอมรับรวมประกอบกันแล้ว พบว่า ระดับการใช้ของปัจจัยทั้ง 3 ที่สามารถนำมาพิจารณามี 2 ระดับ คือ

ระดับที่ 1 การใช้ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ 0.7 เปอร์เซ็นต์, น้ำตาล 20 เปอร์เซ็นต์ และแคลเซียมคลอไรด์ 3 เปอร์เซ็นต์(คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ)

ระดับที่ 2 การใช้ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ 0.7 เปอร์เซ็นต์, น้ำตาล 25 เปอร์เซ็นต์ และแคลเซียมคลอไรด์ 3 เปอร์เซ็นต์(คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ)

โดยในระดับที่ 1 ตอบสนองต่อค่าการยอมรับรวม เท่ากับ 0.76 และค่าความแข็งแรงของเจล เท่ากับ 1.095 และในระดับที่ 2 ตอบสนองต่อค่าการยอมรับรวม เท่ากับ 0.77 และค่าความแข็งแรงของเจล เท่ากับ 1.126 จากการพิจารณา ระดับที่ 1 สามารถตอบสนองต่อลักษณะการยอมรับรวมและความแข็งแรงของเจลได้ใกล้เคียงกับค่าทางอุดมคติมากกว่าจึงเลือกใช้ปัจจัยทั้ง 3 ในระดับที่ 1 คือ

เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ ควรใช้ในระดับสูง 0.7 เปอร์เซ็นต์

น้ำตาล ควรใช้ในระดับกลาง 20 เปอร์เซ็นต์

แคลเซียมคลอไรด์ ควรใช้ที่ระดับสูง 3 เปอร์เซ็นต์(คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ)

4.2.2 ผลการศึกษาการเกิดเจลโดยใช้สารข้นเหนียวคาร์ราจีแนน

เมื่อทำการทดลองหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการเกิดเจล โดยใช้ คาร์ราจีแนน ,น้ำตาล และแคลเซียมคลอไรด์ ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางกายภาพ , เคมี และการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสแสดงในตาราง 4.6, 4.7 และ4.8

ตาราง 4.6 ค่าวิเคราะห์ทางด้านกายภาพของเจลที่ได้จากคาร์ราจีแนน

สิ่งทดลอง	ค่าแรงกด(นิวตัน)
1	0.33±0.00
2	0.25±0.01
3	0.48±0.00
4	0.20±0.01
5	0.36±0.01
6	0.25±0.01
7	0.30±0.00
8	0.50±0.01
9	0.33±0.01
10	0.34±0.00
11	0.33±0.01
12	0.33±0.01

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.7 ค่าวิเคราะห์ทางเคมีของเจลที่ได้จากคาร์ราจีแนน

สิ่งทดลอง	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	ค่าความเป็นกรดทั้งหมด(%)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด(บริกซ์)
1	3.06±0.01	0.175±0.000	15.80±0.00
2	3.10±0.00	0.203±0.001	25.90±0.14
3	3.03±0.01	0.203±0.001	26.30±0.14
4	3.09±0.01	0.178±0.005	15.80±0.00
5	3.12±0.02	0.196±0.000	15.90±0.14
6	3.05±0.00	0.203±0.001	15.90±0.14
7	3.10±0.01	0.175±0.000	26.00±0.00
8	3.06±0.01	0.178±0.005	25.90±0.14
9	3.05±0.00	0.207±0.005	20.90±0.14
10	3.04±0.01	0.178±0.005	21.45±0.01
11	3.03±0.01	0.175±0.000	21.50±0.14
12	3.05±0.01	0.175±0.000	21.10±0.14

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.8 ค่าเฉลี่ยของผลการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของเจลที่ได้จากคาร์ราจีแนน

สิ่งทดลอง	การกระจายของเจล	ความแข็งแรงของเจล	ความหนืด	การยอมรับรวม
1	1.02±0.10	1.34±0.40	0.68±0.25	0.55±0.18
2	1.06±0.05	0.96±0.41	0.57±0.19	0.55±0.22
3	0.94±0.09	1.59±0.46	0.78±0.39	0.48±0.16
4	1.09±0.04	0.68±0.23	0.63±0.37	0.44±0.20
5	1.05±0.05	0.77±0.49	0.58±0.25	0.58±0.16
6	1.01±0.07	1.14±0.49	0.58±0.28	0.51±0.19
7	1.09±0.04	0.87±0.45	0.66±0.24	0.61±0.18
8	1.02±0.08	1.28±0.49	0.71±0.31	0.54±0.25
9	1.07±0.08	1.02±0.27	0.74±0.24	0.59±0.17
10	1.06±0.07	1.36±0.39	0.86±0.38	0.56±0.13
11	1.05±0.07	1.17±0.43	0.76±0.35	0.59±0.21
12	1.08±0.05	0.86±0.41	0.69±0.16	0.55±0.21

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Stepwise regression analysis จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่ยังไม่ได้ถอดรหัส ดังตารางที่ 4.9

ตาราง 4.9 สมการที่ยังไม่ได้ถอดรหัสของลักษณะต่าง ๆ ของเจลที่ได้จากคาร์ราจีแนน

Response variables	Coded equation	R^2
Instron	= 0.225-0.0625(C)+0.0625(K)+0.0475(S) +0.05(KxS)-0.0225(KxSxC)	0.9934
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (บริกซ์)	= 21.0667+5.075(S)	0.9966
ปริมาณกรดทั้งหมด(%)	= 0.7483+0.0125(C)-0.0075(S)+0.0075(KxC) +0.01(KxSxC)-0.005(SxC)	0.9356
การกระจายของเจล	= 1.065+0.0275(C)-0.0275(K)+0.0075(S)-0.03$(C)^2$ -0.02(KxS)+0.0125(KxSxC)	0.9900
ความแข็งแรงของเจล	= 1.087-0.1788(C)+0.1166(K)	0.5786
ความหนืด	= 0.7625-0.1138$(C)^2$	0.3900
การยอมรับรวม	= 0.5725-0.04$(C)^2$-0.04(KxS)+0.02(SxC)	0.7708

หมายเหตุ: K= คาร์ราจีแนน , C= แคลเซียมคลอไรด์ และ S= น้ำตาลซูโครส

ดังนั้นเมื่อพิจารณาโดยรวมถึงระดับการใช้ของปัจจัยทั้ง 3 คือ คาร์ราจีแนน, น้ำตาล และแคลเซียมคลอไรด์ ที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากทำการถอดรหัสและแทนค่าในสมการเพื่อหาระดับการใช้ที่เหมาะสมสามารถสรุปได้ว่า

คาร์ราจีแนน ควรใช้ที่ระดับต่ำ 0.6 เปอร์เซ็นต์
น้ำตาล ควรใช้ที่ระดับสูง 25 เปอร์เซ็นต์
แคลเซียมคลอไรด์ ควรใช้ที่ระดับกลาง 15 เปอร์เซ็นต์(คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของคาร์ราจีแนน)

4.3 ผลการทดลองทำแยมสับปะรด

เมื่อทราบลักษณะเจลที่เหมาะสมใกล้เคียงกับเจลมาตรฐานหรือเจลในอุดมคติ ที่ได้จากการใช้สารข้นเหนียว เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ และคาร์ราจีแนน แล้วจากการทดลองข้างต้นจึงทดลองทำแยมสับปะรดโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมของสารข้นเหนียวทั้งสองชนิด และใช้เนื้อสับปะรดที่ 45 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแยมแล้วนำมาเปรียบเทียบกันโดยการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัส , ค่าวิเคราะห์ทางด้านกายภาพและเคมี จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม sx version 4.0 ด้วยวิธี two-samples of t-test

ตาราง 4.10 ค่าเฉลี่ยของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของแยมสับปะรดที่ทำจากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ และคาร์ราจีแนน

ลักษณะ	แยมสับปะรดจากสารข้นเหนียว	
	เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ	คาร์ราจีแนน
สีที่ปรากฏ	0.99±0.19a	0.87±0.16a
การกระจายของสับปะรด	0.96±0.17a	0.97±0.12a
การกระจายของแยม	0.92±0.07a	0.96±0.11a
ความแข็งแรงของแยม	0.92±0.16a	0.86±0.14a
ความหนืดแยม	0.86±0.20a	0.68±0.33b
กลิ่นสับปะรด	0.94±0.25a	1.02±0.08a
รสหวาน	0.60±0.16a	0.51±0.18a
รสเปรี้ยว	1.48±0.34a	1.60±0.31a
การยอมรับรวม	0.66±0.20a	0.50±0.17b

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

จากตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของแยมสับปะรดที่ทำจากสารข้นเหนียว เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ และคาร์ราจีแนน พบว่า แยมสับปะรดที่ทำจากสารข้นเหนียวชนิด เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ มีคะแนนเฉลี่ยของค่าการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสที่สูงกว่าแยมสับปะรดที่ทำจาก คาร์ราจีแนน โดยเฉพาะคะแนนเฉลี่ยของค่าการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสที่แสดงถึงการยอมรับโดยรวมและลักษณะเนื้อสัมผัส คือ ค่าความหนืดของแยม ที่ทำจาก เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ ที่มีค่าสูงกว่าแยมสับปะรดที่ทำจากและคาร์ราจีแนน ค่าที่สูงกว่านั้นยังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ ด้วย

ตาราง 4.11 ค่าการวิเคราะห์ทางด้านเคมีและทางกายภาพของแยมสับปะรดที่ทำจาก เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ และคาร์ราจีแนน

ค่าวิเคราะห์	เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ	คาร์ราจีแนน
การวิเคราะห์ทางเคมี		
ปริมาณกรดทั้งหมด(%)	0.686±0.019a	0.714±0.019a
ความเป็นกรด-ด่าง	3.12±0.02a	3.06±0.01a
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด(Brix)	22.00±0.00a	25.60±0.00b
น้ำตาลรีดิวซ์(%)	4.08±0.02a	3.86±0.01b
น้ำตาลทั้งหมด(%)	18.45±0.08b	21.90±0.15a
การวิเคราะห์ทางกายภาพ		
ค่าสี L	42.77±0.02a	40.04±0.03b
a *	-1.64±0.00a	-1.36±0.02b
b *	9.35±0.01a	7.61±0.01b
ค่าแรงกด(นิวตัน)	0.42±0.00a	0.28±0.01b

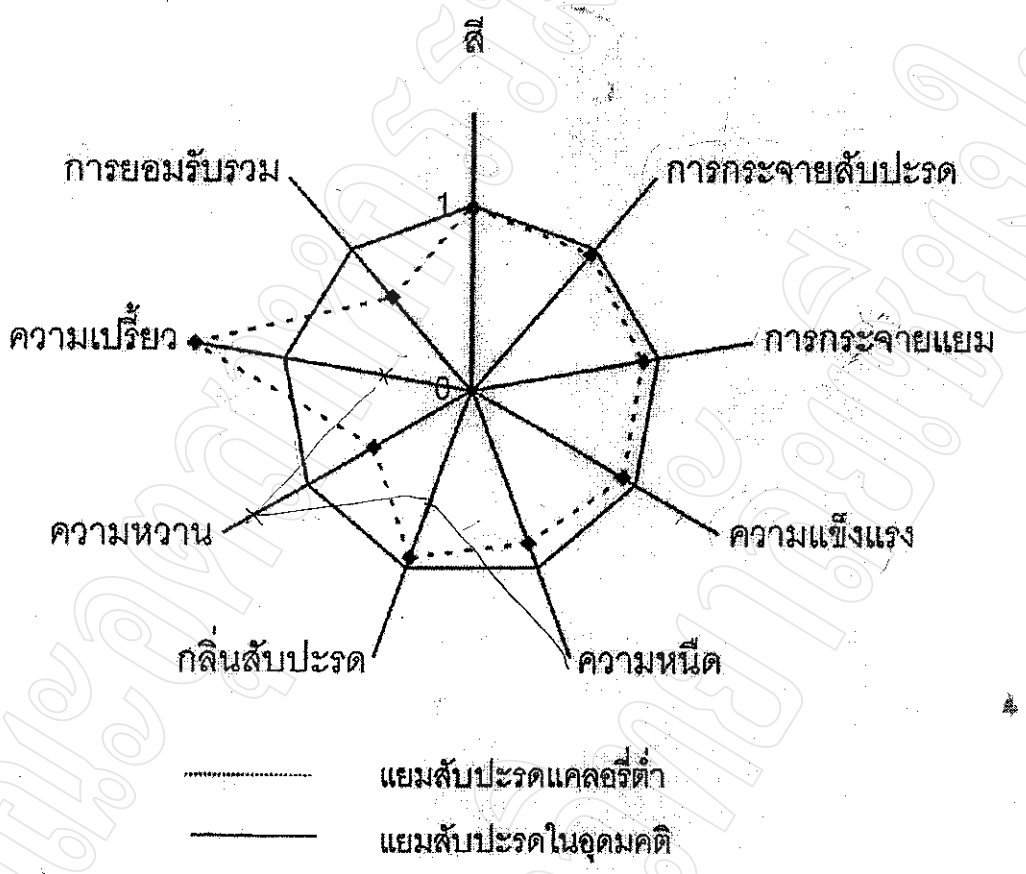
หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

สำหรับผลการเปรียบเทียบค่าวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพของแยมสับปะรดที่ทำจากสารข้นเหนียว เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ และคาร์ราจีแนน จากตารางที่ 4.11 พบว่าแยมสับปะรดที่ทำจาก เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ มีค่าสี L, a* และb* และค่าแรงกด (punctue force)ที่สูงกว่าแยมสับปะรดที่ทำจาก คาร์ราจีแนน และค่าที่สูงกว่านั้นยังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ ด้วย

จากผลการวิเคราะห์ทางกายภาพนั้น แยมสับปะรดที่ทำจาก เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ มีค่าสี L เท่ากับ 42.77±0.02 ค่าสี a* เท่ากับ –1.64±0.00 และค่าสี b* เท่ากับ 9.35±0.01 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าสีของแยมสับปะรดที่ทำจาก คาร์ราจีแนน แสดงให้เห็นว่าแยมสับปะรดที่ทำจาก เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ มีสีเหลืองใสมากกว่าแยมสีบปะรดที่ทำจาก คาร์ราจีแนน สำหรับค่าแรงกดของแยมสับปะรดที่ทำจาก เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ ที่มีค่าเท่ากับ 0.42±0.00 และมีค่ามากกว่าแยมสับปะรดที่ทำจากคาร์ราจีแนน นั้นแสดงให้เห็นว่า แยมสับปะรดที่ทำจาก เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ มีโครงสร้างของเจลที่แข็งแรงกว่าแยมสับปะรดที่ทำจากคาร์ราจีแนน

ดังนั้นจากผลการทดลองจึงเลือกทำการผลิตแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ โดยใช้สารข้นเหนียวชนิด เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ และเมื่อทำการเปรียบเทียบแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ทำจาก สารข้นเหนียวชนิดเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ กับผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดในอุดมคติ (ภาพที่ 4.1) แล้วพบว่าลักษณะส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับแยมสับปะรดในอุดมคติ ยกเว้นรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวกับความหวานและความเปรี้ยว ที่ต้องทำการปรับปรุงต่อไป



ภาพที่ 4.1 แผนภาพเค้าโครงในการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสระหว่างแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำกับแยมในอุดมคติ

4.4 ผลการศึกษาการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลในแยมสับปะรด

จากผลการทดลองข้างต้นได้ใช้สารข้นเหนียวชนิดเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ ในการทำแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ แต่พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีรสชาติไม่เป็นที่ยอมรับ จึงได้ทำการศึกษาการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล 2 ชนิด คือ แอสพาร์เทม และซอร์บิทอล์ในการทำแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ เพื่อทำการปรับปรุงรสชาติของแยมให้ใกล้เคียงกับแยมในอุดมคติมากที่สุด โดยทำการปรับแยมสับปะรดให้มีความหวานเท่ากับ สารละลายซูโครสที่ 40, 50 และ 60 บริกซ์ และทำการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัส และวิเคราะห์ค่าทางกายภาพและทางเคมี ให้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของแยมสับปะรดที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล 2 ชนิดในระดับความหวานที่แตกต่างกัน

ลักษณะ	สิ่งทดลอง					
	AB1	AB2	AB3	SB1	SB2	SB3
ค่าสี	0.95±0.08c	0.96±0.05c	0.95±0.06c	1.23±0.02b	1.30±0.03a	1.30±0.04a
การกระจายสับปะรด	0.94±0.04a	0.94±0.05a	0.93±0.07a	0.90±0.04a	0.89±0.04a	0.87±0.04a
การกระจายของแยม	0.96±0.04c	0.96±0.04bc	0.94±0.05c	1.07±0.06ab	1.09±0.05a	1.10±0.05a
ความแข็งแรงของแยม	0.95±0.04a	0.95±0.04a	0.94±0.05a	0.78±0.14ab	0.60±0.16bc	0.46±0.17c
ความหนืดแยม	0.96±0.08a	0.95±0.08a	0.95±0.07a	0.83±0.04b	0.72±0.04c	0.60±0.06d
กลิ่นสับปะรด	0.96±0.05a	0.95±0.04a	0.95±0.04a	0.89±0.02b	0.81±0.05c	0.81±0.05c
รสหวาน	0.99±0.04b	1.00±0.04b	1.05±0.05ab	0.99±0.04b	1.06±0.10ab	1.15±0.10a
รสขม	0.98±0.02a	0.99±0.02a	0.98±0.02a	0.99±0.02a	0.99±0.01a	0.98±0.02a
รสเย็นซ่า	0.76±0.08a	0.77±0.10a	0.77±0.07a	0.90±0.12a	0.85±0.13a	0.80±0.13a
รสหวานติดลิ้น	0.97±0.03ab	0.96±0.04ab	0.96±0.02b	0.99±0.01a	0.96±0.02b	0.95±0.03b
รสเปรี้ยว	0.98±0.04a	0.96±0.04ab	0.97±0.05ab	0.90±0.10ab	0.83±0.12ab	0.79±0.14b
การยอมรับรวม	0.89±0.08a	0.90±0.09a	0.85±0.10ab	0.81±0.06ab	0.75±0.12ab	0.67±0.11b

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

A = แอสพาร์เทม , S = ซอร์บิทอล์

B1 = ความหวานเทียบกับสารละลายซูโครส 40 บริกซ์

B2 = ความหวานเทียบกับสารละลายซูโครส 50 บริกซ์

B3 = ความหวานเทียบกับสารละลายซูโครส 60 บริกซ์

ตารางที่ 4.13 ค่าการวิเคราะห์ทางเคมีและทางด้านกายภาพของแยมสับปะรดที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล 2 ชนิดในระดับความหวานแตกต่างกัน

ค่าวิเคราะห์	สิ่งทดลอง					
	AB1	AB2	AB3	SB1	SB2	SB3
<u>ค่าทางเคมี</u>						
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (บริกซ์)	22.00±0.00d	22.00±0.00d	22.00±0.00d	57.05±0.00c	71.46±0.00b	85.75±0.00a
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	3.29±0.00a	3.29±0.01a	3.30±0.01a	3.29±0.01a	3.29±0.01a	3.27±0.01a
ปริมาณกรดทั้งหมด(% กรดซิตริก)	0.81±0.03a	0.79±0.03a	0.81±0.03a	0.68±0.03b	0.56±0.00c	0.49±0.00c
น้ำตาลรีดิวซ์(%)	4.16±0.03a	4.15±0.01a	4.13±0.02a	2.75±+0.01b	2.67±0.05b	2.09±0.01c
น้ำตาลทั้งหมด (%)	18.52±0.22a	18.44±0.22a	18.35±0.27a	10.57±+0.01b	9.86±0.05b	8.21±0.06c
สารให้ความหวานด้วยวิธี HPLC(%)	0.14±0.01d	0.18±0.03d	0.26±0.01d	20.10±0.42c	30.30±1.27b	33.80±0.85a
<u>ค่าทางกายภาพ</u>						
ค่าสี L	44.39±0.01b	44.69±0.02a	43.90±0.01c	34.60±0.00d	33.40±0.00f	33.65±0.01e
a *	-1.40±0.00d	-1.74±0.01f	-1.65±0.01e	0.40±0.00c	0.99±0.01b	1.12±0.01a
b *	11.91±0.01b	12.07±0.01a	11.19±0.01c	7.81±0.01e	7.74±0.01f	8.47±0.01d
แรงกด(นิวตัน)	0.43±0.02a	0.42±0.02a	0.43±0.01a	0.11±0.01b	0.06±0.00b	0.05±0.00b

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

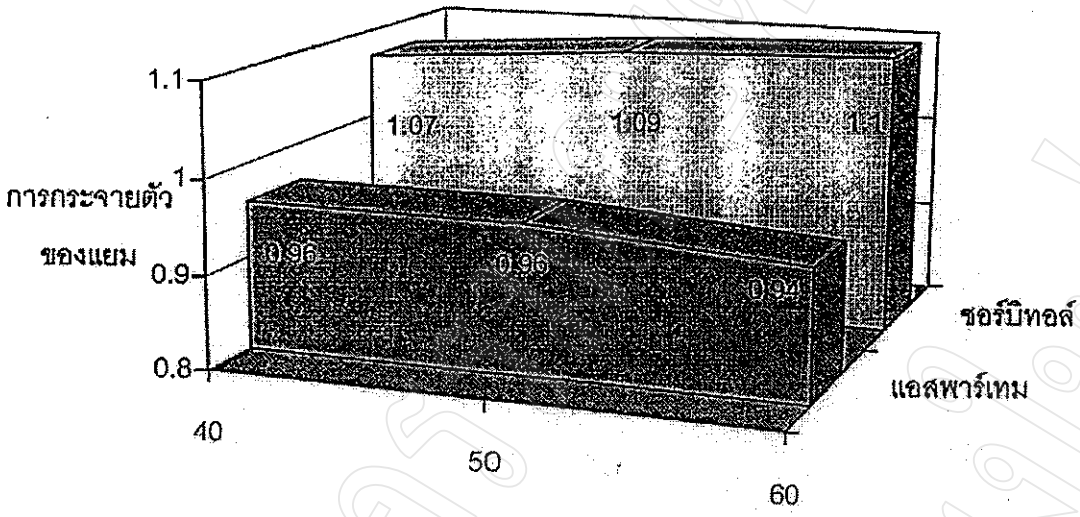
A = แอสพาร์เทม , S = ซอร์บิทอล์

B1 = ความหวานเทียบกับสารละลายซูโครส 40 บริกซ์

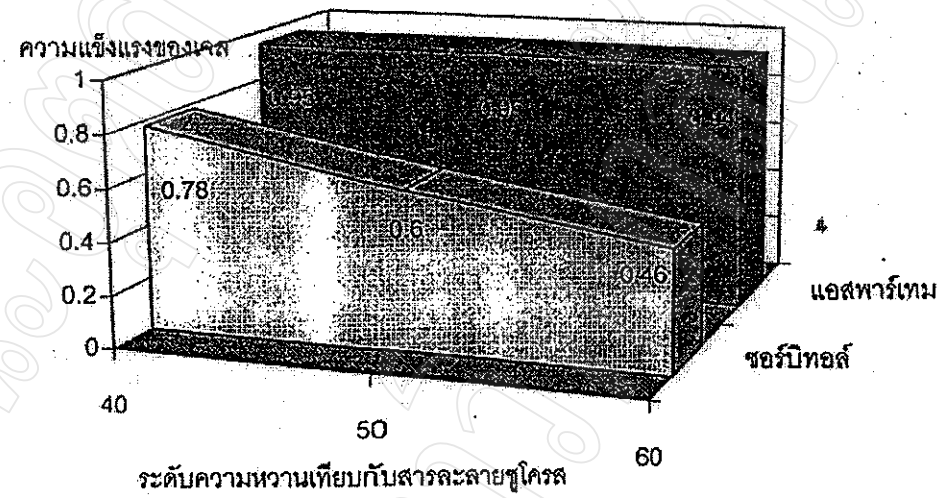
B2 = ความหวานเทียบกับสารละลายซูโครส 50 บริกซ์

B3 = ความหวานเทียบกับสารละลายซูโครส 60 บริกซ์

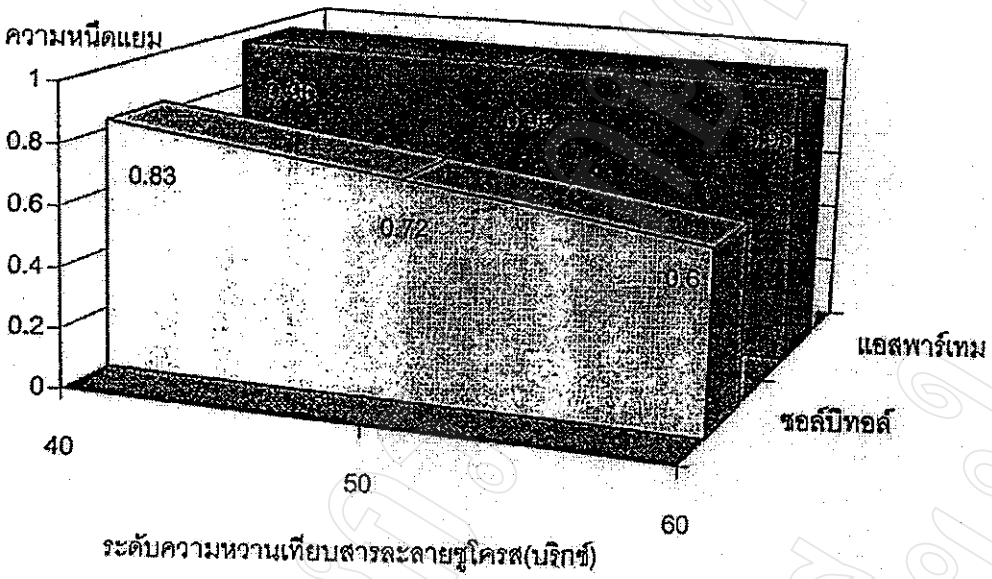
จากตารางที่ 4.12 แสดงผลการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่มีการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล 2 ชนิด คือ แอสพาร์เทม และซอร์บิทอล์ พบว่าแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานชนิดแอสพาร์เทมจะให้คุณลักษณะของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสที่ใกล้เคียงกับค่าทางอุดมคติมากกว่าแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานชนิดซอร์บิทอล์ ดังจะเห็นได้จากการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของลักษณะเนื้อสัมผัสแยม คือ ค่าการกระจายตัวของแยม (ภาพที่ 4.2), ค่าความแข็งแรงของแยม(ภาพที่ 4.3) และค่าความหนืดของแยม(ภาพที่ 4.4) ที่ใช้สารให้ความหวานชนิดแอสพาร์เทมจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าทางอุดมคติมากกว่าแยมที่ใช้ซอร์บิทอล์ และค่าที่ได้ยังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ อีกด้วย



ภาพที่ 4.2 การกระจายของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์

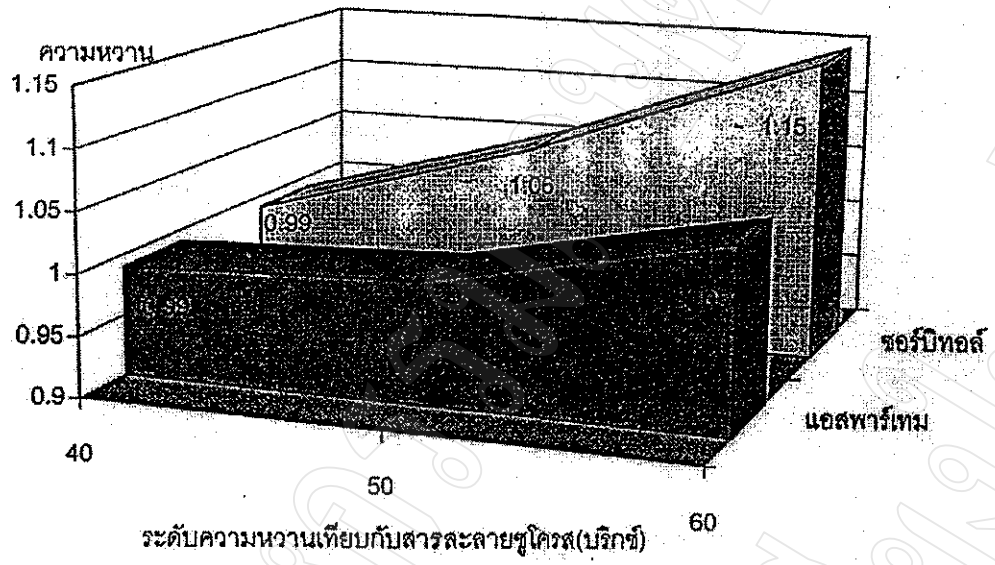


ภาพที่ 4.3 ความแข็งแรงของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์

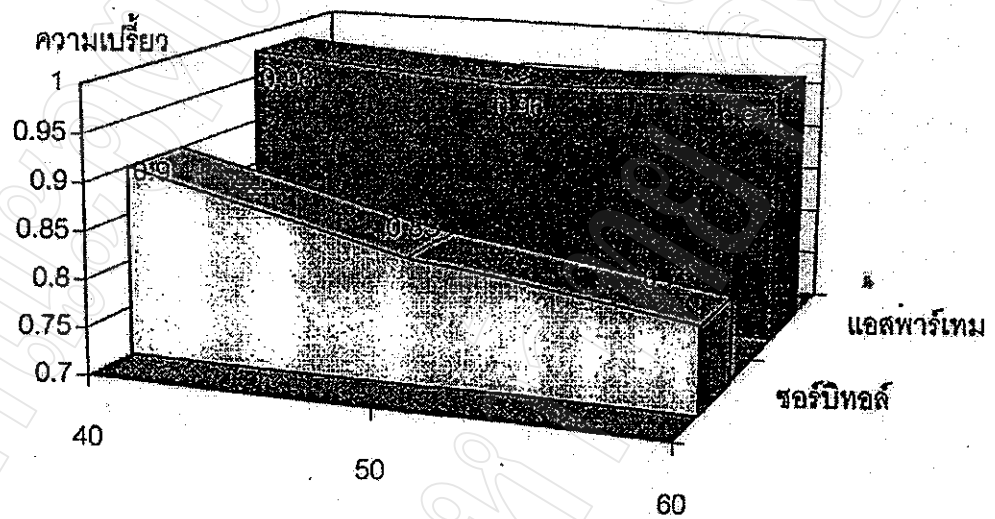


ภาพที่ 4.4 ความหนืดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์

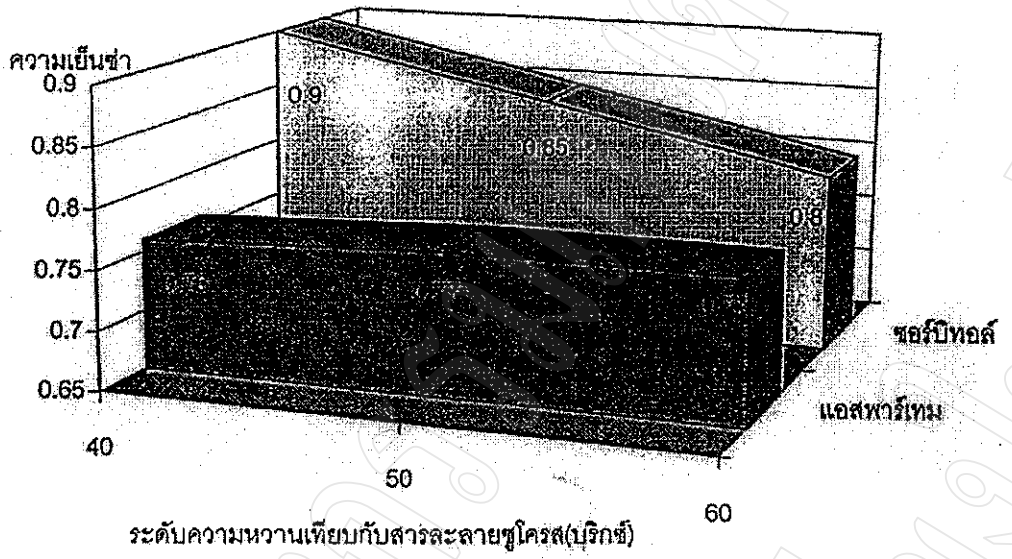
นอกจากนี้ค่าการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของคุณลักษณะทางด้านรสชาติ แสดงให้เห็นว่าการใช้สารให้ความหวานชนิดแอสพาร์เทมสามารถช่วยปรับปรุงรสชาติของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำได้มากกว่าการใช้ซอร์บิทอล์ และเมื่อเปรียบเทียบถึงการใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้ว พบว่า การใช้แอสพาร์เทมทุกระดับความเข้มข้นให้ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของคุณลักษณะทางด้านรสชาติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ แต่อย่างไรก็ตาม ที่ระดับความหวานเมื่อเทียบกับสารละลายซูโครสเข้มข้นที่ 50 บริกซ์ เป็นค่าที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด คือ สามารถให้รสหวาน, รสเปรี้ยว, รสเย็นซ่า, รสขม และรสหวานติดลิ้น ที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าทางอุดมคติมากกว่าการใช้แอสพาร์เทมในระดับอื่น ๆ (ภาพที่ 4.5,4.6,4.7,4.8,4.9) อีกทั้งค่าการยอมรับโดยรวมก็มีค่ามากที่สุดอีกด้วย คือ มีค่าเท่ากับ 0.90



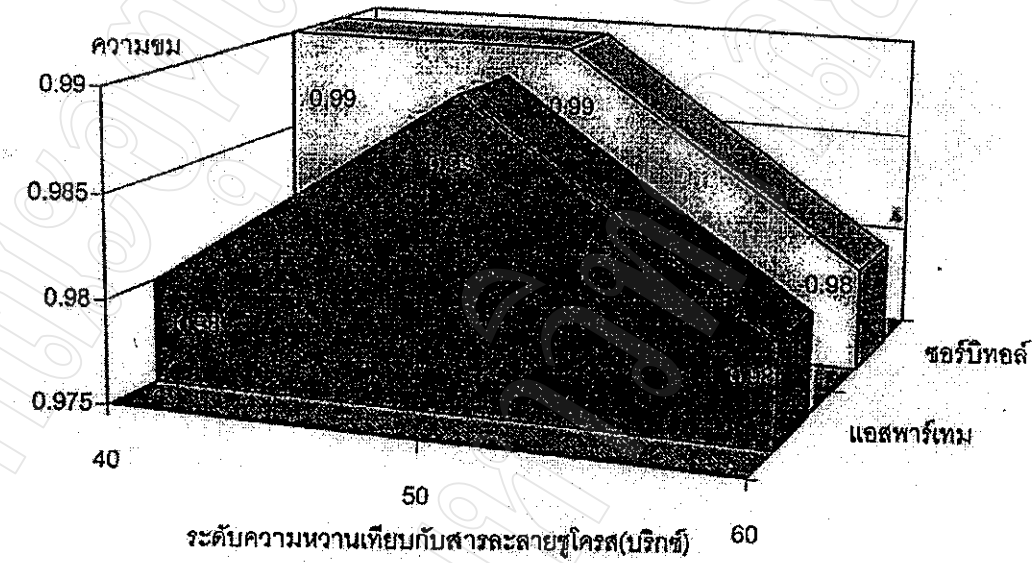
ภาพที่ 4.5 ความหวานของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล



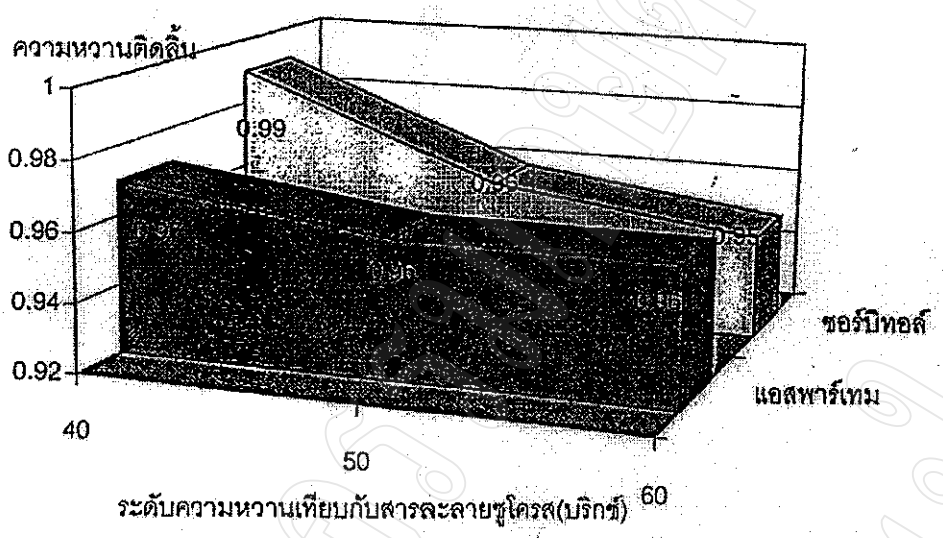
ภาพที่ 4.6 ความเปรี้ยวของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล



ภาพที่ 4.7 ความเย็นซ่าของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์



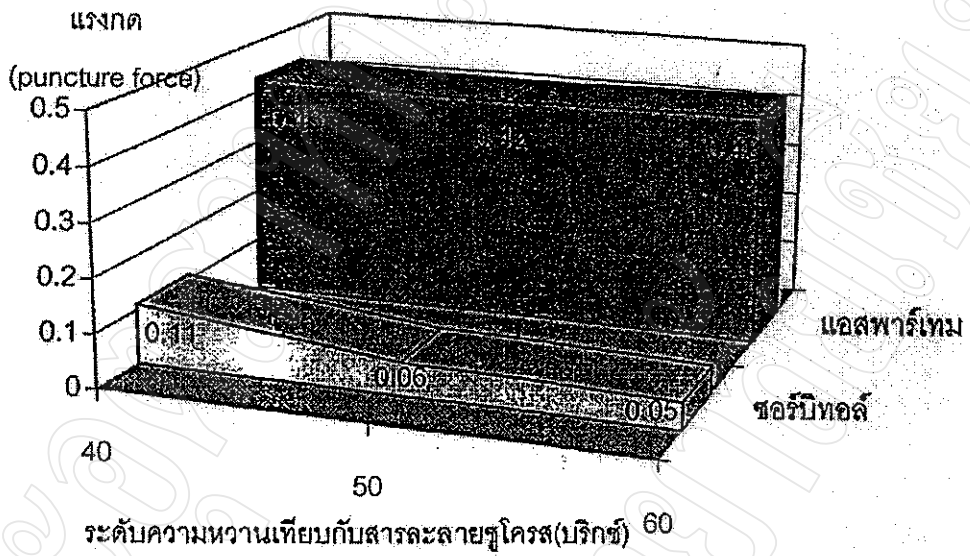
ภาพที่ 4.8 ความขมของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์



ภาพที่ 4.9 ความหวานติดลิ้นของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์

จากตารางที่ 4.13 แสดงค่าการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ แสดงให้เห็นว่า แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานชนิดแอสพาร์เทม ไม่ทำให้ลักษณะของแยมสับปะรดเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนักก่อนทำการพัฒนาทางด้านรสชาติของแยม คือเดิมจะมีค่าสี L เท่ากับ 42.77±0.02 ค่าสี a* เท่ากับ –1.64±0.00 และค่าสี b* เท่ากับ 9.35±0.01 และมีค่าแรงกด เท่ากับ 0.42±0.00 นอกจากนี้แยมสับปะรดที่ใช้สารให้ความหวานชนิดแอสพาร์เทมยังให้ค่าสีที่ดีกว่าแยมสับปะรดที่ใช้สารให้ความหวานซอร์บิทอล์อีกด้วย คือแยมสับปะรดที่ใช้แอสพาร์เทมจะให้ค่าสี L ในช่วง 43.90-44.69 ค่าสี a* ในช่วง -1.40 – -1.17 และค่าสี b* ในช่วง 11.19-12.07 ในขณะที่ แยมสับปะรดที่ใช้ซอร์บิทอล์ จะให้ค่าสี L ในช่วง 33.44-34.36 ค่าสี a* ในช่วง 0.4-1.12 และค่าสี b* ในช่วง 7.74-8.47 ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าแยมสับปะรดที่ใช้แอสพาร์เทมนั้นมีความสว่างและมีสีเหลืองที่มากกว่าแยมสับปะรดที่ใช้ซอร์บิทอล์โดยพิจารณาจากค่าสี L และค่าสี b* ที่มากกว่าตามลำดับ และแยมสับปะรดที่ใช้ซอร์บิทอล์นั้นจะทำให้แยมสับปะรดมีสีแดงมากกว่าแยมสับปะรดที่ใช้แอสพาร์เทมโดยพิจารณาจากค่าสี a* ที่มีค่ามากกว่า

นอกจากนี้พบว่าการใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำไม่ทำให้โครงสร้างความแข็งแรงของเจลเปลี่ยนแปลงไป จากการพิจารณาค่าวิเคราะห์ทางด้านกายภาพของค่าแรงกด(ภาพที่4.10) ที่ได้จากแยมสับปะรดที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมจะมีค่ามากกว่าแยมสับปะรดที่ใช้ซอร์บิทอล์ และค่าที่ได้ก็มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ อีกด้วย แสดงว่าแยมสับปะรดที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมมีโครงสร้างเจลที่แข็งแรงกว่าแยมสับปะรดที่ใช้ซอร์บิทอล์



ภาพที่ 4.10 ค่าแรงกดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์

จากการพิจารณาโดยรวมแล้ว พบว่าควรเลือกใช้สารให้ความหวานชนิดแอสพาร์เทมในการปรับปรุงรสชาติของแยมสับปะรด เพราะให้ค่าการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัส และค่าการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ ที่ดีกว่าการใช้สารให้ความหวานชนิดซอร์บิทอล์ และควรเลือกใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมที่ระดับความหวานเมื่อเทียบกับสารละลายซูโครสเข้มข้น 50 บริกซ์ เพราะเป็นค่าที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดจากการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของคุณลักษณะทางด้านรสชาติ อีกทั้งค่าการยอมรับโดยรวมก็มีค่ามากที่สุด ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงรสชาติแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ โดยใช้สารให้ความหวานชนิดแอสพาร์เทม ที่ระดับความหวานเมื่อเทียบกับสารละลายซูโครสที่ 50 บริกซ์

4.5 สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

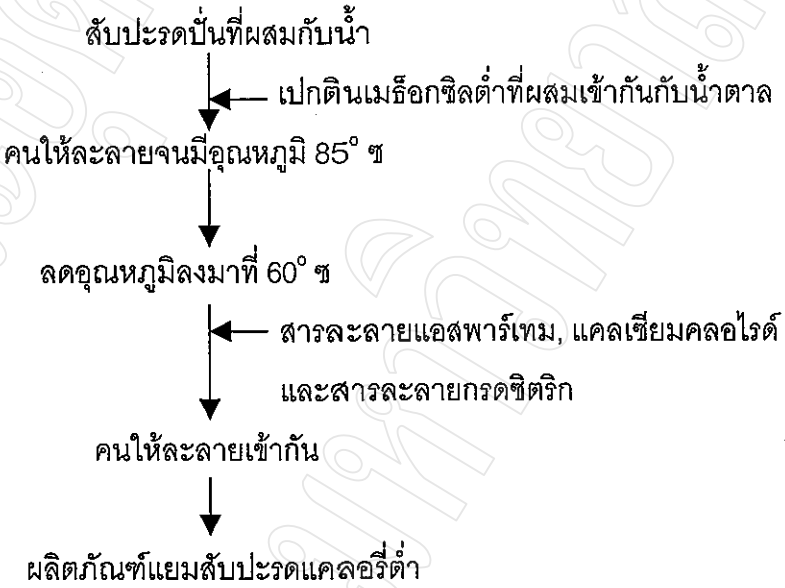
4.5.1 สูตรการผลิตผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์
เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ	0.7
น้ำตาลซูโครส	13.87
แคลเซียมคลอไรด์ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ)	3
แอสพาร์เทม	0.2
สับปะรดปั่น+น้ำ	85.37

(อัตราส่วน สับปะรด:น้ำ เท่ากับ 45:30)

สารละลายกรดซิตริก 50 เปอร์เซ็นต์ (ปรับให้มีความเป็นกรด-ด่าง 3.0-3.3)

4.5.2 ขั้นตอนการผลิตแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ



<u>หมายเหตุ</u> : สารละลายแอสพาร์เทมเตรียมโดยการละลายแอสพาร์เทมในสับปะรดปั่นผสมกับน้ำที่แยกไว้อีกส่วน หลังจากที่ได้ลดอุณหภูมิจาก 85° ซ เป็น 60° ซ

4.5.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ ที่ผลิตโดยใช้สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม

จากการศึกษาถึงการใช้สารช้นเหนียวชนิดที่เหมาะสมในการผลิตแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ และได้ทำการปรับปรุงรสชาติโดยการศึกษาถึงการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลที่เหมาะสมในการผลิตแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ จึงนำมาทำการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งทางด้านเคมี, ทางด้านกายภาพ, จุลินทรีย์ และทำการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 4.14, 4.15 และภาพที่ 4.11 พบว่าผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำมีคุณภาพดีและอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับ

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี และกายภาพของผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

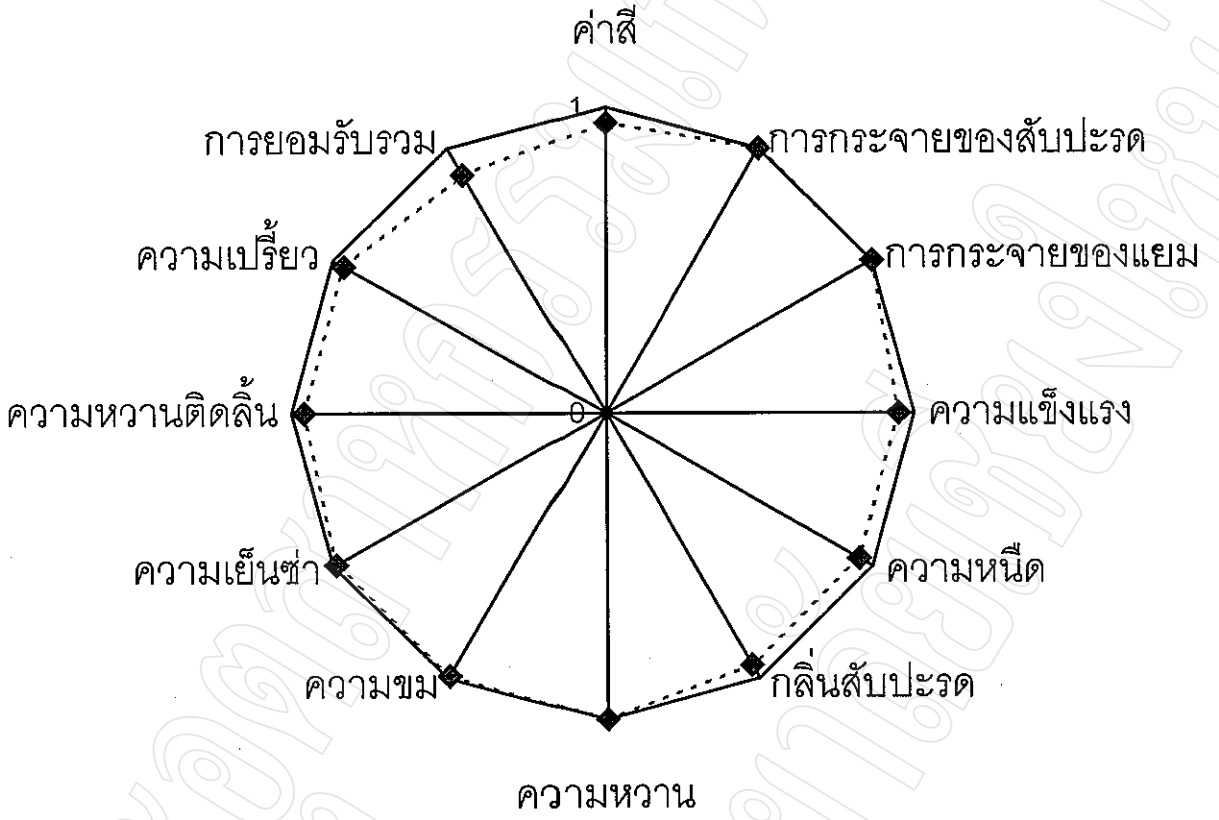
ผลการวิเคราะห์	ค่าที่วิเคราะห์ได้
ค่าวิเคราะห์ทางเคมี	
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	3.31±0.01
ความเป็นกรดทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์กรดซิตริก)	0.77±0.00
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (บริกซ์)	22.00±0.00
น้ำตาลรีดิวซ์ (เปอร์เซ็นต์)	4.16±0.01
น้ำตาลทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	18.452±0.022
ปริมาณแอสพาร์เทม (เปอร์เซ็นต์)	0.18±0.03
พลังงาน (กิโลแคลอรี่ต่อ 100 กรัม)	61.38±2.35
ค่าวิเคราะห์ทางกายภาพ	
ค่าสี L	44.67±0.01
a *	-1.74±0.01
b *	11.89±0.01
ค่าแรงกด (นิวตัน)	0.42±0.02

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.15 ค่า mean ideal ratio score ของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรีต่ำ

ลักษณะ	Mean ideal ratio score + standard deviation
ค่าสีของแยมสับปะรด	0.95±0.07
การกระจายของสับปะรด	1.00±0.02
การกระจายของแยม	1.00±0.02
ความแข็งแรงของแยม	0.95±0.04
ความหนืดแยม	0.95±0.05
กลิ่นสับปะรด	0.95±0.05
รสหวาน	1.00±0.10
รสขม	0.99±0.02
รสเย็นซ่า	0.99±0.11
รสหวานติดลิ้น	0.96±0.08
รสเปรี้ยว	0.96±0.10
การยอมรับรวม	0.90±0.05

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



..... ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

———— ผลิตภัณฑ์ในอุดมคติ

ภาพที่ 4.11 แผนภาพเค้าโครงในการวิเคราะห์ด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

4.6 ผลการศึกษาคุณภาพของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษา

จากการทดลองที่ผ่านมาทำให้ทราบสูตรที่เหมาะสมในการผลิตแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ จึงนำแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำมาศึกษาหาอายุการเก็บ โดยทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ และทำการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ, ทางเคมี, ทางจุลินทรีย์ และการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสในสัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8 ,10 และ 12 ของระยะเวลาการเก็บรักษา

4.6.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

4.6.1.1 การวิเคราะห์ค่าสี

ค่าสี L หรือค่าความสว่าง : เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าสี L ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงของการเก็บรักษา พบว่า ค่าสี L ของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่มีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้นแสดงว่าแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำมีความสว่างลดลง ค่าสี L ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาในแต่ละสัปดาห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยอัตราการลดลงของค่าสี L ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสจะช้ากว่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

ค่าสี a* หรือค่าสีแดง : เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าสี a* ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงของการเก็บรักษา พบว่า ค่าสี a* ของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น แสดงว่าแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำมีสีแดงเข้มขึ้น ค่าสี a* ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาในแต่ละสัปดาห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าสี a* ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ค่าสี b* หรือค่าสีเหลือง : เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าสี b* ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงของการเก็บรักษา พบว่า ค่าสี b* ของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น แสดงว่าแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำมีสีเหลืองลดลง ค่าสี b* ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาในแต่ละสัปดาห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยอัตราการลดลงของค่าสี b* ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะช้ากว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าสี L , a* และ b* ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.16 และ 4.17 และภาพที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 พบว่าค่าสี L และค่าสี b* มีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยอัตราการลดลงของค่าสี L และ ค่าสี b* ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสจะช้ากว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ส่วนค่าสี a* มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าสี a* ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสจะเร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำขึ้น, มีสีแดงเพิ่มขึ้น และมีสีเหลืองลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของอรทัย (2534) ที่รายงานว่า แยมสับปะรดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บไม่เกิน 3 เดือน และมีสีคล้ำขึ้น และอดิศักดิ์ (2540) ที่ได้ทำการทดลองทำแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำจากแป้งบุก พบว่า แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำมีแนวโน้มที่จะมีสีคล้ำขึ้น เนื่องจากมีค่าสี L ลดลง

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	ค่าสี		
	L	a *	b *
0	44.67±0.01ab	-1.74±0.01d	11.89±0.01a
1	44.81±0.15a	-1.71±0.01d	11.78±0.01a
2	44.65±0.77ab	-1.65±0.01d	11.39±0.02b
3	44.40±0.20ab	-1.64±0.02d	11.26±0.01bc
4	44.37±0.53ab	-1.56±0.02b	11.15±0.01bc
6	44.13±0.05ab	-1.61±0.03cd	11.06±0.01bc
8	44.08±0.45ab	-1.58±0.01bc	10.71±0.01cd
10	44.07±0.01ab	-1.38±0.02a	10.35±0.01d
12	43.72±0.02b	-1.38±0.02a	10.23±0.01d

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันของข้อมูลในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

จากตารางที่ 4.16 พบว่าสามารถจำแนกค่าสี L ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกได้แก่ สัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8 และ 10 กลุ่มที่สองได้แก่ สัปดาห์ที่ 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 และ 12 แต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ และสามารถจำแนกค่าสี a* ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ได้เป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกได้แก่ สัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3 และ 6 กลุ่มที่สองได้แก่ สัปดาห์ที่ 4 และ 8 กลุ่มที่สามได้แก่ สัปดาห์ที่ 6 และ 8 กลุ่มที่สี่ได้แก่ สัปดาห์ที่ 10 และ 12 แต่ละกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ และสามารถจำแนกค่าสี b* ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ได้เป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกได้แก่ สัปดาห์ที่ 0 และ 1 กลุ่มที่สองได้แก่ สัปดาห์ที่ 2, 3, 4 และ 6 กลุ่มที่สามได้แก่ สัปดาห์ที่ 3, 4, 6 และ 8 กลุ่มที่สี่ได้แก่ สัปดาห์ที่ 8, 10 และ 12 แต่ละกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

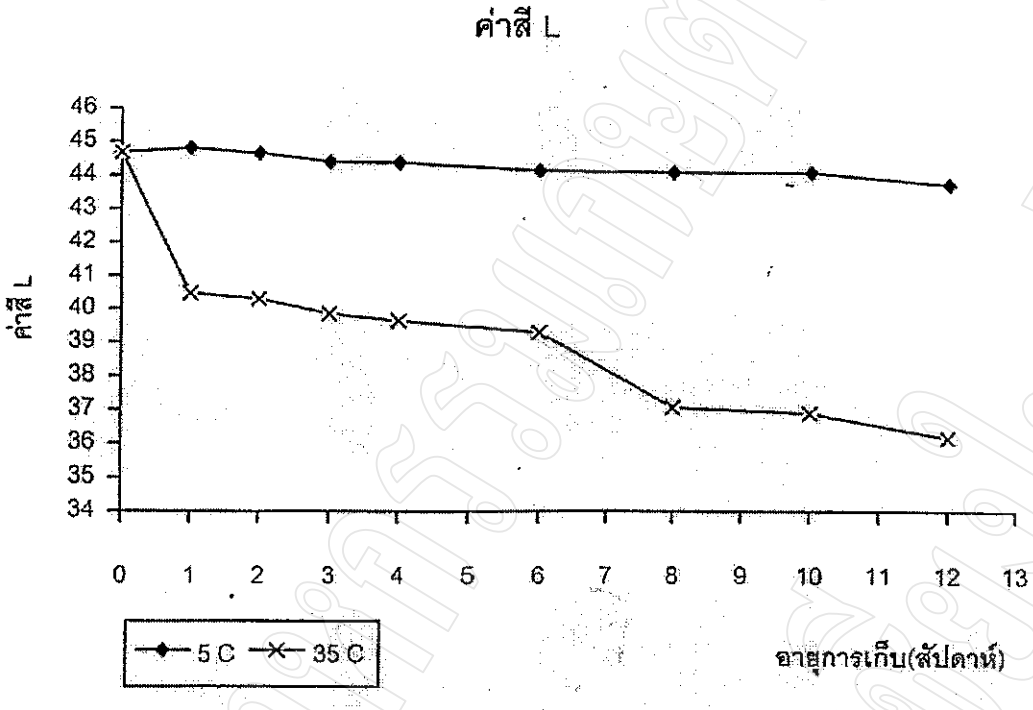
ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	ค่าสี		
	L	a *	b *
0	44.67±0.01a	-1.74±0.01g	11.89±0.01a
1	40.48±0.01b	0.22±0.01f	11.34±0.01b
2	40.29±0.32bc	0.27±0.01f	11.28±0.01b
3	39.85±0.01bcd	0.64±0.03e	10.50±0.01c
4	39.64±0.44cd	1.23±0.01d	10.25±0.01cd
6	39.30±0.36d	1.56±0.02c	9.88±0.01de
8	37.07±0.40e	1.59±0.01c	9.69±0.02e
10	36.90±0.41ef	1.79±0.11b	9.60±0.01e
12	36.17±0.03f	2.25±0.02a	9.34±0.01e

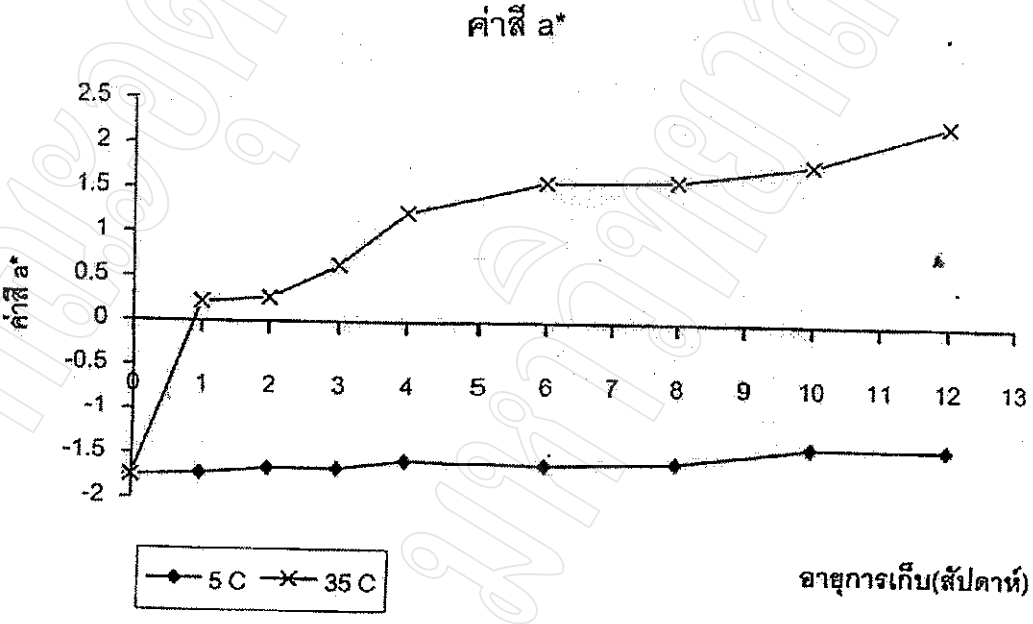
หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันของข้อมูลในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

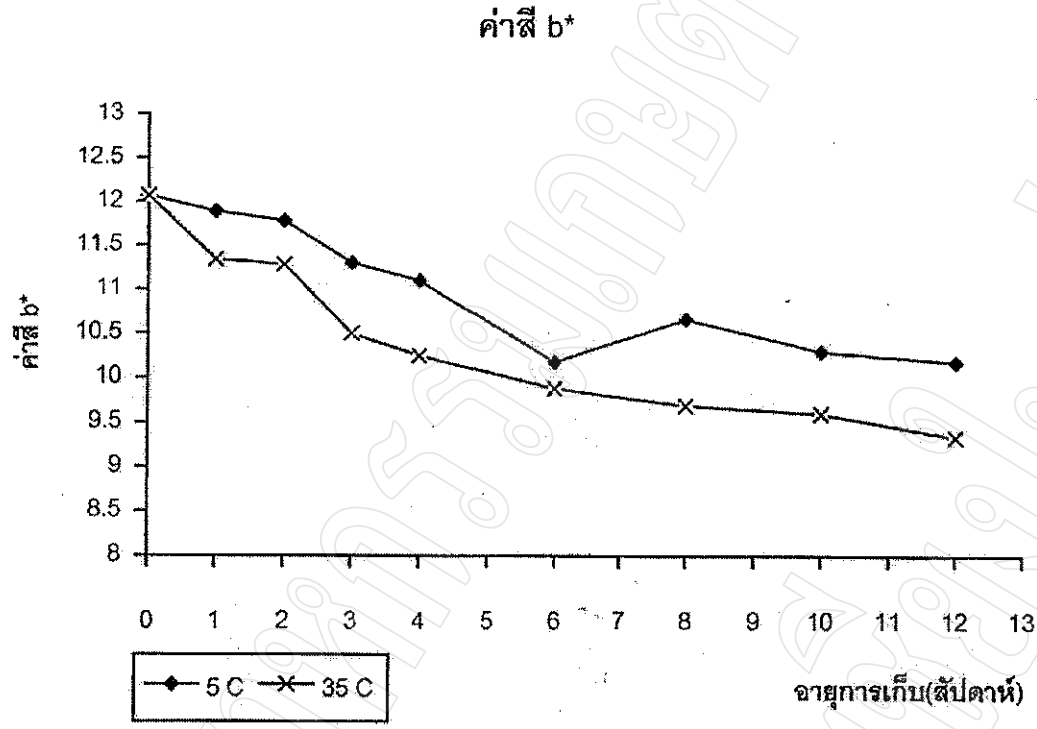
จากตารางที่ 4.17 พบว่าสามารถจำแนกค่าสี L ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ได้เป็น 6 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกได้แก่ สัปดาห์ที่ 0 กลุ่มที่สองได้แก่ สัปดาห์ที่ 1, 2 และ 3 กลุ่มที่สามได้แก่ สัปดาห์ที่ 2, 3 และ 4 กลุ่มที่สี่ได้แก่ สัปดาห์ที่ 3, 4 และ 6 กลุ่มที่ห้าได้แก่ สัปดาห์ที่ 8 และ 10 กลุ่มที่หกได้แก่ สัปดาห์ที่ 12 แต่ละกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ และสามารถจำแนกค่าสี a* ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ได้เป็น 7 กลุ่ม คือกลุ่มแรกได้แก่ สัปดาห์ที่ 0 กลุ่มที่สองได้แก่ สัปดาห์ที่ 1 และ 2 กลุ่มที่สามได้แก่ สัปดาห์ที่ 4 กลุ่มที่ห้าได้แก่ สัปดาห์ที่ 6 และ 8 กลุ่มที่หกได้แก่ สัปดาห์ที่ 10 กลุ่มที่เจ็ดได้แก่ สัปดาห์ที่ 12 แต่ละกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ และสามารถจำแนกค่าสี b* ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ได้เป็น 5 กลุ่ม คือกลุ่มแรกได้แก่ สัปดาห์ที่ 0 กลุ่มที่สองได้แก่ สัปดาห์ที่ 1 และ 2 กลุ่มที่สามได้แก่ สัปดาห์ที่ 3 และ 4 กลุ่มที่สี่ได้แก่ สัปดาห์ที่ 4 และ 6 กลุ่มที่ห้าได้แก่ สัปดาห์ที่ 6, 8, 10 และ 12 แต่ละกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$



ภาพที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ค่าสี L ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ค่าสี a* ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ค่าสี b* ของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

4.6.1.2 การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงเจล

ค่าแรงกด : เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงกดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงของการเก็บรักษา พบว่า ค่าแรงกดของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ค่าแรงกดของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาในแต่ละสัปดาห์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะมีค่าแรงกดมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และขณะเดียวกันก็เกิดการแยกตัวของของเหลวออกจากเจลมากกว่าด้วย โดยแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะเริ่มเกิดการแยกตัวของของเหลวในสัปดาห์ที่ 3 และเกิดอย่างชัดเจนในสัปดาห์ที่ 8 สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะเกิดการแยกตัวอย่างชัดเจนในสัปดาห์ที่ 12 ทั้งนี้เนื่องจาก เกิดจากการหดตัวของโครงร่างเจลของ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ และมีการสูญเสียโมเลกุลของน้ำออกจากโครงสร้าง จึงมีผลทำให้เกิดการรวมตัวของ junction zone มากขึ้น ทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แน่นมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของอดิศักดิ์(2540)

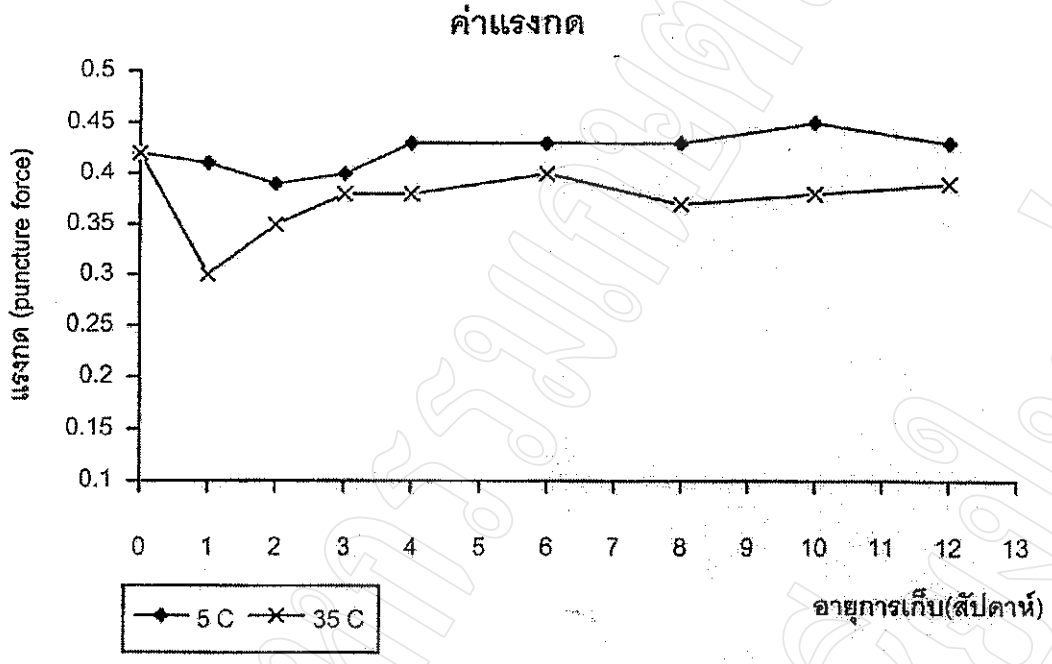
ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ค่าแรงกดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	แรงกด(นิวตัน)	
	5 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส
0	0.42±0.02ab	0.42±0.02a
1	0.41±0.03ab	0.30±0.01e
2	0.39±0.01b	0.35±0.01d
3	0.40±0.01ab	0.38±0.01bcd
4	0.43±0.02ab	0.38±0.01abc
6	0.43±0.01ab	0.40±0.01a
8	0.43±0.03ab	0.37±0.01cd
10	0.45±0.00a	0.38±0.01abc
12	0.44±0.02ab	0.39±0.01ab

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันของข้อมูลในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

จากตารางที่ 4.18 สามารถจำแนกค่าแรงกดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียสได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกได้แก่ สัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8 และ 12 กลุ่มที่สองได้แก่ สัปดาห์ที่ 0, 1, 3, 4, 6, 8, 10 และ 12 แต่ละกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ และสามารถจำแนกค่าแรงกดของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสได้เป็น 5 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก(a)ได้แก่ สัปดาห์ที่ 0, 4, 6, 10 และ 12 กลุ่มที่สอง(e)ได้แก่ สัปดาห์ที่ 1 กลุ่มที่สาม(d)ได้แก่ สัปดาห์ที่ 2, 3 และ 8 กลุ่มที่สี่(b)ได้แก่ สัปดาห์ที่ 3, 4, 10 และ 12 กลุ่มที่ห้า(c)ได้แก่ สัปดาห์ที่ 3, 4, 8 และ 10 แต่ละกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$



ภาพที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ค่าแรงกดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

4.6.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

4.6.2.1 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ความเป็นกรด-ด่าง : เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงของระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราการลดลงของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสจะช้ากว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสจะเริ่มลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0 จาก 3.31±0.01 จนถึงสัปดาห์ที่ 12 ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.25±0.01 โดยค่าความเป็นกรด-ด่างทั้งหมดจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ สามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกได้แก่ สัปดาห์ที่ 0, 1, 2 และ 3 กลุ่มที่สองได้แก่ สัปดาห์ที่ 2, 3, 4, 6, 8, 10 และ 12 ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะเริ่มลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0 จาก 3.31±0.01 จนถึงสัปดาห์ที่ 12 ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.20±0.01 และค่าความเป็นกรด-ด่างทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ สามารถจำแนกได้เป็น 5 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกได้แก่ สัปดาห์ที่ 0 และ 1 กลุ่มที่สองได้แก่ สัปดาห์ที่ 2, 3 และ 4 กลุ่มที่สามได้แก่ สัปดาห์ที่ 3, 4 และ 8 กลุ่มที่สี่ได้แก่ สัปดาห์ที่ 6, 8 และ 10 กลุ่มที่ห้าได้แก่ สัปดาห์ที่ 6, 10 และ 12

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณกรดทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์กรดซิตริก)	น้ำตาลรีดิวซ์ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำตาลทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
0	3.31±0.01a	0.77±0.00a	4.162±0.012a	18.452±0.022a
1	3.32±0.01a	0.77±0.00a	4.163±0.011a	18.452±0.001a
2	3.29±0.01ab	0.75±0.02a	4.124±0.092a	18.428±0.027a
3	3.28±0.01ab	0.77±0.00a	4.152±0.028a	18.452±0.001a
4	3.26±0.01b	0.77±0.00a	4.118±0.012a	18.452±0.001a
6	3.26±0.01b	0.77±0.00a	3.984±0.030b	18.415±0.029a
8	3.26±0.01b	0.77±0.00a	4.126±0.045a	18.447±0.016a
10	3.25±0.01b	0.79±0.03a	4.126±0.045a	18.452±0.001a
12	3.25±0.01b	0.81±0.05a	3.911±0.008b	18.416±0.004a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

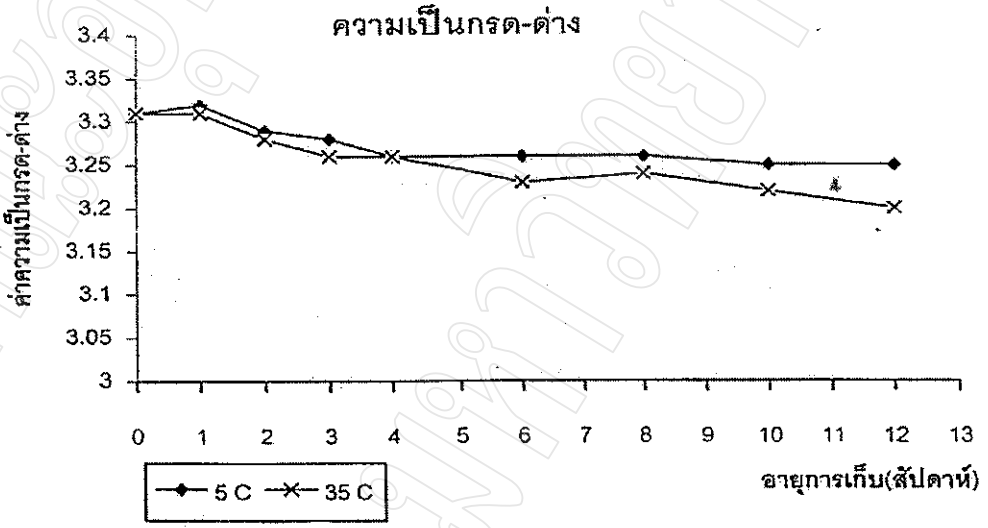
ตัวอักษรที่แตกต่างกันของข้อมูลในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณกรดทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์กรดซิตริก)	น้ำตาลรีดิวซ์ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำตาลทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
0	3.31±0.01a	0.77±0.00a	4.162±0.012g	18.452±0.022a
1	3.31±0.01a	0.77±0.00a	10.954±0.032f	18.452±0.032a
2	3.28±0.02b	0.77±0.00a	13.162±0.001e	18.462±0.001a
3	3.26±0.01c	0.77±0.00a	14.340±0.113d	18.438±0.004a
4	3.26±0.01bc	0.79±0.03a	16.129±0.041c	18.405±0.021a
6	3.23±0.01de	0.81±0.05a	17.672±0.042b	18.402±0.016a
8	3.24±0.01cd	0.83±0.02a	18.145±0.049a	18.391±0.032a
10	3.22±0.01de	0.83±0.02a	18.285±0.049a	18.396±0.007a
12	3.20±0.02e	0.84±0.00a	18.355±0.049a	18.376±0.035a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

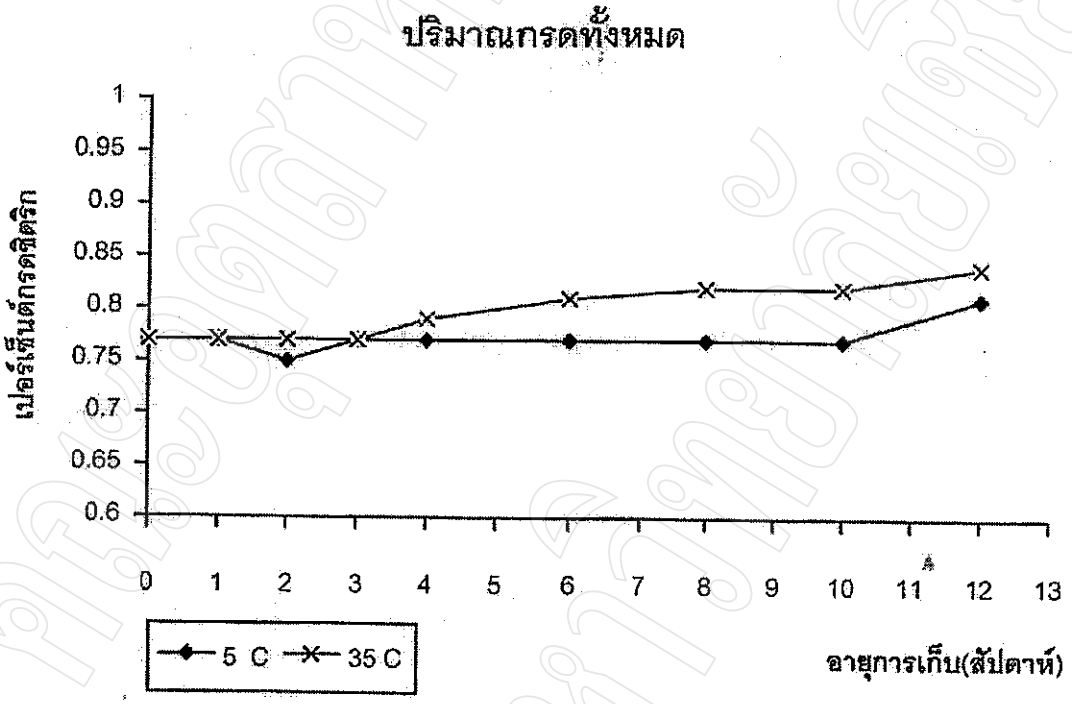
ตัวอักษรที่แตกต่างกันของข้อมูลในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$



ภาพที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

4.6.2.2 การวิเคราะห์ค่าปริมาณกรดทั้งหมด

ปริมาณกรดทั้งหมด : เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงของระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณกรดทั้งหมดในแต่ละสัปดาห์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ และปริมาณกรดทั้งหมดของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือ ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 10 ที่มีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 0.79±0.03 เปอร์เซ็นต์(กรดซิตริก) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 จาก 0.79±0.03 เปอร์เซ็นต์(กรดซิตริก) จนถึงสัปดาห์ที่ 12 ซึ่งมีค่าปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 0.84±0.00 เปอร์เซ็นต์(กรดซิตริก)



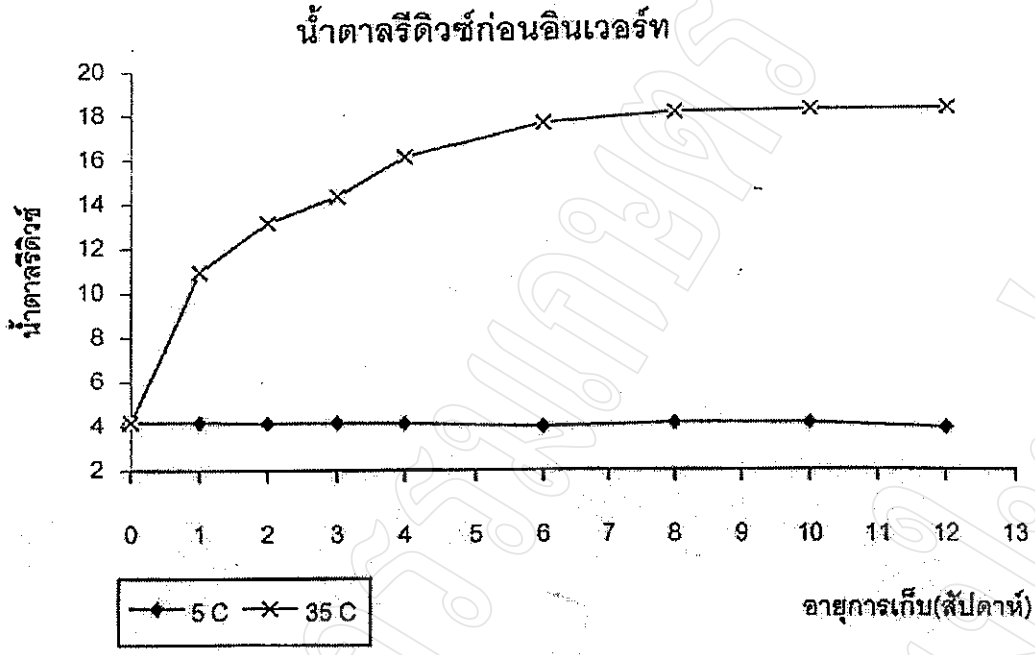
ภาพที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

4.6.2.3 การวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ท

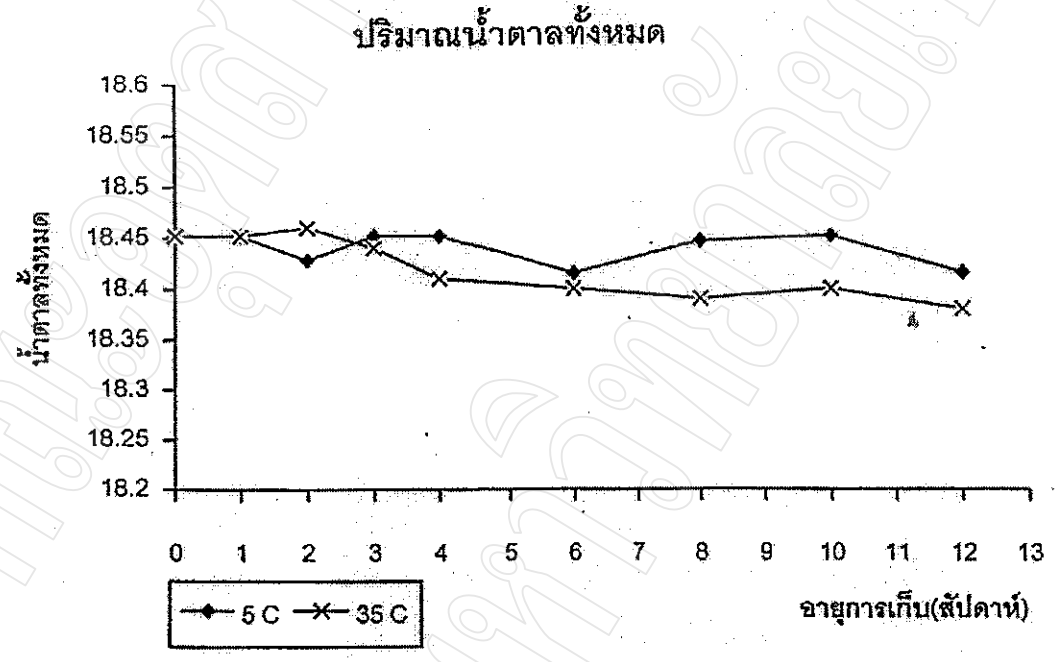
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ท : เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ทของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ ในแต่ละช่วงของการเก็บรักษาพบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ทของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีค่าค่อนข้างคงที่ คือ ในสัปดาห์ที่ 0 ถึง 4 และ 6 ถึง 7 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ทไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ และในสัปดาห์ที่ 5 และ 8 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ทไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ทของผลิตภัณฑ์ในสัปดาห์ที่ 0 ถึง 4 และ 6 ถึง 7 กับผลิตภัณฑ์ในสัปดาห์ที่ 5 และ 8 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ สำหรับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ทของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และในแต่ละสัปดาห์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ ดังแสดงในตารางที่ 4.20 คือ จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 ที่มีค่าเท่ากับ 4.16 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ จนถึงสัปดาห์ที่ 12 มีค่าเท่ากับ 18.36 ± 0.05 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ทของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นผลมาจากการแตกตัวของน้ำตาลซูโครส เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ คือ กลูโคส และฟรักโทส ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของอรทัย(2534) ที่รายงานว่าแยมสับปะรดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บไม่เกิน 3 เดือน ระหว่างการเก็บรักษามีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น

4.6.2.4 การวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด : เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงของการเก็บรักษาพบว่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส ในแต่ละสัปดาห์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ ดังแสดงในตารางที่ 4.19 และ 4.20 และภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ทของแยมสับปะรดแคลอรีต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของแยมสับปะรดแคลอรีต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

4.6.3 ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.21 ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	ค่าสี	การกระจายตัวของสับปะรด	การกระจายตัวของแยม	ความแข็งแรงของแยม	ความหนืดแยม	กลิ่นสับปะรด	รสหวาน	รสขม	รสเย็นซ่า	รสหวานติดลิ้น	รสเปรี้ยว	การยอมรับรวม
0	0.95±0.07a	1.00±0.02a	1.00±0.02a	0.95±0.04a	0.95±0.05a	0.95±0.05a	1.00±0.10a	0.99±0.02a	0.99±0.11a	0.96±0.08a	0.96±0.10a	0.90±0.05a
1	0.92±0.10a	0.96±0.25a	1.00±0.07a	0.94±0.12a	0.93±0.19a	0.94±0.23a	0.96±0.24a	1.00±0.00a	0.99±0.58a	0.95±0.14a	1.00±0.25a	0.88±0.05a
2	0.92±0.11a	1.00±0.07a	1.00±0.03a	0.95±0.09a	0.97±0.16a	0.94±0.15a	0.98±0.08a	1.00±0.02a	0.98±0.11a	0.95±0.12a	0.98±0.17a	0.88±0.07a
3	0.96±0.05a	1.02±0.04a	1.00±0.02a	0.96±0.04a	0.97±0.14a	1.00±0.03a	1.02±0.06a	0.97±0.08a	0.98±0.23a	0.97±0.08a	1.04±0.11a	0.89±0.08a
4	0.93±0.09a	1.02±0.03a	1.01±0.02a	0.97±0.10a	0.97±0.11a	1.00±0.07a	1.02±0.09a	0.98±0.03a	1.07±0.23a	0.95±0.08a	0.98±0.10a	0.88±0.05a
6	0.95±0.07a	1.01±0.05a	1.01±0.05a	0.98±0.06a	0.95±0.12a	0.99±0.03a	0.97±0.12a	0.98±0.06a	0.95±0.32a	0.97±0.12a	0.98±0.17a	0.86±0.08a
8	0.95±0.04a	1.02±0.05a	0.98±0.04a	0.97±0.04a	0.95±0.06a	0.92±0.12a	1.01±0.06a	0.97±0.06a	1.05±0.20a	1.00±0.09a	1.06±0.12a	0.89±0.05a
10	0.94±0.10a	1.01±0.06a	1.01±0.03a	0.95±0.07a	0.92±0.06a	0.93±0.09a	1.00±0.06a	0.99±0.02a	1.03±0.30a	0.98±0.08a	0.96±0.15a	0.81±0.08a
12	0.95±0.10a	1.01±0.06a	1.00±0.04a	0.98±0.05a	0.93±0.07a	0.93±0.07a	1.01±0.10a	0.98±0.05a	0.98±0.26a	0.94±0.17a	0.98±0.15a	0.84±0.09a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

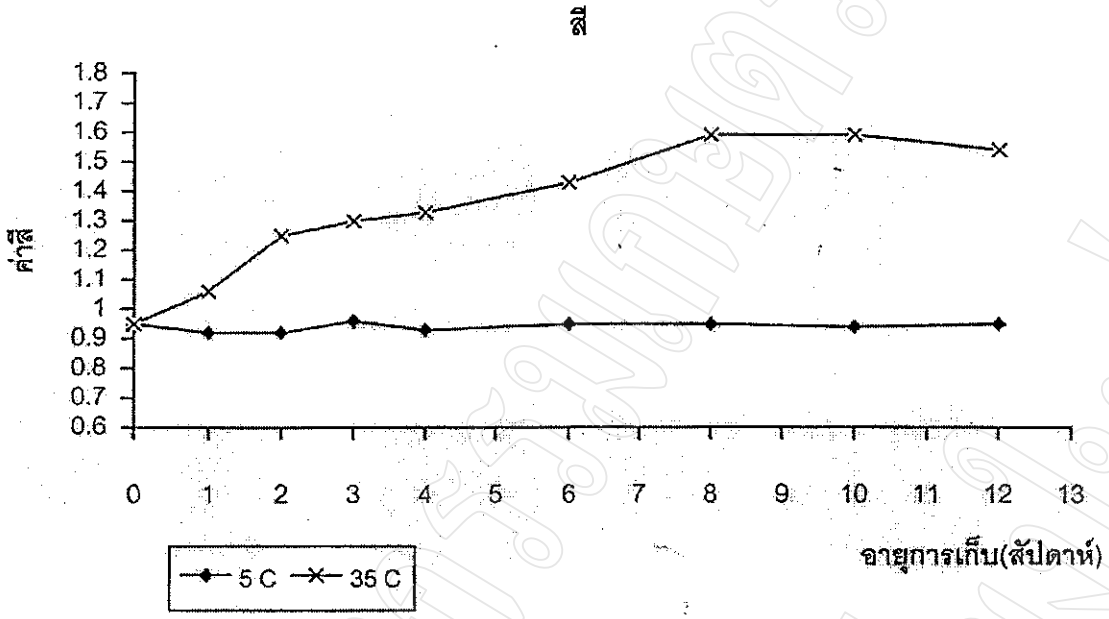
ตัวอักษรที่แตกต่างกันของข้อมูลในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

ตารางที่ 4.22 ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	ค่าสี	การกระจายตัวของสับปะรด	การกระจายตัวของแยม	ความแข็งแรงของแยม	ความหนืดแยม	กลิ่นสับปะรด	รสหวาน	รสขม	รสเย็นซ่า	รสหวานติดลิ้น	รสเปรี้ยว	การยอมรับรวม
0	0.95±0.07d	1.00±0.02a	1.00±0.02a	0.95±0.04a	0.95±0.05a	0.95±0.05a	1.00±0.10a	0.99±0.02a	0.99±0.11a	0.96±0.08a	0.96±0.10b	0.90±0.05a
1	1.06±0.20c	0.93±0.25a	1.01±0.08a	0.90±0.23a	0.92±0.12a	0.97±0.14a	1.00±0.23a	1.00±0.00a	0.86±0.44a	0.95±0.15a	0.98±0.21b	0.80±0.07a
2	1.25±0.17bc	1.02±0.05a	0.98±0.06a	0.91±0.11a	0.94±0.19a	0.98±0.12a	0.95±0.06ab	0.98±0.04a	0.81±0.24a	0.96±0.06a	1.05±0.25ab	0.76±0.11a
3	1.30±0.19bc	0.99±0.06a	0.97±0.07a	0.89±0.09a	0.93±0.10a	0.97±0.11a	0.96±0.08a	0.96±0.06a	0.84±0.21a	0.98±0.06a	1.15±0.22ab	0.80±0.10a
4	1.33±0.19abc	1.01±0.04a	1.00±0.03a	0.90±0.14a	0.97±0.16a	0.96±0.16a	0.99±0.11a	0.96±0.06a	0.86±0.27a	1.00±0.08a	1.17±0.18ab	0.71±0.12ab
6	1.43±0.18ab	1.01±0.07a	0.99±0.08a	0.88±0.14a	0.89±0.13a	0.95±0.21a	0.93±0.15ab	0.96±0.07a	0.82±0.21a	0.98±0.21a	1.13±0.29ab	0.68±0.14ab
8	1.59±0.21a	1.04±0.08a	0.97±0.07a	0.89±0.11a	0.88±0.09a	0.87±0.18a	0.88±0.10ab	0.94±0.11a	0.80±0.22a	1.03±0.09a	1.25±0.20ab	0.65±0.14ab
10	1.59±0.20a	1.01±0.10a	1.00±0.04a	0.90±0.23a	0.87±0.28a	0.84±0.12a	0.78±0.07b	0.95±0.05a	0.79±0.37a	1.09±0.11a	1.27±0.29ab	0.65±0.12ab
12	1.54±0.25ab	1.03±0.11a	0.95±0.09a	0.92±0.11a	0.92±0.14a	0.83±0.22a	0.77±0.11b	0.95±0.08a	0.59±0.30a	1.12±0.09a	1.35±0.23a	0.58±0.14b

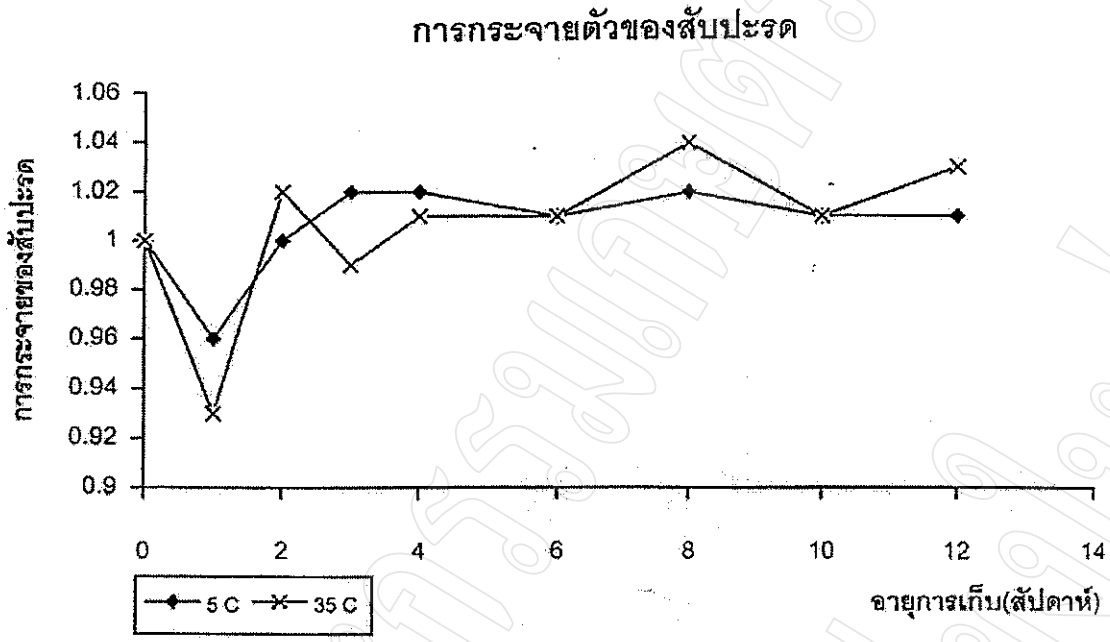
หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันของข้อมูลในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$



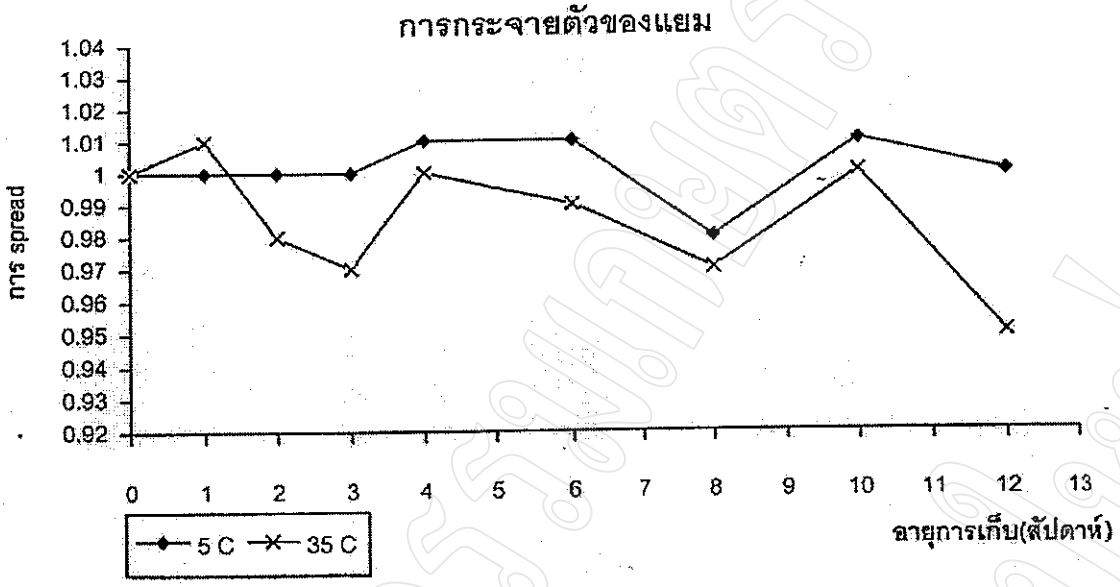
ภาพที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะสีของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ลักษณะสี : เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของลักษณะสีของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงของการเก็บรักษา พบว่า คุณภาพด้านสีของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในแต่ละสัปดาห์ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ โดยจะมีค่าค่อนข้างคงที่ และมีค่า mean ideal ratio score อยู่ในช่วง 0.92-0.96 สำหรับคุณภาพด้านสีของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นั้นในแต่ละสัปดาห์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ สามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกได้แก่ สัปดาห์ที่ 0 กลุ่มที่สองได้แก่ สัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 กลุ่มที่สามได้แก่ สัปดาห์ที่ 2, 3, 4, 10 และ 12 กลุ่มที่สี่ได้แก่ สัปดาห์ที่ 4, 6, 8, 10 และ 10 และมีค่า mean ideal ratio score เกิน 1.00 ซึ่งเป็นค่าทางอุดมคติ แสดงว่าสีของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะมีสีคล้ำขึ้น เนื่องจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงสีของผลิตภัณฑ์จึงเปลี่ยนจากสีเหลืองสว่างเป็นสีเหลืองเข้มจนในที่สุดผลิตภัณฑ์จะมีสีคล้ำลงตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา กล่าวได้ว่าผู้บริโภคยอมรับคุณภาพด้านสีของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มากกว่าผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



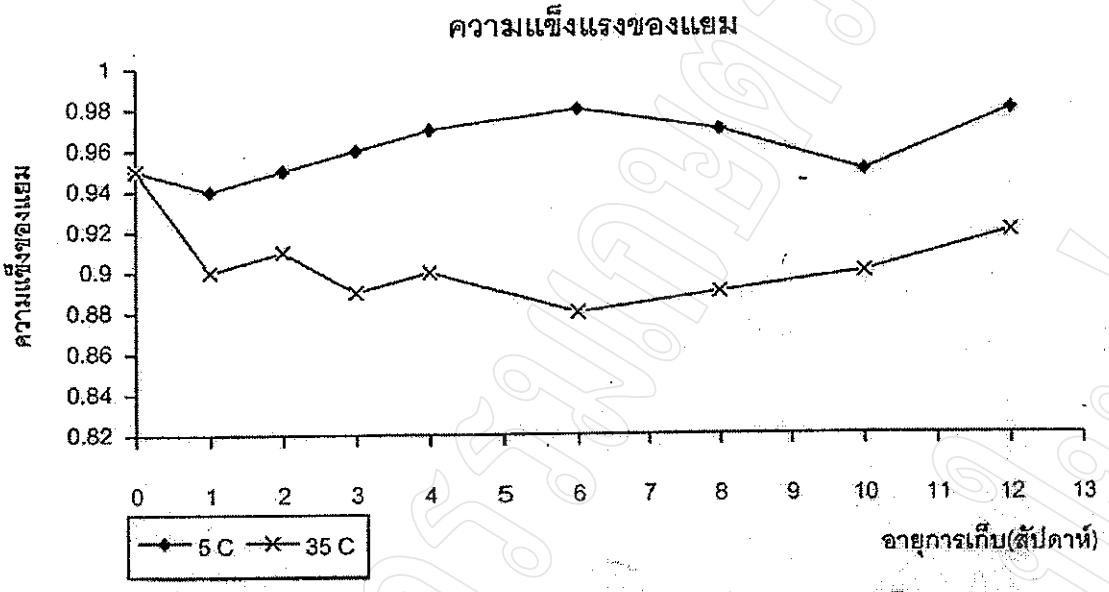
ภาพที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสจากลักษณะการกระจายตัวของสับปะรดในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

การกระจายตัวของสับปะรด : เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของค่าการกระจายตัวของสับปะรดในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงการเก็บรักษา พบว่า ค่าการกระจายตัวของสับปะรดในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ โดยค่าการกระจายตัวของสับปะรดในผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วง 0.96-1.02 และค่าการกระจายตัวของสับปะรดในผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วง 0.93-1.04 กล่าวได้ว่า ผู้บริโภคยอมรับการกระจายตัวของสับปะรดในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกัน



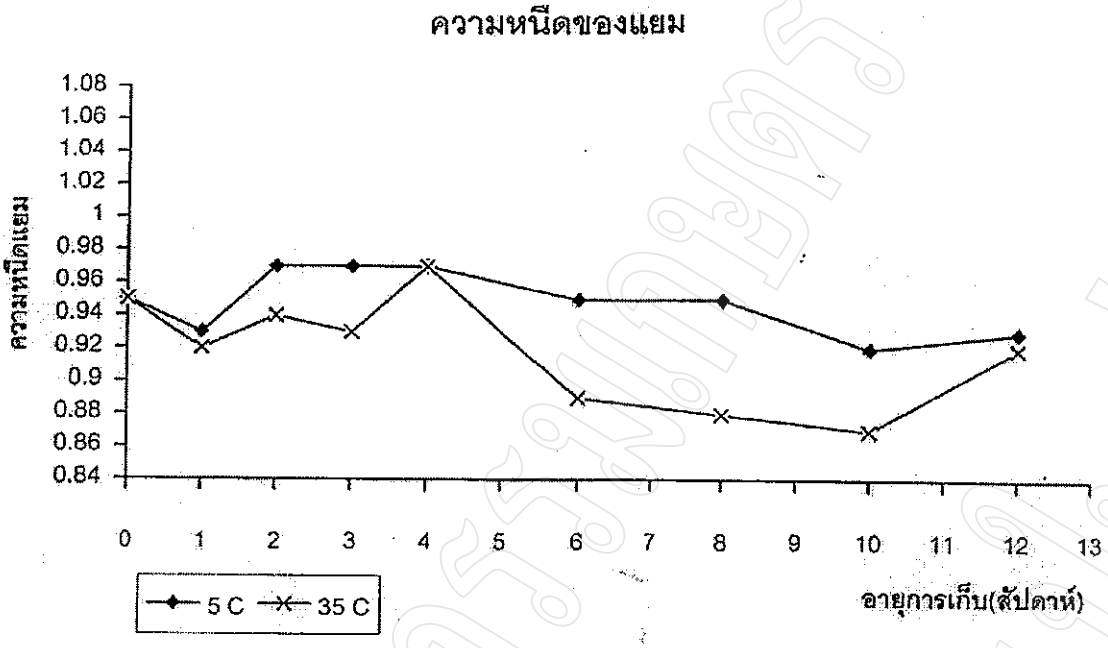
ภาพที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะการกระจายตัวของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

การกระจายตัวของแยม : เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของการกระจายตัวของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงของการเก็บรักษา พบว่า ค่าการกระจายตัวของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ โดยค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ อยู่ในช่วง 0.98-1.01 และค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วง 0.95-1.01 และผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีค่าการกระจายตัวลดลงเล็กน้อยตามระยะเวลาในการเก็บรักษา พิจารณาค่า mean ideal ratio score ของผลิตภัณฑ์หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 เป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 1.00 ± 0.04 และ 0.95 ± 0.09 ตามลำดับ กล่าวได้ว่า ผู้บริโภคมีการยอมรับค่าการกระจายของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



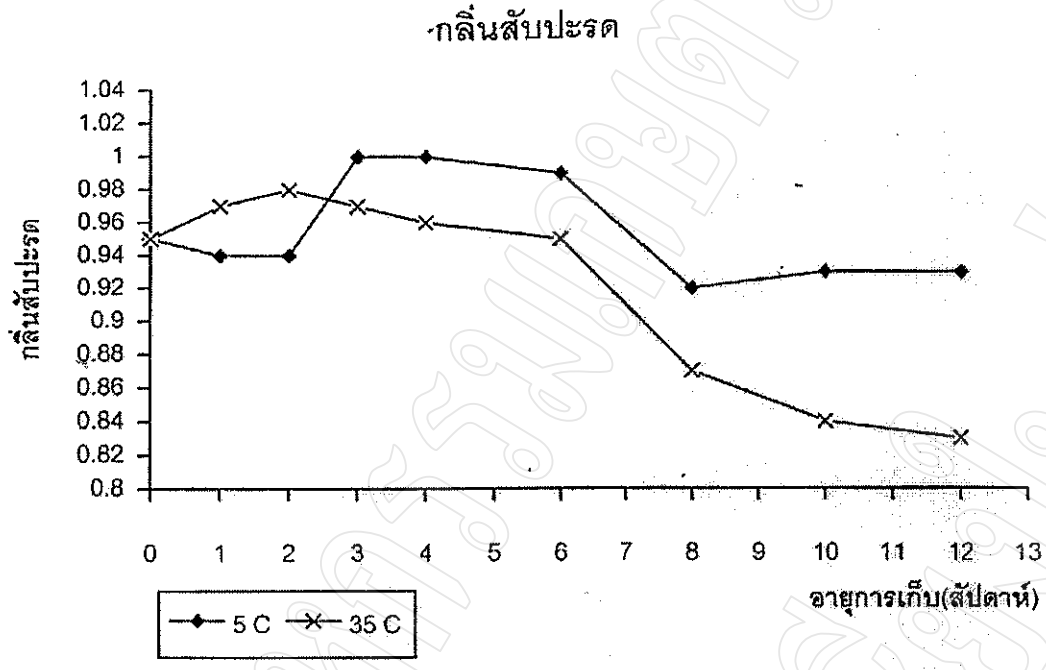
ภาพที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะความแข็งแรงของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ค่าความแข็งแรงของแยม : เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของค่าความแข็งแรงของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงการเก็บรักษา พบว่าค่าความแข็งแรงของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ค่า mean ideal ratio score มีแนวโน้มเข้าใกล้ค่าทางอุดมคติมากขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ค่า mean ideal ratio score มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา พิจารณาค่า mean ideal ratio score ของผลิตภัณฑ์หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 0.98 ± 0.06 และ 0.92 ± 0.11 ตามลำดับ กล่าวได้ว่า ผู้บริโภคยอมรับค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



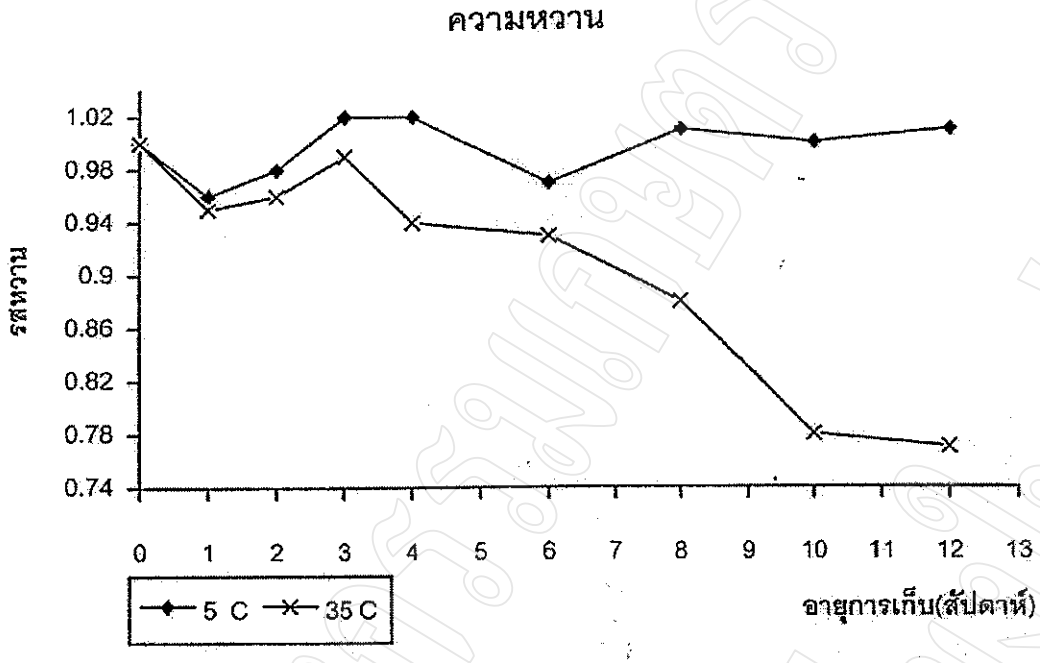
ภาพที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะความหนืดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ความหนืดของแยม : เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของค่าความหนืดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ ในแต่ละช่วงของการเก็บรักษา พบว่าค่าความหนืดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ โดยค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วง 0.92-0.97 และค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วง 0.88-0.97 และผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดลดลงเล็กน้อยตามระยะเวลาในการเก็บรักษา พิจารณาค่า mean ideal ratio score ของผลิตภัณฑ์หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 0.93 ± 0.07 และ 0.92 ± 0.15 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าผู้บริโภคมีการยอมรับค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



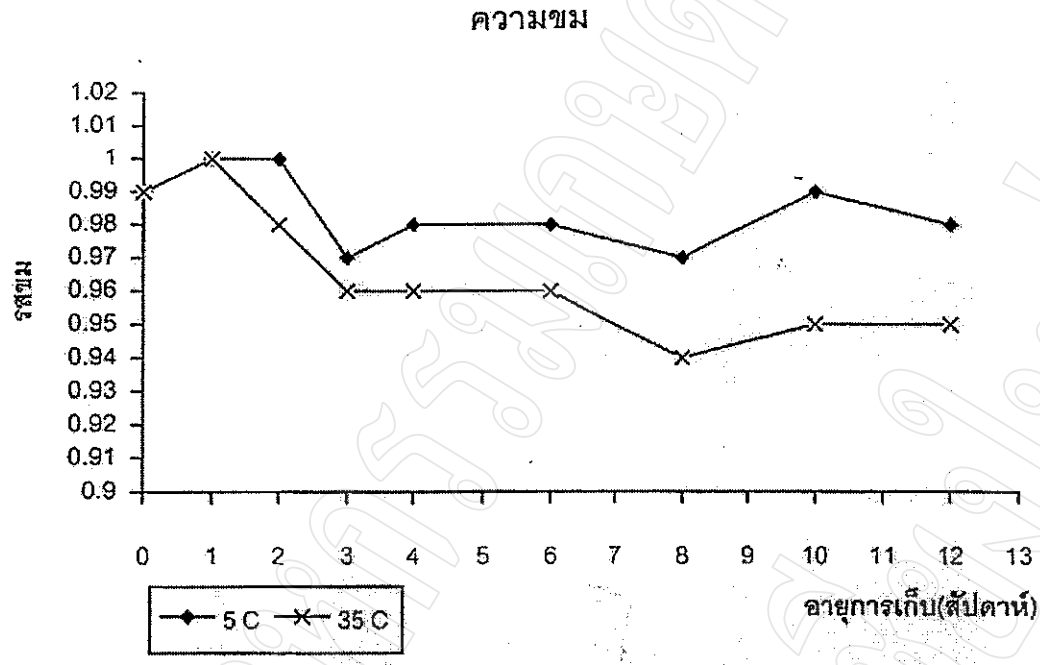
ภาพที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะกลิ่นสับปะรดของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

กลิ่นสับปะรด : การเปลี่ยนแปลงของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของค่ากลิ่นสับปะรดในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่า ค่ากลิ่นสับปะรดในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ และค่ากลิ่นสับปะรดมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา พิจารณาค่า mean ideal ratio score ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 0.93 ± 0.07 และ 0.83 ± 0.29 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าผู้บริโภคมีการยอมรับค่ากลิ่นสับปะรดของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



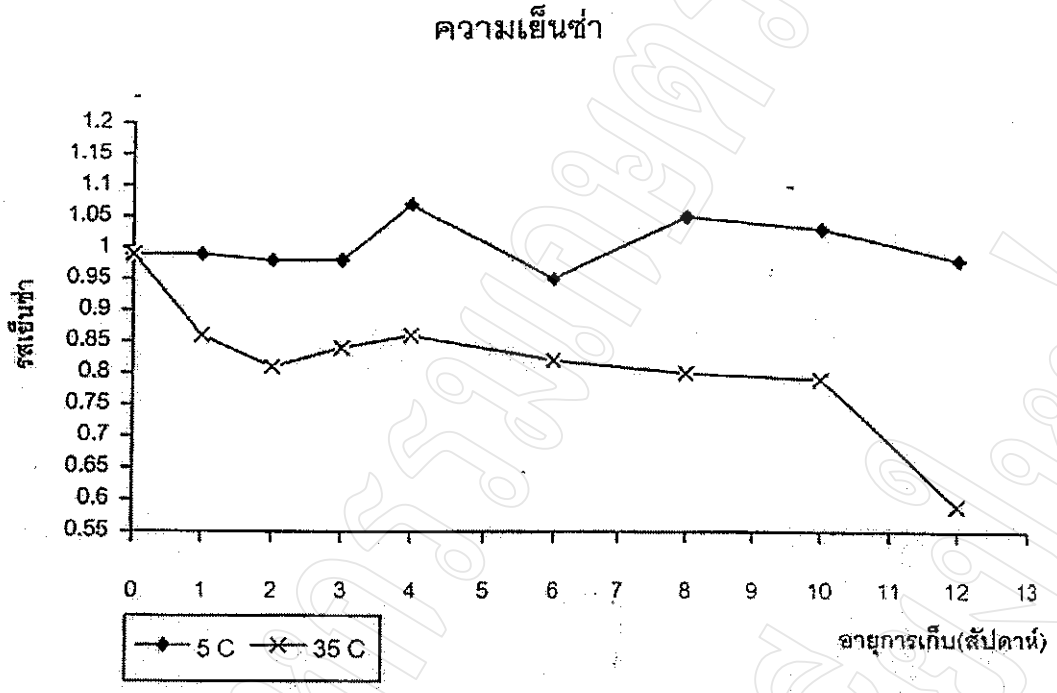
ภาพที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะความหวานของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ความหวาน : การเปลี่ยนแปลงของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของลักษณะความหวานในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงของการเก็บรักษา พบว่า ค่าความหวานของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในแต่ละสัปดาห์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ โดยจะมีค่าค่อนข้างคงที่ มีค่า mean ideal ratio score อยู่ในช่วง 0.96-1.02 สำหรับความหวานของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นั้นในแต่ละสัปดาห์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกได้แก่ สัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3, 4, 6 และ 8 กลุ่มที่สองได้แก่ สัปดาห์ที่ 2, 6, 8, 10 และ 12 และค่าความหวานของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา พิจารณาค่า mean ideal ratio score ของผลิตภัณฑ์หลังจากที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 1.01 ± 0.10 และ 0.77 ± 0.11 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าผู้บริโภคมีการยอมรับค่าความหวานของผลิตภัณฑ์ท่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



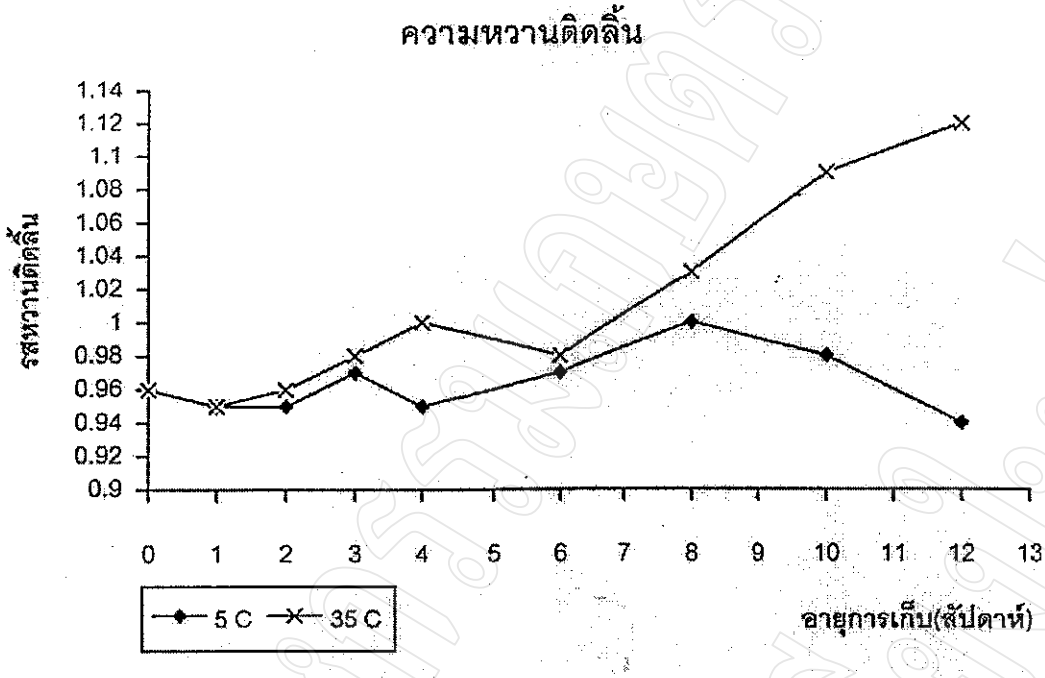
ภาพที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะความขมของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ความขม : การเปลี่ยนแปลงของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของค่าความขมของแอสพาร์เทมในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ ในแต่ละช่วงของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความขมของแอสพาร์เทมในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ค่าความขมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาในการเก็บรักษา (ค่า mean ideal ratio score มีค่า < 1.00) พิจารณาค่า mean ideal ratio score หลังจากเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 0.98 ± 0.05 และ 0.95 ± 0.08 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าผู้บริโภคมีการยอมรับค่าความขมของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



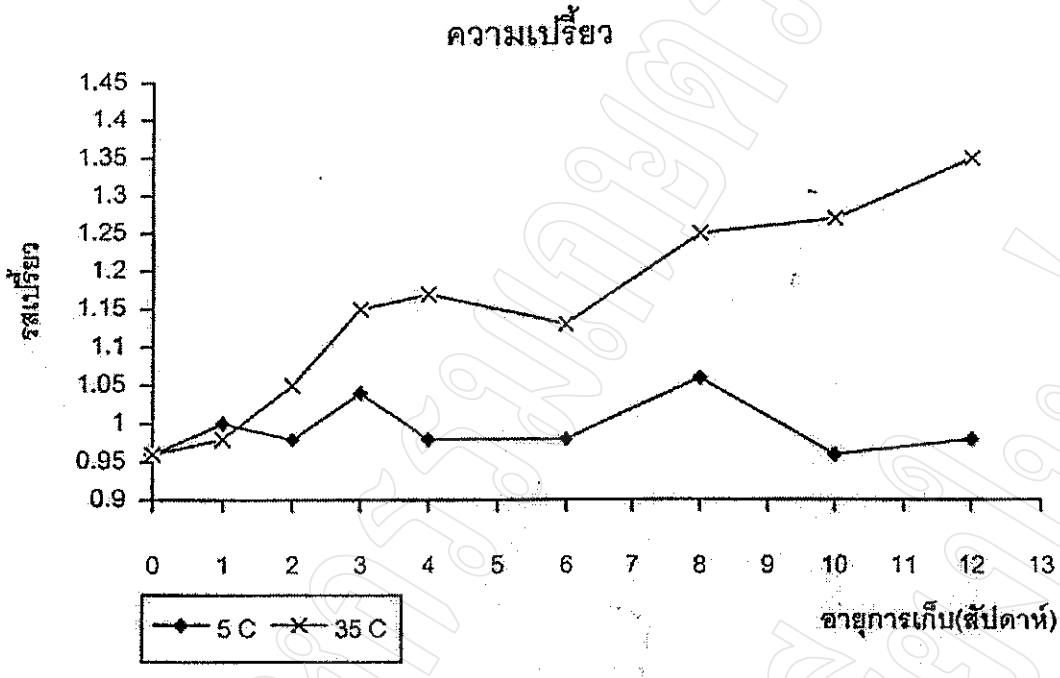
ภาพที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะความเย็นซ่าของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ความเย็นซ่า : การเปลี่ยนแปลงของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของค่าความเย็นซ่าของแอสพาร์เทมในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่า ความเย็นซ่าของแอสพาร์เทมในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ค่าความเย็นซ่ามีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น (ค่า mean ideal ratio score < 1.00)พิจารณาค่า mean ideal ratio score หลังจากเก็บที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 0.98 ± 0.27 และ 0.59 ± 0.30 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าผู้บริโภคมีการยอมรับค่าความเย็นซ่าของแอสพาร์เทมในผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



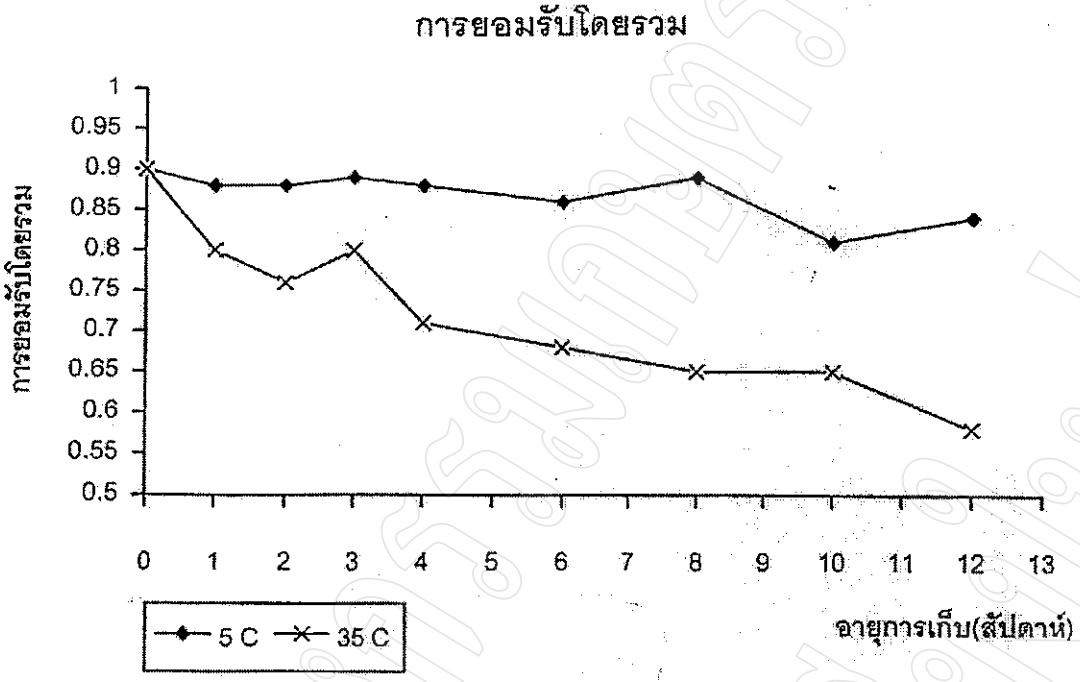
ภาพที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะความหวานติดลิ้นของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ความหวานติดลิ้น : การเปลี่ยนแปลงของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของค่าความหวานติดลิ้นของแอสพาร์เทมในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ ในแต่ละช่วงของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความหวานติดลิ้นของแอสพาร์เทมในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ค่าความหวานติดลิ้นมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (ค่า mean ideal ratio score > 1.00) พิจารณาค่า mean ideal ratio score หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 0.94 ± 0.18 และ 1.12 ± 0.08 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าผู้บริโภคมีการยอมรับค่าความหวานติดลิ้นของแอสพาร์เทมผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะความเปรี้ยวของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ความเปรี้ยว : การเปลี่ยนแปลงของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของค่าความเปรี้ยวในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงของการเก็บรักษา พบว่า ค่าความเปรี้ยวของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในแต่ละสัปดาห์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ โดยจะมีค่าค่อนข้างคงที่ มีค่า mean ideal ratio score อยู่ในช่วง 0.96-1.06 สำหรับค่าความเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสนั้น ในแต่ละสัปดาห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกได้แก่ สัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8 และ 10 กลุ่มที่สองได้แก่ สัปดาห์ที่ 2, 3, 4, 6, 8, 10 และ 12 และค่าความเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา พิจารณาค่า mean ideal ratio score ของผลิตภัณฑ์หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 0.98 ± 0.16 และ 1.35 ± 0.43 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าผู้บริโภคมีการยอมรับค่าความเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจากลักษณะการยอมรับโดยรวมของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

การยอมรับโดยรวม : การเปลี่ยนแปลงของการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของค่าการยอมรับโดยรวมของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำในแต่ละช่วงของการเก็บรักษา พบว่า ค่าการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสในแต่ละสัปดาห์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$ มีค่า mean ideal ratio score อยู่ในช่วง 0.81-0.90 สำหรับค่าการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นั้นในแต่ละสัปดาห์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกได้แก่ สัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8 และ 10 กลุ่มที่สองได้แก่ สัปดาห์ที่ 4, 6, 8, 10 และ 12 และค่าการยอมรับโดยรวมมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา พิจารณาค่า mean ideal ratio score ของผลิตภัณฑ์หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 0.84 ± 0.09 และ 0.58 ± 0.14 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าผู้บริโภคมีการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

4.6.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์พบว่า เมื่อทำการวิเคราะห์ แบคทีเรียโคลิฟอร์ม ด้วยวิธี MPN แบคทีเรียทั้งหมด และยีสต์รา ด้วยวิธี pour plate ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ NA และ PDA ทำการเจือจางที่ 10^{-1}-10^{-3} ทำระดับการเจือจางละ 2 ซ้ำ และบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส สำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อ NA และบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA เป็นเวลา 3-5 วัน ในแต่ละช่วงของการเก็บรักษาของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ตรวจไม่พบจุลินทรีย์

จากการทดลองศึกษาอายุการเก็บรักษาของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่า แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนทางกายภาพ คือ ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงของสี โดยมีสีคล้ำลงเรื่อย ๆ และผลิตภัณฑ์มีการแยกของของเหลวออกจากเจลอย่างชัดเจนในสัปดาห์ที่ 12 สำหรับผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์มีความหวานลดลงเรื่อย ๆ ขณะเดียวกันก็มีความเปรี้ยวเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยผู้บริโภคเริ่มไม่ยอมรับในสัปดาห์ที่ 8 คือมีค่า Mean ideal ratio score เท่ากับ 0.88±0.10 และ 1.25±0.20 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าการยอมรับโดยรวมจะพบว่าผู้บริโภคเริ่มไม่ยอมรับในสัปดาห์ที่ 6 โดยมีค่าการยอมรับโดยรวมเท่ากับ 0.68±0.15 แสดงว่าผู้บริโภคมีความชอบผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อย ดังนั้นแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส น่าจะมีอายุการเก็บได้นาน 6 สัปดาห์

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพที่ชัดเจน คือ เกิดการแยกตัวของของเหลวออกจากเจลอย่างชัดเจนในสัปดาห์ที่ 8 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสประกอบการพิจารณาด้วย พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าการยอมรับโดยรวมในสัปดาห์ที่ 12 เท่ากับ 0.84±0.09 แสดงว่าผู้บริโภคมีความชอบในผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับได้ ดังนั้นแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส น่าจะมีอายุการเก็บได้ไม่น้อยกว่า 12 สัปดาห์

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ การทำเจลมาตรฐานจากเปกตินชนิด 150 เกรด ศึกษาการเกิดเจลโดยใช้สารข้นเหนียวชนิดต่าง ๆ ทดลองทำแยมสับปะรดจากสารข้นเหนียวที่ได้จากการศึกษาขั้นต้น ศึกษาการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลในแยมสับปะรด ศึกษาคุณภาพของแยมสับปะรดในระหว่างการเก็บรักษา รวมทั้ง การประเมินผลทางประสาทสัมผัสระหว่างแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำกับแยมพลัมแคลอรี่ต่ำ และการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้สารให้ความหวานผสมกันระหว่างแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล์กับแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้แอสพาร์เทมเพียงอย่างเดียว สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การทำเจลมาตรฐานจากเปกตินชนิด 150 เกรด : เป็นการทดลองทำเจลมาตรฐานจากเปกติน 150 เกรด คือ การใช้ปริมาณน้ำตาล 150 กรัม ต่อปริมาณเปกติน 1 กรัม การทดลองทำเจลมาตรฐานจะควบคุมให้เจลมาตรฐานอยู่ในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 3.0 และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ 65 บริกซ์ ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณเปกติน 65/150 เท่ากับ 0.43 กรัมจึงจะสามารถทำเจลมาตรฐานจากเปกตินชนิด 150 เกรดตามที่ต้องการได้ และเมื่อนำเจลมาตรฐานมาวิเคราะห์ทางกายภาพทางด้านเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron sereis 5500) ทำการวัดหาค่าแรงกด (puncture force) พบว่า เจลมาตรฐานมีค่าแรงกดอยู่ในช่วง 1.05-1.14 นิวตัน และมีค่าเฉลี่ยที่ 1.10 นิวตัน ค่าวิเคราะห์ทางกายภาพและลักษณะปรากฏของเจลมาตรฐานที่ได้จะใช้เป็นตัวแทนของเจลในอุดมคติเพื่อใช้เป็นแนวทางที่ถูกต้องในการพัฒนาเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แยมในการทดลองขั้นต่อไป

2. ศึกษาการเกิดเจลโดยใช้สารข้นเหนียวชนิดต่าง ๆ : จากการทดลองได้ทำการเลือกใช้สารข้นเหนียว 4 ชนิด คือ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ, แคปปา-คาร์ราจีแนน, โลคัสบีนกัม และโซเดียมอัลจิเนท เมื่อเริ่มทำการทดลองขั้นเริ่มต้น พบว่า สารข้นเหนียวที่ไม่สามารถให้เจลที่มีลักษณะตามต้องการเมื่อเทียบเจลมาตรฐานได้ คือ โลคัสบีนกัม และโซเดียมอัลจิเนท โดยเจลที่ได้จากโลคัสบีนกัมมีลักษณะเหลวไม่สามารถเซ็ตตัวตามที่ต้องการได้ และสำหรับโซเดียมอัลจิเนทนั้นจะเกิดเจลขึ้นทันทีเมื่อโซเดียมอัลจิเนท

ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมอิออน ดังนั้นจึงเลือกใช้
สารข้นเหนียวชนิดเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ และแคปปา-คาร์ราจีแนน ที่สามารถให้เจลที่มีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเจลมาตรฐานมาทำการศึกษาต่อไป

เมื่อทดลองหาระดับปัจจัยขององค์ประกอบในการเกิดเจลของสารข้นเหนียวทั้ง 2 ชนิด พบว่าลักษณะเจลที่มีการยอมรับมากที่สุด และมีเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับเจลมาตรฐานหรือเจลในอุดมคติ ได้จากการใช้

- เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ 0.7 เปอร์เซ็นต์, น้ำตาล 20 บริกซ์ และ แคลเซียมคลอไรด์ 3 เปอร์เซ็นต์(คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเปกตินเมธ็อกซีต่ำ)
- แคปปา-คาร์ราจีแนน 0.6 เปอร์เซ็นต์, น้ำตาล 25 บริกซ์ และ แคลเซียมคลอไรด์ 15 เปอร์เซ็นต์(คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแคปปา-คาร์ราจีแนน)

3. การทดลองทำแยมสับปะรดจากสารข้นเหนียวทั้ง 2 ชนิด : เมื่อทดลองทำแยมสับปะรดโดยใช้เนื้อสับปะรดที่ปั่นละเอียดกับน้ำในอัตราส่วน 45:30 และมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 3.0-3.3 พบว่าแยมสับปะรดที่ทำจากสารข้นเหนียวชนิดเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ มีคะแนนเฉลี่ยของค่าการประเมินผลทางประสาทสัมผัสที่สูงกว่าแยมสับปะรดที่ทำจากแคปปา-คาร์ราจีแนน และคะแนนเฉลี่ยที่สูงกว่าในค่าการยอมรับโดยรวมและค่าที่แสดงเนื้อสัมผัสของแยม คือค่าความหนืดของแยม นั้นยังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ ด้วย จึงตัดสินใจเลือกผลิตแยมสับปะรดโดยใช้สารข้นเหนียวชนิดเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของแยมสับปะรดที่ทำจากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำกับแยมสับปะรดในอุดมคติแล้ว พบว่า แยมสับปะรดที่ทำจากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำมีคะแนนเฉลี่ยของการประเมินผลทางประสาทสัมผัสที่สอบถามถึง ลักษณะสีที่ปรากฏ การกระจายของสับปะรด การกระจายตัวของเจล ความแข็งแรงของเจล ความหนืด กลิ่นสับปะรด รสหวาน รสเปรี้ยว และการยอมรับโดยรวม เท่ากับ 0.99, 0.96, 0.92, 0.92, 0.86, 0.94, 0.60, 1.48 และ0.66 ตามลำดับ และจะเห็นได้ว่าคุณลักษณะส่วนใหญ่ของแยมสับปะรดที่ทำจากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำนั้นมีค่าใกล้เคียงกับแยมสับปะรดในอุดมคติ ยกเว้นคุณลักษณะที่บอกถึงรสชาติของแยม คือรสหวานและรสเปรี้ยว ที่ต้องทำการปรับปรุงต่อไปซึ่งคุณลักษระทั้งสองส่งผลถึงค่าการยอมรับโดยรวมด้วย

4. ศึกษาการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลในแยมสับปะรด : ศึกษาการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล 2 ชนิดคือ แอสพาร์เทม และซอร์บิทอล์ ในการทำแยมสับปะรดโดยทำการปรับแยมให้มีความหวานเท่ากับสารละลายซูโครสที่ 40, 50 และ 60 บริกซ์ พบว่า แยมสับปะรดที่ใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมจะให้คุณลักษณะของการประเมินผลทางประสาทสัมผัสที่ใกล้เคียงกับค่าทางอุดมคติมากกว่าแยมที่ใช้สารให้ความหวานซอร์บิทอล์ โดยเฉพาะค่าการกระจายตัวของแยม, ค่าความแข็งแรงของแยม และค่าความหนืดของแยมนั้นยังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ ด้วย และจากการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ แสดงให้เห็นว่า การใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมในแยมสับปะรดนั้นจะให้แยมสับปะรดที่มีสีเหลืองสว่าง ในขณะที่การใช้ซอร์บิทอล์จะให้แยมสับปะรดที่มีสีเหลืองคล้ำกว่า อีกทั้งการใช้แอสพาร์เทมในแยมนั้นไม่ทำให้โครงสร้างความแข็งแรงของเจลเปลี่ยนแปลงไป พิจารณาจากค่าแรงกดที่ได้จากแยมที่ใช้แอสพาร์เทมจะมีค่ามากว่าแยมที่ใช้ซอร์บิทอล์ และค่าที่ได้ก็มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ ด้วย

จากการพิจารณาโดยรวมควรเลือกใช้สารให้ความหวานแอสพาร์เทมในแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ และควรเลือกใช้ที่ 0.2 เปอร์เซ็นต์ (ระดับความหวานเมื่อเทียบกับสารละลายซูโครสเข้มข้น 50 บริกซ์) ทั้งนี้เพราะเป็นค่าที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดจากการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของคุณลักษณะทางด้านรสชาติ อีกทั้งค่าการยอมรับโดยรวมก็มีค่ามากที่สุด

5. คุณภาพของผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ได้ มีค่าสีในรูปค่ามีฮันเตอร์ ค่า L เท่ากับ 44.67 ค่า a* เท่ากับ –1.74 และค่าสี b* เท่ากับ 11.89 มีค่าแรงกดเท่ากับ 0.42 นิวตัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.31 มีปริมาณกรดทั้งหมด(เปอร์เซ็นต์กรดซิตริก)เท่ากับ 0.77 เปอร์เซ็นต์ มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เท่ากับ 22 บริกซ์ มีค่าน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ท น้ำตาลทั้งหมด และปริมาณแอสพาร์เทม เท่ากับ 4.16, 18.45 และ 0.18 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าพลังงานเท่ากับ 61.38 กิโลแคลอรี่ต่อ 100 กรัม ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ได้มีการยอมรับที่ดีของผู้บริโภคทั้งในด้านลักษณะสีของแยมสับปะรด การกระจายของสับปะรด การกระจายของแยม ความแข็งแรงของแยม ความหนืดแยม กลิ่นสับปะรด รสหวาน รสขม รสเย็นซ่า รสหวานติดลิ้น รสเปรี้ยวและการยอมรับโดยรวม โดยมีค่า mean ideal ratio score ของลักษณะดังกล่าวเท่ากับ 0.95, 1.00, 1.00, 0.95, 0.95, 0.95 1.00, 0.99, 0.99, 0.96, 0.90 และ 0.90 ตามลำดับ

6. การศึกษาอายุการเก็บรักษาของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยาของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 12 สัปดาห์ พบว่า ค่าสี L ค่าสี b* แรงกด และค่าความเป็นกรด-ด่าง มีปริมาณลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าสี a* ปริมาณกรดทั้งหมด และน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ท มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และระหว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่า ผู้บริโภคมีความพอใจต่อผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ และผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสน่าจะมีอายุการเก็บอยู่ได้ไม่น้อยกว่า 12 สัปดาห์ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสน่าจะมีอายุการเก็บอยู่ได้นาน 6 สัปดาห์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมแคลอรี่ต่ำ สามารถทำได้โดยประยุกต์ทำแยมแคลอรี่ต่ำโดยเปลี่ยนผลไม้ในแยมได้ ควรเลือกใช้ผลไม้ที่มีปริมาณเปกตินไม่สูงนัก และไม่ควรมีเส้นใยมาก ทั้งนี้เพราะอาจมีผลต่อโครงสร้างของเจลได้
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการนำสารข้นเหนียวชนิดอื่นมาใช้ในการทำแยมแคลอรี่ต่ำ โดยอาจเลือกใช้สารข้นเหนียวชนิดอื่นหรือใช้ร่วมกับเปกตินเมธ็อกซิลต่ำก็ได้ ทั้งนี้เพราะจากการทดลองพบว่าเกิดการแยกตัวของน้ำออกจากเจลขึ้น ดังนั้นควรเลือกสารข้นเหนียวที่สามารถให้โครงสร้างเจลที่แข็งแรง รวมทั้งมีความยืดหยุ่นได้ดีด้วย ซึ่งจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำภายในเจลได้ดีกว่า
3. ควรมีการศึกษาหาอายุการเก็บรักษาที่แน่นอน ทั้งนี้เพราะจากการทดลองทำแยมเป็นการทดลองภายในห้องทดลองจึงสามารถควบคุมสภาวะให้ปลอดเชื้อได้ง่ายกว่าการทำแยมในสภาวะจริง
4. การยืดอายุการเก็บรักษาของแยมแคลอรี่ต่ำ อาจทำได้โดยการนำสารกันเสียมาใช้ในแยม โดยอาจเลือกใช้ แคลเซียมโพรพิโอเนท ซึ่งนอกจากทำหน้าที่ช่วยในการสร้างโครงสร้างของเจลแล้ว ยังสามารถใช้เป็นสารกันเสียได้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

กฎหมายอาหาร. 2535. อาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก.อาหาร 22(4) : 35-38.

กองวิเคราะห์อาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2531. สารให้ความหวานแทนน้ำตาล. อาหาร 18(2) : 131-132.

กัญญา บุตราช. 2536. วิทยานิพนธ์. การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตซอร์บิทอล์จาก *Zymomonas mobilis* สายพันธุ์ IFO 13756. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2536. เอกสารประกอบการเรียนผักและผลไม้. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 249-270.

ชมรมวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ. 2537. Food Focus. สัปดาห์วิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการครั้งที่ 5 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. หน้า 15-22.

ชูศรี วงศ์วัฒนะ. 2534. เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร. หน้า 155-292.

นัยทัศน์ ภู่ศรัณย์. 2521. วิทยานิพนธ์การสกัดเปกตินจากผลไม้บางชนิด. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 57 หน้า.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2534. คอลลอยด์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 77 หน้า.

เนตรนภิส วัฒนสุชาติ. 2535. อาหารพลังงานต่ำ. อาหาร 22(3) :1-4.

บริษัท บูรพาชีพ. 2540. เอกสารข้อมูลเกี่ยวกับเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ. กรุงเทพฯ.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2536. การวางแผนและการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 275 หน้า.

มอก. 263-2521. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด. เล่ม 95 ตอนที่ 86. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. กทม.

วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล. 2539. จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญด้านอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 165-228.

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย. 2533. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารบำบัดโรค. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 135-166.

อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ. 2540. ผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่พลังงานต่ำจากแป้งกะบุก. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 14(1) : 37-44.

อรทัย ศิลปนภาพร. 2534. การพัฒนาแยมสับปะรดเพื่อให้ได้มาตรฐานคุณภาพในอุตสาหกรรม. อาหาร . 21(3) : 63.

American Dietetic Association. 1998. Position of The American Dietetic Assocition: Us of nutritive and nonnutritive sweeteners. Journal of the ADA ,98(5),580-587.

AOAC. 1990. Official Methods of analysis of the association of official analytical chemist. 15th ed. K. Helrich (ed). pp 910-930,1045 –1114. U.S.A. Association of Official Analytical Chemist,Inc.

Axelos, M. A. V. and Thibault, J. F., 1991. The chemistry of low-methoxyl pectin gelation, In: The chemistry and technology of pectin. ed. Walter, R. H.,Cornell university Geneva. Newyork. pp.109-116.

Baker, R. A., Berry. N. and Hui, Y. H., 1996. Fruit preserves and jams, In: Processing fruit ;Science and Technology vol. 1 ,ed. Somogyi, L. P. and Ramaswamy, H. S.,Laucaster-Basel, pp.117-133.

Bakr.AA. 1997. Application potential for some sugar substitutes in some low energy and diabetic food. Nahrung, 41(3), 170-175.

Beach , P.J.1993. Pectin. In: Encyclopedia of food science and technology: vol.5, ed. Y.H.Hui, pp. 3487-3493. U.S.A. A.Wiley-Interscience Publication John Wiley&Son, Inc.

Bhatia, S. C. 1997. Canning and preservation of fruit and vegetables, small industry reserch institute, Delhi. pp. 112-129.

Black,R.M. 1993. Sucrose in health and nutrition-facts and myths.Food Technol.47(1). 130-133.

Broomfield, R. W., 1996. The manufacture of preserves, flavourings and dried fruit. In Fruit Processing, ed. Arthey, D. and Ashurst, P. R., pp. 166-172, 179-182

Buren, J. P. 1991. Function of pectin in plant tissues structure and firmness, In: The chemistry and technology of pectin. ed. Walter, R. H., Cornell university Geneva Newyork. pp. 109-116.

Carlon.A. 1996. The Increasing trend towards sugar-free product. Food Australia. 48(5).222.

Damasio. MH, Costell. E and Duran. L. 1997. Sensory quality of low-sugar orange gel with gellan gum, xanhan and locust bean gums, Zeitschrift-fuer-Leben smittel-Untersuchung-und-Forschung-A/ Food Research and Technology. 204(3), 183-188.

Furia, T.E.1983. Hand book of food additives. 2nd. ed.CRC Press,Inc. Boca Raton, Florida. pp. 295-303, 307-310.

Giese, J.H.1993. Alternative sweeteners and bulking agents. Food Technol. 47(1).114-126.

Giese, J., 1995. Measuring physical properties of foods. Food Tecnol. 49(2) 54-63.

Hoerlien. L, Lotz. A and Gierschner. K. 1995. Production of low-calorie strawberry jam pleasant in taste and suitable for diabetics using both acesulfame-K and aspartame. Industry Obst und Gemueseverwertung 80(1). 2-7.

Homler, B.E., Deis, R.C. and Shazer, W.H.1991.Aspartame.In: Alternative Sweeteners, ed.L.O.Nabors and R.C.Gelardi, pp.39-70. Marcel Dekker, Inc.,New York.

Instron Corporation. 1993. Instron Series 5500, Load Frams and Instron Merlin Software. Canton. Massachuseetts.

Kertesz, Z.I.I. 1951. The Pectin Substance. Inter Science Pub., Inc. N.Y.

Kringe, E. 1993. Pectin. In Encyclopedia of Food Science and Technology. Vol 5. ed . Y. H. Hui, pp. 3487-3490. U.S.A. A. Wiley-Interscience Publication John Wiley&Son, Inc.

Matias, E.C., Sousa, I.M.N. and Laureano, O.1994. Hypocaloric jams for grape juice. In: Development in food engineering part 1. ed. T.Yano.,R.Matsuno. and K. Nakamura. pp. 102-104. Chap&Hall Great Britain by Hartnolls Ltd.,Bodmin,Cornwell.

Miller, G.A.1991.Sucralose. In: Alternative sweeteners , ed.L.O.Nabors and R.C.Gelardi, pp.173-195. Marcel Dekker, Inc.,New York.

Minolta Camera. Co, Ltd, 1991. Chroma Meter CR-310. Instruction Manual Chuoku, Osaka, Japan.

Montijino. H, Tomas. B. F and Borrego.F. 1998. Technology properties and regulatory status of high intensity sweeteners in the European Union. Food Science and Technology International. 4(1). 5-16.

Nabors,L.O. and Gelardi, R.C.1991.Alternative Sweeteners an Overview. In: Alternative sweeteners, ed.L.O.Nabors and R.C.Gelardi, pp.39-70. Marcel Dekker, Inc.,New York.

Nawawi. E. S, Heikal. Y.1995. Factors affecting the production of low-ester pectin gel. Carbohydrate Polymer. 26(3). 189-193.

Nuengchamnong. N. 1998. Simultaneous analysis of some food additives by high performance liquild chromatography after samples pretreatment using dialysis. Thesis. Chemistry. Chiangmai university.pp. 24-24.

Oakenfull, D. G. 1991. The Chemistry of High-methoxyl pectin. In: The Chemistry and technology of pectin. ed . Walter, R. H., Cornell university Geneva. Newyork. pp. 87-106.

Pilgrim, G. W., Walter, R. H. and Oakenfull, D. G., 1991. Jam, jellies and preserves, In: The chemistry and technology of pectin. ed . Walter, R. H., Cornell university Geneva. Newyork. pp. 24-49.

Rolin.C. and Vries, J.D.1990. Pectin. In: Food Gel , ed. P. Harris. pp. 79-119. Great Britain by Galliard Ltd. Great Yarmouth.

Sime, W. J., 1990. Alginate. In: Food Gel , ed . P. Harris. pp. 79-119. Great Britain by Galliard Ltd. Great Yarmouth.

Somogyi, L. P., Barrett, D. M. and Hui, Y. H., 1996. Grape juice: Factors that influence quality. In: Processing fruits. Science and technology Major Processed Product. 57(2). 218-225.

Sousa. IMN, Matias. E. C and Laureano. O. 1997, The texture of low calorie grape juice jelly. Food Research and Technology. 205(2). 140-142.

Stanley, N.F.1990. Carrageenans. In: Food Gel , ed. P. Harris. pp. 79-119. Great Britain by Galliard Ltd. Great Yarmouth.

Sunyer, F. X. 1993. Effect of diet composition on energy intake. In: Low-calorie foods handbook. ed. Aaron, M. A., Marcel Dekker, Inc. Newyork. pp. 425-437.

The Internation Food Information Council Foundation,1998, Food insight media guide on food safty and nutrition, IFIC Foundation, Washington, D.C.

ภาคผนวก

คณะอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ภาคผนวก ก

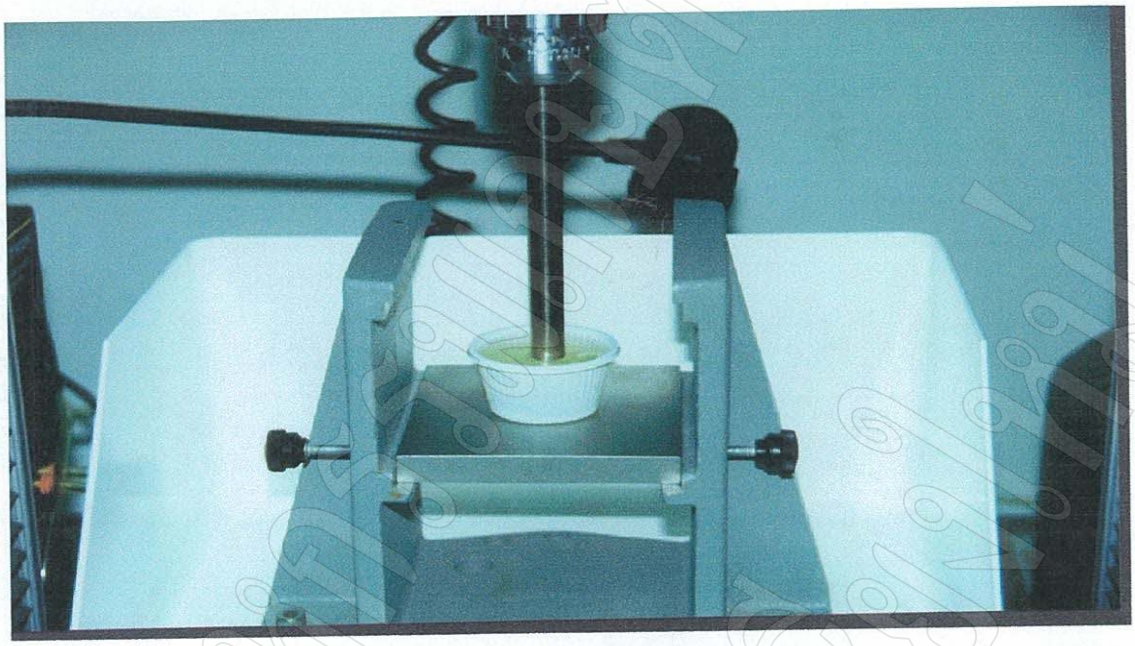
รูปภาพประกอบการทำแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รูปภาพประกอบการทำแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

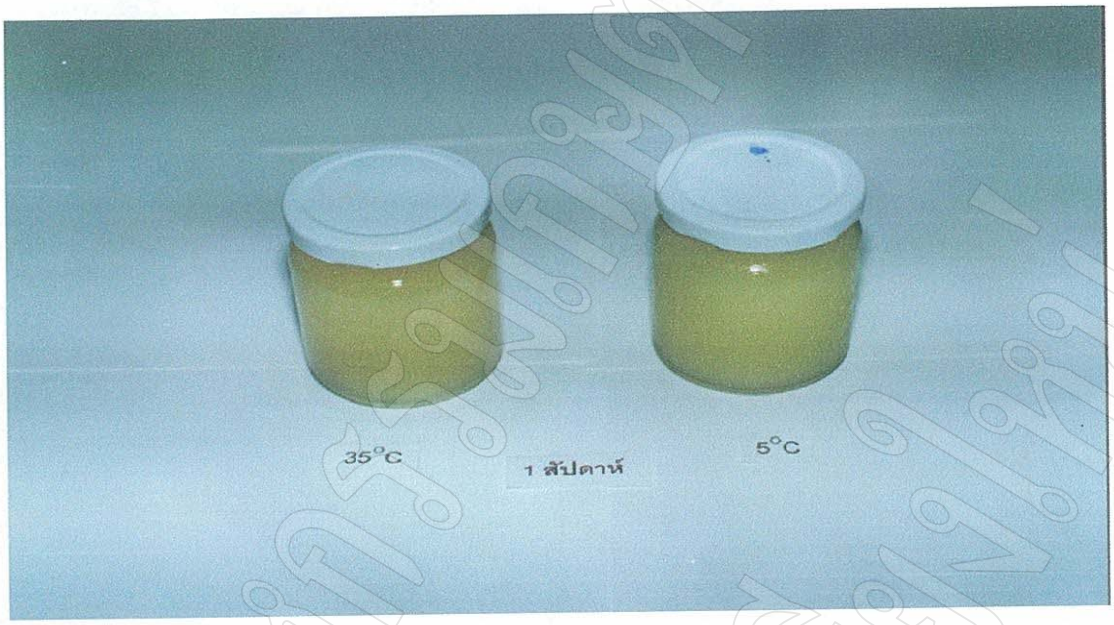
ภาพที่ ก-1 เปรียบเทียบเจลมาตรฐานกับเจลที่ทำจากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำและคาร์ราจีแนน

ภาพที่ ก-2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron sereis 5500)



ภาพที่ ก-3 การวัดเนื้อสัมผัสเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron sereis 5500)

ภาพที่ ก-4 แยมสับปะรดที่ทำจากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำและคาร์ราจีแนน



ภาพที่ ก-5 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ภาพที่ ก-6 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ภาพที่ ก-7 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ภาพที่ ก-8 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ภาพที่ ก-9 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ภาพที่ ก-10 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ภาพที่ ก-11 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ภาพที่ ก-12 ผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ข

แบบสอบถาม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

แบบทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ : แยมสับปะรดพลังงานต่ำ

กรุณากรอกแบบสอบถามให้ตรงกับความต้องการของท่านมากที่สุดโดย...

1. ระบุหัวข้อ" ลักษณะของผลิตภัณฑ์ " ที่ท่านคิดว่าสำคัญลงไปในแต่ละหัวข้อ
2. กำหนดเครื่องหมาย x ลงบนสเกลในตำแหน่งที่เห็นว่า เป็นลักษณะที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ที่ควรจะเป็นในแง่ของการปฏิบัติจริง
3. กำหนดเครื่องหมาย I ลงบนสเกลในตำแหน่งที่เห็นว่า เป็นลักษณะที่ดีที่สุดที่ควรจะเป็นของผลิตภัณฑ์ในอุดมคติ

1. ลักษณะปรากฏ

.....

.....

.....

.....

2. ลักษณะเนื้อสัมผัส

.....

.....

.....

.....

3. กลิ่นและรสชาติ

.....

.....

.....

.....

.....

4. ลักษณะโดยรวม

.....

.....

แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

ชื่อผลิตภัณฑ์ :- **แยมพลังงานต่ำ**

ชื่อผู้ทดสอบชิม.....วันที่.....

คำชี้แจง :- กรุณากำหนดเครื่องหมาย X ณ.จุดที่ตรงกับความรู้สึกของท่านบนสเกล ของตัวอย่างตามรหัสที่กำหนดให้

ลักษณะเนื้อสัมผัส เจลรหัส.....

1. การ spread

เป็นก้อน ——— กระจายดี

2. ความแข็งของเจลที่เหมาะสม

เจลอ่อนมาก ——— เจลแข็งมาก

3. ความหนืด

น้อย ——— มาก

4. การยอมรับรวม

ไม่ยอมรับ ——— ยอมรับมาก

ลักษณะเนื้อสัมผัส เจลรหัส.....

1. การ spread

เป็นก้อน ——— กระจายดี

2. ความแข็งของเจลที่เหมาะสม

เจลอ่อนมาก ——— เจลแข็งมาก

3. ความหนืด

น้อย ——— มาก

4. การยอมรับรวม

ไม่ยอมรับ ——— ยอมรับมาก

ขอขอบคุณทุกท่านที่ได้เสียสละเวลา และให้ความร่วมมืออย่างเต็มที่ในการทดสอบครั้งนี้

ทดสอบผลิตภัณฑ์

ชื่อผลิตภัณฑ์ :- **แยมสับปะรดพลังงานต่ำ**

ชื่อผู้ทดสอบชิม.....วันที่.....

คำชี้แจง :- กรุณากำหนดเครื่องหมาย X ลงบนสเกลในตำแหน่งที่เห็นว่า เป็นลักษณะของตัวอย่างแยมสับปะรดพลังงานต่ำที่เป็น

ลักษณะปรากฏ

1. สี

เหลืองอ่อน ——— เหลืองเข้ม

2. การกระจายของชิ้นสับปะรด

น้อย ——— มาก

ลักษณะเนื้อสัมผัส

3. การ spread

เป็นก้อน ——— กระจายดี

4. ความแข็งของเจลที่เหมาะสม

เจลอ่อนมาก ——— เจลแข็งมาก

5. ความหนืด

น้อย ——— มาก

กลิ่นและรสชาติ

6. กลิ่นสับปะรด

ไม่มีกลิ่น ——— กลิ่นแรงมาก

7. รสหวาน

ไม่หวาน ——— หวานมาก

8. รสเปรี้ยว

ไม่เปรี้ยว ——— เปรี้ยวมาก

ลักษณะการยอมรับรวม

9. การยอมรับรวม

ไม่ยอมรับ ——— ยอมรับมาก

ขอขอบคุณทุกท่านที่ได้เสียสละเวลา และให้ความร่วมมืออย่างเต็มที่ในการทดสอบครั้งนี้

การทดสอบสร้างเค้าโครงรสชาติของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

จงเขียนคำที่ท่านอยากอธิบาย**รสชาติ**ของผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่ใช้แอสพาร์เทม และซอร์บิทอล์ เป็นสารให้ความหวาน และกำหนดเครื่องหมาย I ในที่ท่านคิดว่ารสชาตินั้น ๆ ของผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำควรจะเป็น

คำอธิบายรสชาติ

รสขม ---------- _____ ไม่มี
มาก

รสเปรี้ยว ---------- _____
น้อย มาก

---------- _____

---------- _____

---------- _____

---------- _____

---------- _____

---------- _____

ทดสอบผลิตภัณฑ์

ชื่อผลิตภัณฑ์ :- **แยมสับปะรดพลังงานต่ำ**

ชื่อผู้ทดสอบชิม.....วันที่.....

คำชี้แจง :- กรุณากำหนดเครื่องหมาย X ลงบนสเกลในตำแหน่งที่เห็นว่า เป็นลักษณะของตัวอย่างแยมสับปะรดพลังงานต่ำที่เป็น

ลักษณะปรากฏ

1. สี

เหลืองอ่อน ——— เหลืองเข้ม

2. การกระจายของชิ้นสับปะรด

น้อย ——— มาก

ลักษณะเนื้อสัมผัส

3. การ spread

เป็นก้อน ——— กระจายดี

4. ความแข็งของเจลที่เหมาะสม

เจลอ่อนมาก ——— เจลแข็งมาก

5. ความหนืด

น้อย ——— มาก

กลิ่นและรสชาติ

6. กลิ่นสับปะรด

ไม่มีกลิ่น ——— กลิ่นแรงมาก

7. รสหวาน

ไม่หวาน ——— หวานมาก

8. รสขม

มาก ——— ไม่มี

9. รสเย็นซ่า

น้อย ——— มาก

10. รสหวานติดลิ้น

มาก ——— ไม่มี

11. รสเปรี้ยว

ไม่เปรี้ยว ——— เปรี้ยวมาก

ลักษณะการยอมรับรวม

12. การยอมรับรวม

ไม่ยอมรับ ——— ยอมรับมาก

ขอขอบคุณทุกท่านที่ได้เสียสละเวลา และให้ความร่วมมืออย่างเต็มที่ในการทดสอบครั้งนี้

คำอธิบายลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

การทดสอบทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ ประกอบด้วยคุณลักษณะที่ใช้ในการพิจารณา และคำอธิบายประกอบการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ชิม มีดังนี้

1. **สี** (Colour)

พิจารณาสีของแยมสับปะรดซึ่งควรมีสีเหลืองอ่อนโดยธรรมชาติ

2. **การกระจายของสับปะรด** (Fruit spread)

มีการกระจายของชิ้นสับปะรดอย่างทั่วถึงในผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

3. **การกระจายของเจล** (Spread)

เจลสามารถกระจายบนแผ่นขนมปังได้อย่างทั่วถึง

4. **ความแข็งแรงของเจลที่เหมาะสม** (Strength)

เจลมีความแข็งที่เหมาะสม ไม่อ่อนตัวจนเหลวหรือแข็งตัวคล้ายวุ้นจนเกินไป

5. **ความหนืด** (Viscosity)

เจลมีความหนืดที่ไม่หนืดมากหรือเป็นของเหลวจนเกินไป

6. **กลิ่นสับปะรด** (Odour)

พิจารณากลิ่นสับปะรดในแยมสับปะรด ไม่ควรมีกลิ่นแปลกปลอมของสารปนเปื้อนอยู่

7. **รสหวาน** (Sweetness)

พิจารณารสหวานของผลิตภัณฑ์

8. **รสขม** (Bitterness)

พิจารณารสขมของผลิตภัณฑ์

9. **รสเย็นซ่า** (Cooling)

พิจารณารสเย็นซ่าของผลิตภัณฑ์

10. **รสหวานติดลิ้น** (Lingering sweetness)

พิจารณารสหวานติดลิ้นของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ควรมีรสหวานที่คงความรู้สึกหวานนานประมาณ 30 วินาที

11. **รสเปรี้ยว** (Sourness)

พิจารณารสเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์

12. **การยอมรับโดยรวม** (Overall acceptability)

เป็นการประเมินผลการยอมรับของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจากคุณลักษณะทั้ง 11 ลักษณะเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจต่อการยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา

- **การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ**

ค.1 การตรวจวัดค่าแรงกด

วิธีการ

นำตัวอย่างเจลหรือตัวอย่างแยมที่ใส่ในถ้วยพลาสติกขนาดปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการวัดหาค่าแรงกด 3-4 ซ้ำ ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron sereis 5500)

การวัดค่าแรงกด : ทำการเซ็ตอุปกรณ์ของเครื่องวัดเนื้อสัมผัส สำหรับวัดค่าแรงกด โดยตั้งค่า

Full scale load	เท่ากับ 100 นิวตัน
Crosshead speed	เท่ากับ 50 มิลลิเมตรต่อวินาที
ระยะทางในการกดลง	เท่ากับ 2 เซนติเมตร

วัดค่าแรงกดออกมาเป็นค่าของ puncture force peak load ในหน่วยของนิวตัน

<u>หมายเหตุ</u>: การวัดค่าแรงกดของตัวอย่างที่อยู่ในถ้วยพลาสติก โดยไม่ทำให้ตัวอย่างอยู่ในสภาพอิสระนั้น เพื่อต้องการเปรียบเทียบค่าแรงกดของทุกตัวอย่างในการทดลองได้

ค.2 การวัดสี

วิธีการ

นำตัวอย่างแยมใส่ในภาชนะสำหรับวัดสี วัดค่าสีด้วยเครื่อง Chroma meter ทำการวัด 3 ซ้ำ ก่อนทำการวัดทุกครั้งได้ทำการ standardization เครื่องวัดสีกับแผ่นสีขาวมาตรฐาน (white blank ; illuminant D65 10° ; Y = 94.10 , X = 0.3157 and Y = 0.3324) กับแผ่น Aperture ขนาด 50 มิลลิลิตร บันทึกผลเป็นค่า L , a* และ b*

ค่า L เป็นค่าของความสว่างและความมืด

ค่า a* เป็นค่าสีแดงและสีเขียว

ค่า b* เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน

- **การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี**

ค.3 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

นำตัวอย่างแยมหลังเสร็จสิ้นจากกระบวนการทำแยมแล้ว มาทำการวัดหาค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยเครื่อง hand refractometer มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ และใช้น้ำกลั่นปรับเครื่องให้อ่านค่าได้ 0 องศาบริกซ์ ก่อนทำการวัดตัวอย่างแยมทุกครั้ง

ค.4 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

ชั่งตัวอย่างแยมมา 20 กรัม เติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.01 และ 7.00 ตามลำดับ

ค.5 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดทั้งหมด

การเตรียมสาร

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล์ : เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร นำสารละลายด่างที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสารละลายกรดเกลือมาตรฐานความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล์

2. ฟีนอลฟ์ธาลีนอินดิเคเตอร์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ : ชั่งฟีนอลฟ์ธาลีน 0.1 กรัม ละลายในแอลกอฮอล์ ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนกระทั่งมีสีชมพูอ่อน

วิธีทำ

ชั่งตัวอย่างหนัก 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 90 กรัม เขย่าผสมให้เข้ากัน กรองผ่านกระดาษกรอง whatman เบอร์ 4 นำของเหลวที่กรองได้มา 10 มิลลิลิตร หยดฟีนอลฟ์ธาลีนอินดิเคเตอร์ลงไป 3 หยด จากนั้นไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน 0.1 นอร์มอล์ จนอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี มีจุดยุติเป็นสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐานที่ใช้ คำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก โดยคำนวณจาก ค่ามาตรฐานซึ่งกำหนดว่า 1 มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล์ ทำปฏิกริยาสมมูลย์พอดีกับกรดซิตริก 0.0070 กรัม ตามสูตร

$$\text{กรด} = \frac{(N)\,(V1)\,(E)\,(D) \times 100}{1000\,(V2)} \qquad \text{เปอร์เซ็นต์ (น. /น.)}$$

เมื่อ N = จำนวนนอร์มอลิตีของด่างที่ใช้ในการไตเตรท

V1 = ปริมาตรของด่างที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

V2 = ปริมาตรของตัวอย่างแยมเจือจางที่ใช้ (มิลลิลิตร)

E = น้ำหนักสมมูลย์ของกรดซิตริก (70)

D = จำนวนเท่าของแยมที่ถูกเจือจาง

ค.6 การหาปริมาณน้ำตาลด้วยวิธี Lane and Eynon

การเตรียมสาร

1. สารละลาย Carez I : ละลาย zinc acetate dihydrate ($Zn(CH_3COO)_2 2H_2O$) จำนวน 21.9 กรัม ในน้ำกลั่นที่มีกรดอะซิตริก 3 กรัม ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

2. สารละลาย Carez II : ละลาย potassium ferrocynide trihydrate ($K_4Fe(CN)_6\ 3H_2O$) จำนวน 10.6 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมตร

3. สารละลาย Fehling I : ละลาย copper sulphate pentahydrate ($CuSo_4.5H_2O$) จำนวน 34.639 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 500 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

4. สารละลาย Fehling II : ละลาย sodium hydroxide (NaOH) จำนวน 50 กรัม และ sodium potassium tartrate ($KNaC_4O_6\ 4H_2O$) จำนวน 173 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

การวิเคราะห์หาน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชั่น

ชั่งตัวอย่างจำนวน 10 กรัม เติมสารละลาย Carez I และ II ลงไปอย่างละ 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที แล้วกรอง เก็บสารละลายที่กรองได้ไว้ใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชั่น ซึ่งค่าที่ได้เป็นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีอยู่ในตัวอย่าง ที่ไม่รวมน้ำตาลซูโครส เพราะน้ำตาลซูโครสไม่ใช่น้ำตาลรีดิวซ์

preliminary titration

นำสารละลายที่กรองได้ใส่ในบิวเรตชนิดปลายงอที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาน้ำตาล ขนาด 50 มิลลิลิตร ไล่ฟองอากาศในบิเรตออกให้หมด โดยเฉพาะบริเวณที่ปลายแห่งแก้วงอ ปิเปตสารละลาย Mixed Fehling's Reagents มา 10 มิลลิลิตร (ใช้อย่างละ 5 มิลลิลิตร) ใส่ในฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมลูกแก้วเล็ก ๆ (glass beads) ลงไปด้วยเพื่อกันการล้นออกมาของสารละลาย นำไปต้มบนเตาบุนเซ่นจนเดือดจึงไตเตรทกับสารละลายน้ำตาลตัวอย่างจนสีน้ำเงินจางลง หยดสารละลายเมธิลีนบลูลงไป 1-2 หยด ไตเตรทจนสีฟ้าหายไป เหลือตะกอนสีส้มแดงของคิวปรัสออกไซด์ จดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้

Accurate titration

เมื่อเตรียมสารละลายตัวอย่างให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมในการไตเตรทแล้ว ต้องทำการไตเตรทซ้ำเช่นเดียวกับ preliminary titration โดยปิเปตสารละลาย Mixed Fehling's Reagents มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมลูกแก้วเล็ก ๆ ลงไปด้วย เติมสารละลายน้ำตาลจากบิวเรตลงไปในฟลาสก์ทันที โดยใช้ปริมาตรน้อยกว่าที่ใช้ในการทำ preliminary titration ประมาณ 1-2 มิลลิลิตร แล้วต้มให้เดือดทันทีบนเตาบุนเซ่น หยดสารละลายเมธิลีนบลูลงไป 1-2 หยด ไตเตรทจนสีฟ้าจางหายไปหมดเหลือแต่ตะกอนสีส้มแดงของคิวปรัสออกไซด์ จดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ ทำซ้ำ 2 ครั้ง นำไปเทียบหาปริมาณน้ำตาลในสารละลายตัวอย่างโดยใช้ตาราง ข.1 แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชั่น (D1)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังอินเวอร์ชั่น

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังอินเวอร์ชั่น ใช้สารละลายน้ำตาลเดิมที่เหลือจากการไตเตรทหาค่า D1 แล้ว โดยแบ่งมาจำนวนหนึ่งให้ทราบปริมาตรที่แน่นอนเพื่อใช้ประโยชน์ในการคำนวณตอนหลัง ในการทดลองนี้ใช้สารละลายน้ำตาล 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดเกลือเข้มข้นจำนวน 5 มิลลิลิตร นำไปอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นานประมาณ 10 นาที ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว แล้วปรับให้ส่วนผสมทั้งหมดเป็นกลางด้วยสารละลายด่าง แล้วนำไปปรับปริมาตรให้ครบ 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปใส่ในบิวเรตเพื่อไตเตรทกับสารละลาย Mixed Fehling's Reagents 10 มิลลิลิตร ทำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาค่า D1 จดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ ทำซ้ำ 2 ครั้ง นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่า D2 ซึ่งจะเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดภายหลังอินเวอร์ชั่น

เปอร์เซ็นต์น้ำตาลซูโครส (S) = เปอร์เซ็นต์ของผลต่าง (D1 – D2) x 0.95

เปอร์เซ็นต์น้ำตาลทั้งหมด = D1 + S

โดย S = น้ำตาลซูโครส (เปอร์เซ็นต์)

D1 = น้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดก่อนการอินเวอร์ชั่น (เปอร์เซ็นต์)

D2 = น้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดหลังการอินเวอร์ชั่น (เปอร์เซ็นต์)

ตาราง ค.1 Invert Sugar Table for 10 ml. Fehling's Solution

ml of sugar solution required	Solutions containing besides invert sugar: No sucrose		1 g sucrose per 100 ml		5 g sucrose per 100 ml		10 g sucrose per 100 ml		25 g sucrose per 100 ml	
	Invert sugar factor*	mg invert sugar per 100 ml	Invert sugar factor*	mg invert sugar per 100 ml	Invert sugar factor*	mg invert sugar per 100 ml	Invert sugar factor*	mg invert sugar per 100 ml	Invert sugar factor*	mg invert sugar per 100 ml
15	50·5	336	49·9	333	47·6	317	46·1	307	43·4	289
16	50·6	316	50·0	312	47·6	297	46·1	288	43·4	271
17	50·7	298	50·1	295	47·6	280	46·1	271	43·4	255
18	50·8	282	50·1	278	47·6	264	46·1	256	43·3	240
19	50·8	267	50·2	264	47·6	250	46·1	243	43·3	227
20	50·9	254·5	50·2	251·0	47·6	238·0	46·1	230·5	43·2	216
21	51·0	242·9	50·2	239·0	47·6	226·7	46·1	219·5	43·2	205
22	51·0	231·8	50·3	228·2	47·6	216·4	46·1	209·5	43·1	196
23	51·1	222·2	50·3	218·7	47·6	207·0	46·1	200·4	43·0	187
24	51·2	213·3	50·3	209·8	47·6	198·3	46·1	192·1	42·9	179
25	51·2	204·8	50·4	201·6	47·6	190·4	46·0	184·0	42·8	171
26	51·3	197·4	50·4	193·8	47·6	183·1	46·0	176·9	42·8	164
27	51·4	190·4	50·4	186·7	47·6	176·4	46·0	170·4	42·7	158
28	51·4	183·7	50·5	180·2	47·7	170·3	46·0	164·3	42·7	152
29	51·5	177·6	50·5	174·1	47·7	164·5	46·0	158·6	42·6	147
30	51·5	171·7	50·5	168·3	47·7	159·0	46·0	153·3	42·5	142
31	51·6	166·3	50·6	163·1	47·7	153·9	45·9	148·1	42·5	137
32	51·6	161·2	50·6	158·1	47·7	149·1	45·9	143·4	42·4	132
33	51·7	156·6	50·6	153·3	47·7	144·5	45·9	139·1	42·3	128
34	51·7	152·2	50·6	148·9	47·7	140·3	45·8	134·9	42·2	124
35	51·8	147·9	50·7	144·7	47·7	136·3	45·8	130·9	42·2	121
36	51·8	143·9	50·7	140·7	47·7	132·5	45·8	127·1	42·1	117
37	51·9	140·2	50·7	137·0	47·7	128·9	45·7	123·5	42·0	114
38	51·9	136·6	50·7	133·5	47·7	125·5	45·7	120·3	42·0	111
39	52·0	133·3	50·8	130·2	47·7	122·3	45·7	117·1	41·9	107
40	52·0	130·1	50·8	127·0	47·7	119·2	45·6	114·1	41·8	104
41	52·1	127·1	50·8	123·9	47·7	116·3	45·6	111·2	41·8	102
42	52·1	124·2	50·8	121·0	47·7	113·5	45·6	108·5	41·7	99
43	52·2	121·4	50·8	118·2	47·7	110·9	45·5	105·8	41·6	97
44	52·2	118·7	50·9	115·6	47·7	108·3	45·5	103·4	41·5	94
45	52·3	116·1	50·9	113·1	47·7	106·0	45·4	101·0	41·4	92
46	52·3	113·7	50·9	110·6	47·7	103·7	45·4	98·7	41·4	90
47	52·4	111·4	50·9	108·2	47·7	101·5	45·3	96·4	41·3	88
48	52·4	109·2	50·9	106·0	47·7	99·4	45·3	94·3	41·2	86
49	52·5	107·1	51·0	104·0	47·7	97·4	45·2	92·3	41·1	84
50	52·5	105·1	51·0	102·0	47·7	95·4	45·2	90·4	41·0	82

*mg of invert sugar corresponding to 10 ml of Fehling's solution.

- **การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์**

ค.7 การวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์

- สูตรเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อตรวจหาปริมาณแบคทีเรีย (Nutrient Agar)

beef extract	3	กรัม
เปปโตน (peptone)	5	กรัม
วุ้น (agar)	15	กรัม
น้ำกลั่น	1	ลิตร

ชั่งส่วนผสมต่าง ๆ ตามสูตร ละลายส่วนผสมให้เข้ากันโดยการใช้ความร้อน แล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

- สูตรเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อตรวจหาปริมาณเชื้อราและยีสต์ (Potato Dextrose Agar)

potato extract	4	กรัม
เด็กซ์โตรส (dextrose)	20	กรัม
วุ้น (agar)	15	กรัม
น้ำกลั่น	1	ลิตร

ชั่งส่วนผสมต่าง ๆ ตามสูตร ละลายส่วนผสมให้เข้ากันโดยการใช้ความร้อน แล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

การตรวจหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี pour plate

- ชั่งน้ำหนักอาหารตัวอย่างจำนวน 25 กรัม ใส่ในถุงแล้วเติมสารละลายเปปโตนความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ลงไป 225 มิลลิลิตร นำไปตีด้วยเครื่องตีตัวอย่างอาหาร (stomacher) นาน 1-2 นาที
- เจือจางอาหารโดยใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดอาหารเจือจางในถุง (10^{-1}) มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดที่มีสารละลายเปปโตน 9 มิลลิลิตร ถือเป็น 10^{-2} แล้วเจือจางต่อจนถึง 10^{-3}
- ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดอาหารเจือจางแต่ละตัวอย่างมาอย่างละ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ (pretri dish) ทำซ้ำอาหารเจือจางละ 2 จานต่อ 1 ตัวอย่าง

- เทอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอุณหภูมิประมาณ 45-50 องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อประมาณ 15 มิลลิลิตรต่อจาน
- เมื่ออาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส สำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient Agar และบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar เป็นเวลา 3-5 วัน แล้วนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้น รายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อกรัม

ค.8 การวิเคราะห์หาแบคทีเรียโคลิฟอร์ม

การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์

การเจือจางตัวอย่าง

- ชั่งน้ำหนักอาหารตัวอย่างจำนวน 25 กรัม ใส่ในถุงแล้วเติมสารละลายเปปโตนความเข้มข้น 0.1 เปอรเซ็นต์ ลงไป 225 มิลลิลิตร นำไปตีด้วยเครื่องตีอาหาร (stomacher) นาน 1-2 นาที
- เจือจางอาหารโดยใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดอาหารเจือจางในถุง (10^{-1}) มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดที่มีสารละลายเปปโตน 9 มิลลิลิตร ถือเป็น 10^{-2} แล้วเจือจางต่อจนถึง 10^{-3}

การตรวจนับจำนวนขั้นแรก (presumtive test)

1. ดูดตัวอย่างอาหารแต่ละความเจือจางใส่หลอดอาหารเหลวลอริล ซัลเฟต ทริพโทส – แอลเอสดี (Lauryl Sulphate Trytose broth, LST) ที่มีหลอดดักก๊าซอยู่ด้วย ความเจือจางละ 3 หลอด ๆ ละ 1 มิลลิลิตร
2. บ่มหลอดอาหารทั้งหมดที่อุณหภูมิ 37±1 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง
3. สังเกตการเกิดก๊าซในหลอดดักก๊าซในหลอดอาหารแต่ละหลอดหลังจากบ่มเชื้อไว้ 24 ชั่วโมง หากหลอดใดไม่เกิดก๊าซบ่มเชื้อต่ออีก 24 ชั่วโมง ตรวจผลเช่นเดียวกัน
4. บันทึกจำนวนหลอดที่เกิดก๊าซในแต่ละความเจือจาง นำไปเปิดตารางเอ็มพีเอ็น (most probable number) รายงานผลเป็นเอ็มพีเอ็นของแบคทีเรียโคลิฟอร์มขั้นแรกต่อกรัม

การตรวจนับจำนวนขั้นยืนยัน (confirmed test)

1. ถ่ายเชื้อจากหลอดที่เกิดก๊าซในขั้นแรกแต่ละหลอดลงในอาหารเหลวบริลเลียนต์กรีน แลกโทส ไบล์ (Brillient-Green Lactose Bile broth,BGLB) ที่มีหลอดดักก๊าซอยู่ด้วยหลอดต่อหลอด
2. บ่มหลอดอาหารไว้ที่อุณหภูมิ 37±1 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง
3. บันทึกผลหลอดที่เกิดก๊าซ นำไปเปิดตารางเอ็มพีเอ็น รายงานผลเป็นเอ็มพีเอ็นของแบคทีเรียโคลิฟอร์มขั้นยืนยันต่อกรัม

การตรวจนับฟีคัลโคลิฟอร์ม

1. ถ่ายเชื้อจากหลอดที่เกิดก๊าซในขั้นแรก (แอลเอสที) ลงในอาหารเหลวอีซี (EC broth) ที่มีหลอดดักก๊าซอยู่ด้วย หลอดต่อหลอด
2. บ่มหลอดอาหารอีซีไว้ที่อุณหภูมิ 45+1 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง
3. บันทึกผลจำนวนหลอดที่เกิดก๊าซในแต่ละความเจือจาง นำไปเปิดตารางเอ็มพีเอ็น
4. รายงานผลเป็นเอ็มพีเอ็นของฟีคัลโคลิฟอร์มต่อกรัม

ตาราง ค.2 ตารางเอ็มพีเอ็นสำหรับ 3 หลอด

จำนวนหลอดที่เกิดก๊าซ			เอ็มพีเอ็นต่อกรัมหรือมิลลิลิตร
1 : 10	1 : 100	1 : 1000	
0	0	0	<3
0	0	1	3
0	1	0	3
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	0	9
2	0	1	14
2	1	0	15
2	1	1	20
2	2	0	21
2	2	1	28
3	0	0	23
3	0	1	39
3	0	2	64
3	1	0	43
3	1	1	75
3	1	2	120
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210
3	3	0	240
3	3	1	400
3	3	2	1100
3	3	3	>2400

ภาคผนวก ง

วิธีวิเคราะห์เปกติน

ภาคผนวก ง

วิธีวิเคราะห์เปกติน

การวิเคราะห์หา equivalent weight

ชั่งผงเปกตินที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (0.5-1.0 กรัม) ละลายผงเปกตินด้วยน้ำกลั่นที่ไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว 100 มิลลิลิตร เติมโซเดียมคลอไรด์ลงไป 1 กรัม ใช้ฟีนอล์เรดเป็นอินดิเคเตอร์ นำไปไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน 0.1 นอร์มอล์ จนกระทั่งอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีเป็นสีชมพูเข้ม แล้วคำนวณหา equivalent weight ตามสูตร

$$\text{equivalent weight} = \frac{1000\ (S)}{(N)\ (V)}$$

เมื่อ S = น้ำหนักแห้งของเปกตินที่ใช้ (กรัม)

N = จำนวนนอร์มอลิตีของด่างที่ใช้ในการไตเตรท

V = ปริมาตรของด่างที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

การวิเคราะห์หาปริมาณเมธ็อกซิล (methoxy content)

สารละลายที่ผ่านการหา equivalent weight นำมาเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.25 นอร์มอล์ จำนวน 25 มิลลิลิตร ปิดปากขวดแก้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เติมสารละลายกรดเกลือเข้มข้น 0.25 นอร์มอล์ ลงไปอีก 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาไตเตรทต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน 0.1 นอร์มอล์ จนอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เมธ็อกซิลตามสูตร

$$\text{Meo (\%)} = \frac{(N)\,(V)\,(E) \times 100}{1000\,(S)}$$

เมื่อ N = จำนวนนอร์มอลิตีของด่างที่ใช้ในการไตเตรท

V = ปริมาตรของด่างที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

E = equivalent weight ของเมธ็อกซี เท่ากับ 31

S = น้ำหนักแห้งของเปกตินที่ใช้ (กรัม)

ดังนั้น

$$\text{Meo (\%)} = \frac{(N)\,(V) \times 3.1}{(S)}$$

ภาคผนวก จ

วิธีวิเคราะห์หาแอสพาร์เทมและซอร์บิทอล ด้วยวิธี LC

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์หาปริมาณสารให้ความหวานด้วยวิธี LC

จ.1 การวิเคราะห์หาปริมาณแอสพาร์เทมด้วยวิธี LC

สภาวะในการวิเคราะห์แอสพาร์เทม

- Mobile phase	0.025 M KH2PO4(pH 3.5) - MeOH 7:3
- Flow rate	1.0 มิลลิลิตรต่อนาที
- Detector	UV-Detector
- Attenuation	1.0
- Injection volume	5.0 ไมโครลิตร
- Column	Spherisorb Ods 2
- Wave length	220 นาโนเมตร

การเตรียม Mobile phase

เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.025 โมลาร์ ได้โดยชั่งโปแตส-เซียมไดไฮโรเจนฟอสเฟต 3.4023 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร และทำการไตเตรทด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก 5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้มีความเป็นกรด-ด่าง 3.5 แล้วทำการผสมสารละลายที่ได้กับเมธานอล์ ในอัตราส่วน 7:3 นำสารละลายที่เตรียมได้กรองผ่าน millipore membrane ขนาด 0.45 ไมครอน ทำการไล่ก๊าซด้วยเครื่อง ultrasonicator นาน 10 นาที

การเตรียมสารละลายแอสพาร์เทมมาตรฐาน

เตรียมสารละลายแอสพาร์เทมมาตรฐาน โดยให้มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.05-0.4 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง LC โดยฉีดสารละลายแอสพาร์เทมมาตรฐานปริมาณ 5 ไมโครลิตร

จ.2 การวิเคราะห์หาปริมาณซอร์บิทอล์ด้วยวิธี LC

สภาวะในการวิเคราะห์หาซอร์บิทอล์

- Mobile phase	น้ำกลั่นที่ผ่านการขจัดอิออนต่าง ๆ ออกแล้ว
- Flow rate	1 มิลลิลิตรต่อนาที
- Range ของ Refractive Index Detector	64
- Attenuation	6
- Chart Speed ของ Recorder	0.5 เซนติเมตรต่อนาที
- Column	SCR-101C
- อุณหภูมิคอลัมน์	80 องศาเซลเซียส
- Injection volumn	5.0 ไมโครลิตร

การเตรียมสารละลายมาตรฐานซอร์บิทอล์

เตรียมสารละลายซอร์บิทอล์มาตรฐานโดยให้มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.25 - 2.0 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง LC โดยฉีดสารละลายซอร์บิทอล์มาตรฐานปริมาณ 5 ไมโครลิตร

จ.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่างแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

นำตัวอย่างแยมสับปะรดมาทำการเจือจาง ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 นำส่วนที่ได้กรองผ่าน millipore membrane ขนาด 0.45 ไมครอน อีกครั้งแล้วจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง LC โดยฉีดสารละลายตัวอย่างแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำปริมาณ 5 ไมโครลิตร

ภาคผนวก ฉ

วิธีวิเคราะห์หาพลังงานของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์หาพลังงานของแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำ

การเตรียมสารมาตรฐาน

อบกรดเบนโซอิกที่ให้ค่าพลังงาน 26,454 จูลต่อกรัม หรือ 6.328 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วนำไปหาค่าพลังงานด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ เพื่อหาค่าคงที่ (ค่า C) จากสูตร

$$C = \frac{6.328 \times \text{Weight}}{\text{Division-Blank}}$$

เมื่อ C = ค่าพลังงานที่ได้ต่อกรัมต่อดิวิชั่น

Division = จำนวนช่องที่เครื่องบอมบ์แคลอรี่เคลื่อนที่ได้ของกรดเบนโซอิก

Blank = จำนวนช่องที่เครื่องบอมบ์แคลอรี่เคลื่อนที่ได้ของถ้วยเปล่า

Weight = น้ำหนักของกรดเบนโซอิกที่ใช้ (กรัม)

วิธีทำ

- ชั่งตัวอย่างแยมที่ผ่านการอบแห้งแบบแช่แข็ง นำมาหาค่าพลังงานด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์
- นำค่าจำนวนช่องที่เครื่องบอมบ์แคลอรี่เคลื่อนที่ได้ของแยมคูณด้วยน้ำหนักแยมและค่า C จะได้ค่าพลังงานในหน่วยกิโลแคลอรี่ต่อกรัม
- นำค่าพลังงานที่ได้คิดเทียบกับน้ำหนักแยมก่อนทำการอบแห้งแช่แข็ง แล้วคำนวณหาค่าพลังงานออกมาในหน่วย กิโลแคลอรี่ต่อแยม 100 กรัม