รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเจลเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุจากผลไม้ไทย ที่มีองค์ประกอบของสารพรีไบโอติกโดยใช้เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

Development of Healthy Gel Food Product for Elderly from Prebiotic Thai Fruit using Riceberry Rice Jelly as Prototype Product

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล	หัวหน้าโครงการวิจัย
ผศ.ดร.สันทัด วิเชียรโชติ	ผู้ร่วมวิจัย
ดร.อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ	ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2560A10802148
สัญญาเลขที่ 76/2560

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเจลเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุจากผลไม้ไทย ที่มีองค์ประกอบของสารพรีไบโอติกโดยใช้เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

Development of Healthy Gel Food Product for Elderly from Prebiotic Thai Fruit using Riceberry Rice Jelly as Prototype Product

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล[1] หัวหน้าโครงการวิจัย
ผศ.ดร.สันทัด วิเชียรโชติ[2] ผู้ร่วมวิจัย
ดร.อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ[3] ผู้ร่วมวิจัย

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[2]สถานวิจัยผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[3]สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สิงหาคม 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 76/2560 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวจตุพร ทองแดง และนางสาววนิชชา ศรีโชติ ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการเติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดในเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design แปรปริมาณการเติมอยู่ในช่วง 10%-20% ผลการทดลอง พบว่า เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส คะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส ความชอบด้านการกลืน และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบด้านการเคี้ยวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีการเติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดในปริมาณที่เท่ากัน คือ 11.5% เป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสมมากที่สุด จากการศึกษาผลของปริมาณของแคปปา-คาราจีแนนและเจลาตินต่อคุณภาพของเยลลี่ พบว่า เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีการใช้แคปปา-คาราจีแนน 1.5% w/w เพียงอย่างเดียวเป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสมมากที่สุด มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี มีความแข็งไม่น้อยหรือมากจนเกินไป โดยมีค่า Hardness ค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness เท่ากับ 2264.76 g. -181.58 g.sec และ 0.71 ตามลำดับ เยลลี่ที่พัฒนาได้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

Abstract

The effect of young coconut meat puree and pineapple juice addition to riceberry jelly product using central composite design was studied. The contents were varied between 10%–20%. The results showed that the riceberry jelly samples had significantly difference color value, texture characteristics, sensory attributes intensity score and liking score in terms of appearance, texture, swallow ease and overall liking ($p<0.05$), but liking score in terms of color, odor, taste and chewiness ease did not significantly difference ($p\geq0.05$). The most optimum treatment was adding 11.5% of both young coconut meat puree and pineapple juice. The effects of kappa-carrageenan and gelatin content on jelly product were studied. It was found that treatment using only 1.5% w/w kappa-carrageenan was the most appropriate treatment. It gave the good texture, performed neither too hard nor too soft. The value of Hardness, Adhesiveness and Cohesiveness were 2264.76 g. -181.58 g.sec and 0.71 respectively. The developed jelly stored at chilling temperature was safe for consumed during storage for 4 weeks.

สารบัญ

บทที่		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	ก
	บทคัดย่อ	ข
	Abstract	ค
	สารบัญ	ง
	สารบัญตาราง	จ
	สารบัญภาพ	ซ
1	บทนำ	1
2	การตรวจเอกสาร	4
3	วิธีดำเนินการทดลอง	27
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	36
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	85
	บรรณานุกรม	87
	ภาคผนวก	95
	ประวัตินักวิจัย	108

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	สูตรพื้นฐานการผลิตเยลลี่จากน้ำผลไม้	6
2-2	สูตรพื้นฐานการผลิตเยลลี่จากธัญพืช	6
2-3	ปริมาณสารอาหารที่ผู้สูงอายุควรกินใน 1 วัน	11
2-4	แนวทางการปรับอาหารให้เหมาะสมกับสภาพผู้สูงอายุ	15
2-5	คุณสมบัติทางโภชนาการของข้าวไรซ์เบอร์รี่	17
2-6	การใช้ตัวทาละลาย ปริมาณการสกัด และปริมาณโพลิแซคคาไรด์ของผลไม้ไทยในแต่ละส่วน	19
2-7	คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อมะพร้าว ต่อ 100 กรัม	21
2-8	คุณค่าทางโภชนาการของสับปะรด ต่อ 100 กรัม	22
3-1	ส่วนผสมเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรพื้นฐาน	28
3-2	สิ่งทดลองที่ได้จากการจัดแบบ CCD แบบหุ่นกาลังสองมาตรฐาน เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2)	29
3-3	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและปริมาณเจลาตินในการผลิตเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรด	33
4-1	สมการถดถอยแบบพหุระหว่างตัวแปรตามที่วิเคราะห์ (Y_1-Y_{20}) และตัวแปรต้นที่ศึกษา (X_{1-2})	37
4-2	ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของค่าสี b* (Y_3)	38
4-3	ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของค่า Cohesiveness (Y_6)	38
4-4	ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของคะแนนความเข้มสีม่วงแดง (Y_7)	39
4-5	ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของคะแนนความเข้มรสหวาน (Y_9)	39

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-6	ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของคะแนนความชอบด้านการเคี้ยว (Y_{18}).....	40
4-7	ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของคะแนนความชอบด้านการกลืน (Y_{19}).....	40
4-8	ค่าสี L* a* และ b* ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2).....	47
4-9	ค่า Hardness ค่า Adhesiveness และ ค่า Cohesiveness ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2).....	51
4-10	คะแนนความเข้มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2).....	53-54
4-11	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2).....	56-57
4-12	ส่วนผสมเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ของสิ่งทดลองที่ 1 เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2).....	58
4-13	ค่าสี L* a* และ b* ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและเจลาติน.....	61
4-14	ค่า Hardness ค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและเจลาติน.....	65
4-15	คะแนนความเข้มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและเจลาติน.....	68-69
4-16	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและเจลาติน.....	72-73
4-17	ส่วนผสมเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรที่เหมาะสมที่สุด.....	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-18	คุณภาพทางเคมีของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้และเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรพื้นฐาน.....	75
4-19	ค่าสี L* a* และ b* ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์.....	76
4-20	ค่า Hardness ค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์.....	78
4-21	ค่า TBARS ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์	80
4-22	คะแนนความเข้มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ตามระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์.....	81
4-23	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ตามระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์.....	83
4-24	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TC) ปริมาณยีสต์และรา (YM) ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์.....	84

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	กลไกการเกิจเจลของแคปปา-คาราจีแนน และไอโอต้า-คาราจีแนน.....	7
2-2	กลไกการเกิดเจลของเจลาติน.....	8
2-3	ลักษณะของข้าวไรซ์เบอร์รี่.....	16
3-1	ลักษณะพิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ในงานวิจัย.....	30
3-2	ลักษณะพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนที่ใช้ในงานวิจัย.....	30
4-1	กราฟพื้นผิวตอบสนองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อค่าสี b* (Y_3) ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่.....	43
4-2	กราฟพื้นผิวตอบสนองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อค่า Cohesiveness (Y_6) ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่.....	43
4-3	กราฟพื้นผิวตอบสนองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อคะแนนความเข้มสีม่วงแดง (Y_7) ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่	44
4-4	กราฟพื้นผิวตอบสนองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อคะแนนความเข้มรสหวาน (Y_9) ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่	44
4-5	กราฟพื้นผิวตอบสนองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อคะแนนความชอบด้านการเคี้ยว (Y_{18}) ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่.....	45
4-6	กราฟพื้นผิวตอบสนองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อคะแนนความชอบด้านการกลืน (Y_{19}) ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่.....	45
4-7	ลักษณะปรากฏของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2).....	48
4-8	ลักษณะปรากฏของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและเจลาติน.....	62
4-9	ลักษณะเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้.....	76
4-10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี L* a* และ b* กับระยะเวลาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้.....	77

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังจะเป็นสังคมผู้สูงอายุ (อายุ 60 ปีขึ้นไป) โดยในปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยมีผู้สูงอายุประมาณ 10 ล้านคน และมีการคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2564 ประเทศไทยจะกลายเป็นสังคมผู้สูงอายุอย่างสมบูรณ์ (complete aged society) เมื่อประชากรผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นถึง 20% และคาดว่าภายในปี พ.ศ.2567 ประเทศไทยจะกลายเป็นสังคมผู้สูงอายุระดับสุดยอด (super aged society) เมื่อประชากรผู้สูงอายุมีสัดส่วนถึง 28% ของประชากรทั้งหมด (บรรลุ ศิริพานิช, 2557) ผู้สูงอายุมักมีความเสี่ยงสูงขึ้นต่อการเป็นโรคเรื้อรังหรือโรคประจำตัว อันเกิดจากพฤติกรรมการรับประทานอาหาร การออกกำลังกาย หรือความเสื่อมถอยของสุขภาพ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2554) ด้วยความเสี่ยงดังกล่าว จึงทำให้ผู้สูงอายุมีความต้องการบริโภคอาหารเฉพาะวัยและอาหารเพื่อสุขภาพ (functional food) มากขึ้น และมีแนวโน้มเติบโตทางการตลาดอย่างต่อเนื่อง (สุรอรรถ ศุภจัตุรัส, 2554) โดยลักษณะพิเศษสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงอายุ คือ ผลิตภัณฑ์ต้องอยู่ในรูปแบบและเนื้อสัมผัสที่ง่ายต่อการเคี้ยวและกลืน (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2558) เนื่องจากในผู้สูงอายุมีการทำงานของต่อมน้ำลายที่ช้าลง ทำให้มีน้ำลายออกมาน้อยและมีฟันที่ไม่แข็งแรง ทำให้บดเคี้ยวอาหารได้ไม่ดีนัก ส่งผลให้กลืนอาหารค่อนข้างลำบาก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้มีการย่อยอาหารได้ช้าและดูดซึมอาหารได้ไม่ดี (นิสภา ศีตะปันย์, 2559; ดวงจงกล สุทธิเนียม, 2550)

อาหารที่ง่ายต่อการเคี้ยวและกลืนสำหรับผู้สูงอายุ อาจแบ่งเป็นอาหารประเภทของเหลว และอาหารประเภทเจล ซึ่งมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว (บุษกร ภู่แส, 2556; มลศิริ วิโรทัย, 2545) สำหรับอาหารประเภทเจล เป็นโครงสร้างของระบบคอลลอยด์ที่ไม่แสดงการไหล (no steady-state flow) เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยของเหลวและของแข็ง โดยมีของเหลวทำหน้าที่เป็นตัวกลางและของแข็งที่มีอยู่ในโครงสร้างทำหน้าที่ประสานกันเป็นร่างแห การเกิดโครงสร้างของเจลขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างแรงดึงดูดกับแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกันเอง และระหว่างอนุภาคคอลลอยด์และสารที่เป็นของเหลว (ปาริฉัตร หงสประภาส, 2545; Schmidt, 1981) นอกจากลักษณะพิเศษสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในด้านรูปแบบและเนื้อสัมผัสที่ง่ายต่อการเคี้ยวและกลืนแล้ว ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงอายุต้องคำนึงถึงความเหมาะสมด้านคุณค่าทางโภชนาการ และต้องเป็นที่ดึงดูดใจของผู้สูงอายุด้วย เพราะหากมีคุณค่าทางโภชนาการไม่เหมาะสมและไม่เป็นที่ดึงดูดใจ อาจมีผลให้ผู้สูงอายุได้รับสารอาหารที่ไม่ครบถ้วนและเพียงพอได้ (มลศิริ วิโรทัย, 2545)

งานวิจัยนี้มีแนวคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเจลสำหรับผู้สูงอายุ เพื่อให้สอดคล้องกับที่ประเทศไทยจะมีผู้สูงอายุจำนวนมากขึ้น ความต้องการอาหารที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุจึงมีความต้องการสูงขึ้น โดยการนำวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีศักยภาพด้านคุณประโยชน์ทางโภชนาการและจัดหาได้ภายในประเทศมาใช้ โดยผลิตอาหารประเภทเจลในรูปแบบเยลลี่ เลือกใช้วัตถุดิบข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวที่มีคุณประโยชน์มาก โดยเฉพาะเป็นแหล่งที่ดีของสารอาหารต่างๆ เช่น เบต้า-แคโรทีน (beta-carotene) แกมมาโอไรซานอล (gamma oryzanol) วิตามินอี สังกะสี และโฟเลต มีดัชนีน้ำตาลระดับต่ำถึงปานกลาง นอกจากนี้ยังมี

องค์ประกอบที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดี ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง ซึ่งเหมาะสมกับสารอาหารที่ผู้สูงอายุควรได้รับ รวมถึงมีรงควัตถุแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ที่ให้สีออกม่วงแดงสวยงามน่าบริโภค (พัชราภรณ์ รัตนธรรม และคณะ, 2556) ในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการและรสชาติ มีแนวคิดบูรณาการประโยชน์จากการใช้เนื้อผลไม้และน้ำผลไม้ร่วมด้วย โดยเลือกใช้เนื้อมะพร้าวอ่อน เนื่องจากมีกลิ่นรส รสชาติและเนื้อสัมผัสที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ รวมทั้งมีคุณประโยชน์ด้านคุณค่าทางโภชนาการ มีองค์ประกอบของสารที่มีสมบัติเป็นพรีไบโอติก (prebiotic) (Thammarutwasik et al., 2009) และเลือกใช้น้ำสับปะรด เนื่องจากมีกลิ่นรสและรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ รวมถึงมีองค์ประกอบของสารที่มีสมบัติเป็นพรีไบโอติก มีเส้นใยที่ละลายน้ำได้ (ไพโรจน์ วงศ์พุทธิสิน และคณะ,2555 และปฏิมา พรพจมาน, 2556)

ในการพัฒนาสูตรเยลลี่ ชนิดและปริมาณของสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) มีผลต่อคุณภาพของเยลลี่ที่ได้ (จุฑามาศ พีรพัชระ และคณะ, 2554) ในการผลิตเยลลี่มักใช้สารที่ทำให้เกิดเจลประเภทคาราจีแนน โดยมีรายงานว่าการใช้แคปปา-คาราจีแนน (k-carrageenan) ทำให้ได้เจลลักษณะนุ่มและยืดหยุ่น ได้ลักษณะเจลที่เอื้อต่อการเคี้ยวและกลืน แต่แคปปา-คาราจีแนนให้เจลที่มีลักษณะเปราะ แตกง่าย และมีโอกาสเกิดการแยกตัวของน้ำ (syneresis) ระหว่างการเก็บ (สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ และคณะ, 2554) อย่างไรก็ตามยังสามารถใช้สารที่ทำให้เกิดเจลได้อีกหลายชนิด เจลาติน เป็นสารที่ทำให้เกิดเจลชนิดหนึ่งที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพง มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ให้เจลลักษณะใส ยืดหยุ่น เนื้อสัมผัสนุ่มลื่น ทำให้ได้เจลที่ง่ายต่อการกลืน (สาโรจน์ รอดคืน, 2556 และสุขศรี แซ่ซือ, ม.ป.ป.) โดยภาพรวมงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ เพื่อให้สอดคล้องกับที่ประเทศไทยจะมีผู้สูงอายุจำนวนมากขึ้น ความต้องการอาหารที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุจึงมีความต้องการสูงขึ้น โดยการนำผลไม้ที่มีศักยภาพซึ่งสามารถปลูกได้ภายในประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเจลเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุจากผลไม้ไทยที่มีองค์ประกอบของสารพรีไบโอติกโดยใช้เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ซึ่งเป็นการบูรณาการคุณประโยชน์จากข้าวไรซ์เบอร์รี่และผลไม้ไว้ด้วยกัน

วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาผลของการเติมพิวเร่เนื้อผลไม้และน้ำผลไม้ต่อคุณภาพของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่
2) เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่
3) เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารเจลสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาได้
4) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา
5) เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้ให้ความสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ โดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเจลเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุจากผลไม้ไทยที่มีองค์ประกอบของสารพรีไบโอติกโดยใช้เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ โดยแบ่งงานเป็น 5 ตอน ดังนี้คือ **ตอนที่ 1 การศึกษาผลของการเติมพิวเร่เนื้อผลไม้และน้ำผลไม้ต่อคุณภาพของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่** ใน

ขั้นตอนนี้มีแนวคิดเติมพิวเร่เนื้อผลไม้และน้ำผลไม้เพิ่มลงไปในเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรพื้นฐาน สำหรับพิวเร่เนื้อผลไม้ที่เลือกใช้ ได้แก่ มะพร้าวอ่อน น้ำผลไม้ที่เลือกใช้ ได้แก่ น้ำสับปะรด **ตอนที่ 2 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่** ในขั้นตอนศึกษาการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ แคปปา-คาราจีแนน และเจลาติน โดยหาปริมาณที่เหมาะสมในการผลิต **ตอนที่ 3 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารเจลสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาได้** ด้านปริมาณใยอาหาร ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ **ตอนที่ 4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา** โดยบรรจุในภาชนะที่เลียนแบบการจำหน่ายจริง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น **ตอนที่ 5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน** จัดทำเอกสารเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้แก่ชุมชน รวมทั้งการนำเสนอผลงานผ่านการประชุมวิชาการหรือการตีพิมพ์ เพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างนักวิจัย

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

1. เยลลี่

เจล หมายถึง โครงสร้างของระบบคอลลอยด์ที่ไม่แสดงการไหล (no steady-state flow) เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยของเหลวและของแข็ง โดยมีของเหลวทำหน้าที่เป็นตัวกลางและของแข็งที่มีอยู่ในโครงสร้างทำหน้าที่ประสานกันเป็นร่างแห การเกิดโครงสร้างของเจลขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างแรงดึงดูดกับแรงผลัก ระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกันเอง และระหว่างอนุภาคคอลลอยด์และสารที่เป็นของเหลว (ปาริฉัตร หงสประภาส, 2545; Schmidt, 1981) โดยเยลลี่จัดเป็นอาหารเจลประเภทหนึ่ง จากการตรวจเอกสาร มีการให้ความหมายของเยลลี่ไว้ดังนี้

เยลลี่ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซึ่งทำมาจากน้ำผลไม้ที่ได้จากการคั้นหรือสกัดจากผลไม้สดหรือน้ำผลไม้ที่ผ่านกรรมวิธีหรือทำให้เข้มข้นหรือแช่แข็งผสมกับสารที่ให้ความหวานและทำให้มีความเหนียวพอเหมาะมีลักษณะเป็นเจลโปร่งแสง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2521)

เยลลี่ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำผลไม้ หรือน้ำผลไม้เข้มข้น กับสารที่ให้ความหวาน (sweetening agent) และสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) เช่น เจลาติน (gelatin) คาราจีแนน (carrageenan) นำมาให้ความร้อนเพื่อให้ส่วนผสมละลาย แล้วทิ้งไว้ให้เย็นจะมีลักษณะเป็นเจล (gel) โปร่งแสง เยลลี่ที่ดี ต้องมีลักษณะใสและมีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มแต่ไม่เหนียวจนหนืด มีความหยุ่นตัว และไม่เหลว ต้องแข็งพอที่จะคงรูปเดิมเมื่อตัดด้วยมีด (กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ, 2531)

เยลลี่ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้ ผัก ธัญชาติ หรือสมุนไพร มาคั้นหรือสกัดแล้วผสมกับสารให้ความหวานและสารที่ทำให้เกิดเจล เช่น เจลาติน คาราจีแนน วุ้น ในปริมาณที่เหมาะสมที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในลักษณะกึ่งแข็ง อาจผสมกรดผลไม้และส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ผลไม้ ผัก ธัญชาติ สมุนไพรเคี่ยวให้มีความข้นเหนียวพอเหมาะที่อุณหภูมิที่เหมาะสม อาจแต่งสีและกลิ่นรสด้วยก็ได้ บรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิดได้สนิท (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2547)

1.1 รูปแบบของเยลลี่

จุฑามาศ พีรพัชระ และคณะ (2554) กล่าวว่า สามารถแบ่งเยลลี่ได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

1) เยลลี่ชนิดเหลว ที่รับประทานเป็นอาหารว่าง (dessert jelly) เป็นเยลลี่ที่มีเนื้อสัมผัสนุ่มมีน้ำมาก ใช้ช้อนตักรับประทาน หรือใช้หลอดดูดได้ มักรับประทานแบบแช่เย็น เป็นของหวาน เป็นอาหารว่าง หรือหลังมื้ออาหาร อาจรับประทานกับไอศกรีม เยลลี่ประเภทนี้มีส่วนผสมของสารที่ทำให้เกิดเจล ได้แก่ คาราจีแนน ผงบุก มีการเติมน้ำตาล กรดซิตริก สีผสมอาหาร และสารปรุงแต่งกลิ่นรส (flavoring agent) ผลิตภัณฑ์มีทั้งรสหวานและรสเปรี้ยว ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่พบในท้องตลาด อาจเป็นผงเยลลี่ผสมสำเร็จรูปที่ผู้บริโภคนำมาผสมน้ำร้อนตามสัดส่วน แล้วแช่เย็นเพื่อให้เกิดเจล อีกรูปแบบหนึ่งคือ เยลลี่ที่พร้อมรับประทานบรรจุถ้วยในภาชนะที่ปิดผนึกสนิท

2) เยลลี่แห้ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการน้ำผลไม้ ผัก ธัญชาติ (cereal grain) หรือสมุนไพร มาคั้นหรือสกัดแล้วผสมกับสารให้ความหวาน (sweetener) และสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) เช่น เจลาติน คาราจีแนน วุ้นในปริมาณที่เหมาะสมที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ใน

ลักษณะแห้งและเหนียว อาจผสมกรดผลไม้และส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ผลไม้ ผัก ธัญชาติ สมุนไพร เคี่ยวให้มีความข้นเหนียวพอเหมาะที่อุณหภูมิที่เหมาะสม อาจแต่งสีและกลิ่นรส เทใส่พิมพ์หรือตัดเป็นชิ้นหลังจากทิ้งไว้ให้เย็น แล้วอาจคลุกด้วยน้ำตาลหรือแป้งบริโภค รับประทานเป็นขนมหวาน (confectionery jelly) เยลลี่ชนิดนี้ มีเนื้อเหนียวหนึบแห้งไม่ติดมือ

1.2 ส่วนประกอบของเยลลี่

1) สารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) การผลิตเยลลี่สำเร็จรูปในเชิงอุตสาหกรรมมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ กัม (gums) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล ชนิดของกัมที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ คาราจีแนน เจลาติน และเพกติน

2) สารให้ความหวาน (sweetener) เยลลี่ส่วนใหญ่ใช้น้ำตาลซูโครสเป็นสารที่ให้ความหวาน ช่วยให้เพกติน มีความสามารถในการช่วยสร้างพันธะไฮโดรเจนภายในโครงสร้างของเจล ทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นร่างแหเพิ่มขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างของเจลแข็งแรงขึ้น ซูโครสจะแทรกเข้าไปอยู่ร่างแหของเจลมากขึ้น จึงช่วยเร่งให้เกิดกลไกการเกิดเจลเร็วขึ้นส่งผลให้มีอุณหภูมิในการเกิดเจลสูงขึ้น และยังช่วยให้มีอุณหภูมิในการเกิดเจลสูงขึ้น ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณเพกติน และความเป็นกรดด่างของเนื้อหรือน้ำผลไม้ชนิดนั้นๆ ถ้าปริมาณเพกตินมาก ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ต่อน้ำหนักของผลไม้ก็มากด้วย ถ้าผลไม้มีความเป็นกรดสูง (เปรี้ยว) ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ต่อน้ำหนักผลไม้หรือน้ำผลไม้ต่ำ ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ไม่ควรสูงกว่า 70 °Brix นอกจากน้ำตาลซูโครส สารให้ความหวานอื่น ที่อนุญาตให้ใช้ในเยลลี่ ตาม มอก. 236-2521 มีหลายชนิด ได้แก่ น้ำตาลอินเวิร์ต (invert sugar) อินเวิร์ตไซรัป (invert syrup) เดกซโตรส (dextrose) ฟรุกโตสไซรัป (fructose syrup) กลูโคสไซรัป (glucose syrup) และดรายกลูโคสไซรัป (dried glucose syrup)

3) สารควบคุมความเป็นกรดและควบคุมความเป็นกรดด่าง (acidifying และ pH regulating agents) มีความสำคัญต่อรสของผลิตภัณฑ์และช่วยให้เจลอยู่ตัวมากขึ้น ถ้ามีกรดมากเกินไปจะทำลายความอยู่ตัวของเจลได้ โดยปกติความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของเยลลี่อยู่ ระหว่าง pH 2.8-3.5 ส่วน pH ที่เหมาะสมที่สุดคือ pH 3.2 ในการปรับความเป็นกรด-ด่าง ของเยลลี่ ตาม มอก.263-2521 ได้กำหนดสารที่ใช้เพิ่มและควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ได้แก่ กรดซิตริก (citric acid) กรดมาลิก (malic acid) กรดแลกติก (lactic acid) กรดฟูมาลิก (fumalic acid) และเกลือ โซเดียม โปตัสเซียมและแคลเซียมของกรดเหล่านี้ โซเดียมและโปตัสเซียมไบคาร์บอเนต

4) สี กลิ่นรส หรือน้ำผลไม้จะช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะน่ารับประทานเพิ่มขึ้น น้ำผลไม้ที่ใช้เป็นส่วนผสมในเยลลี่ต้องเป็นน้ำผลไม้แท้ หรือน้ำสกัดได้จากผลไม้ที่ผ่านการกรอง เพื่อให้ใสปราศจากชิ้นหรือเศษผลไม้ และอาจทำให้ข้นโดยการระเหยน้ำออก และน้ำผลไม้หรือน้ำสกัดจากผลไม้ที่ใช้ต้องไม่น้อยกว่า 20% ของน้ำหนัก

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและลักษณะที่ดีของเยลลี่ ได้แก่ ชนิดของน้ำตาลที่ใช้ ควรเป็นน้ำตาลทรายจากอ้อย เพราะไม่เกิดผลึก อุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่น้ำผลไม้ไม่ควรเกิน 100 องศาเซลเซียส เพราะจะส่งผลให้สารที่ทำให้เกิดเจลสลายตัว ส่งผลให้เยลลี่ไม่แข็งตัว

จากการตรวจเอกสาร พบว่า สูตรการผลิตเยลลี่ประกอบด้วยสารที่ทำให้เกิดเจล สารให้ความหวาน สารควบคุมความเป็นกรดและควบคุมความเป็นกรดด่าง สี และกลิ่นรส ทั้งนี้น้ำผลไม้อาจใช้ในลักษณะน้ำคั้นหรือน้ำผลไม้เข้มข้นก็ได้ ตัวอย่างสูตรพื้นฐานทั่วไปในการผลิตเยลลี่จากน้ำผลไม้ แสดง

ดังตารางที่ 2-1 นอกจากนี้ยังมีการผลิตเยลลี่จากธัญชาติหรือข้าว พบว่า สูตรการผลิตประกอบด้วยธัญพืช 4 ชนิด ได้แก่ จมูกข้าวเจ้า ลูกเดือย ข้าวโพด และงาขาว น้ำตาลทราย แคปปา-คาราจีแนน ครีมเทียม และน้ำสะอาด แสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-1 สูตรพื้นฐานการผลิตเยลลี่จากน้ำผลไม้

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)
น้ำผลไม้	16.5
น้ำตาลทราย	7.5
แคปปา-คาราจีแนน	0.9
โพแทสเซียมซิเตรด	0.4
น้ำสะอาด	74.7

ที่มา : จุฑามาศ พีรพัชระ, 2554

ตารางที่ 2-2 สูตรพื้นฐานการผลิตเยลลี่จากธัญพืช

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)
ธัญพืช	18.0
น้ำตาลทราย	6.0
แคปปา-คาราจีแนน	1.0
ครีมเทียม	1.0
น้ำสะอาด	74.0

ที่มา : กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา และนัทมน พุฒดวง, 2559

2. สารที่ทำให้เกิดเจล

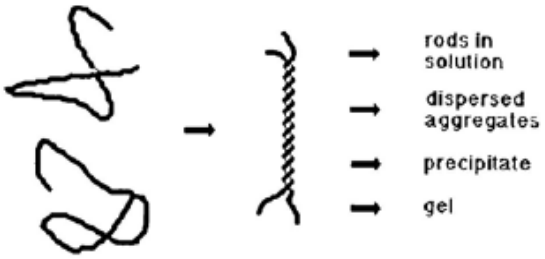
สารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ที่สามารถจับกับน้ำได้ โดยเมื่อนำมาละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำร้อน จะให้สารละลายที่ได้มีความหนืดสูงหรือให้เนื้อสัมผัสกลายเป็นเจลเมื่อทิ้งไว้ให้เย็น ทางด้านอุตสาหกรรมอาหารมีการนำสารที่ทำให้เกิดเจลชนิดต่างๆ มาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารอยู่หลายชนิด เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น ความข้นหนืด และความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหาร ในการผลิตเยลลี่สำเร็จรูปในเชิงอุตสาหกรรมมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ กัม (gums) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล ชนิดของกัมที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ คาราจีแนน เจลาติน และวุ้น สำหรับโครงงานวิจัยนี้มีการใช้สารที่ทำให้เกิดเจลคือ แคปปา-คาราจีแนน และเจลาติน มีรายละเอียดดังนี้

2.1 แคปปา-คาราจีแนน

คาราจีแนน เป็นโพลิแซคคาไรด์ซัลเฟตที่สกัดจากสาหร่ายทะเลสีแดง แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ แคปปา (kappa, K) ไอโอต้า (iota, I) และแลมด้า (lamda, **λ**) คาราจีแนนทั้ง 3 ชนิด มีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลกาแลคโตสที่ถูกเอสเตอริไฟด้วยกรดซัลฟูริคที่ตำแหน่งและระดับแตกต่างกัน

สมบัติของคาราจีแนนจะขึ้นอยู่กับประจุลบของหมู่ซัลเฟตที่อยู่ในโมเลกุลเป็นสำคัญและยังแตกต่างกันในคาราจีแนนแต่ละชนิด คาราจีแนนละลายได้ดีและมีความคงตัวที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 7 ความคงตัวจะลดลงคาราจีแนนสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนได้

สำหรับกลไกการเกิดเจลของแคปปา-คาราจีแนน และไอโอต้า-คาราจีแนน มีดังนี้ เมื่อคาราจีแนนอยู่ในรูปสารละลายในน้ำจะมีโครงสร้างเป็น random coli ขณะเย็นตัวลงจะเกิดโครงสร้าง double helices แสดงดังภาพที่ 2-1 เมื่อปล่อยให้เย็นลงจะเกิดเป็นโครงสร้าง 3 มิติ โดยโพลิเมอร์แต่ละสายจะรวมตัวเข้ามาใกล้กัน และเกิดเป็น junction point ซึ่งเมื่อเกาะรวมกันมากขึ้นจะทำให้เกิดการแข็งตัวเป็นเจล ส่วนแลมด้า-คาราจีแนนไม่สามารถเกิดเจลได้



ภาพที่ 2-1 กลไกการเกิจเจลของแคปปา-คาราจีแนน และไอโอต้า-คาราจีแนน
ที่มา : Piculell, 1995

เจลที่เตรียมจากคาราจีแนนมีคุณสมบัติเปลี่ยนกลับไปมาได้ด้วยความร้อน (thermoreversible gel) และสามารถเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนได้ โดยแคปปา-คาราจีแนนให้เจลที่มีลักษณะเปราะ แตกง่าย และเกิดการแยกตัวของน้ำ (syneresis) การแยกตัวของน้ำจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา เป็นผลมาจากร่างแหโพลิเมอร์ในโครงสร้าง 3 มิติ ของเจลหดตัวเข้าใกล้กันมากขึ้นทำให้น้ำที่อยู่ในร่างแหถูบีบออกมาด้านนอกของเจล และไอโอต้า-คาราจีแนนให้เจลที่มีความยืดหยุ่นและไม่เกิดการแยกตัวของน้ำ สำหรับแลมด้า-คาราจีแนนไม่มีสมบัติในการเกิดเจล

การเติมโลหะอิออนจะมีผลต่อการเกิดเจล ในกรณีของแคปปา-คาราจีแนน เมื่อเติมโปแตสเซียมอิออนจะเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่น แต่ถ้าเติมแคลเซียมอิออนจะเกิดเจลที่มีเนื้อแข็งทำให้คงรูปทรงได้ง่าย ซึ่งตรงกันข้ามกับไอโอต้า-คาราจีแนน เมื่อเติมแคลเซียมอิออนจะเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่น เป็นต้น

2.2 เจลาติน

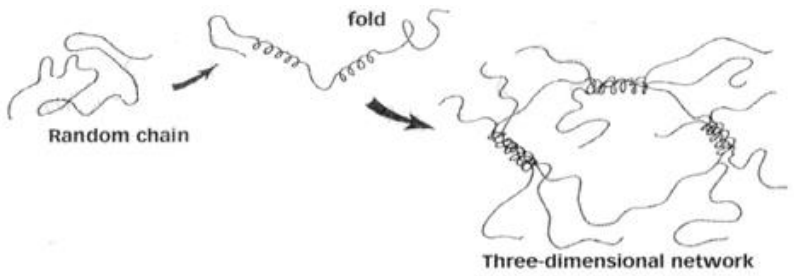
เจลาตินเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลประเภทโปรตีน ได้มาจากการสลายคอลลาเจนของเนื้อเยื่อในหนัง เอ็น และกระดูก โดยการใช้กรดหรือด่าง และสกัดด้วยน้ำร้อน สำหรับวัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตเจลาตินในระดับอุตสาหกรรมนั้น มักใช้กระดูก และหนัง จากโค กระบือ และสุกร เนื่องจากจะให้เจลาตินที่มีคุณภาพดี ส่วนการผลิตเจลาตินจากปลานั้น ไม่ค่อยมีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

มากนักเนื่องจากเจลาตินปลามีอุณหภูมิในการหลอมเหลวและให้ค่าความแข็งของเจลที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งปัญหาดังกล่าวอาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เจลาตินแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ เจลาตินชนิดเอและบี โดยจะแบ่งชนิดของเจลาตินตามการปรับสภาพที่เหมาะสมกับวัตถุดิบแต่ละชนิดสาหรับการสกัดเจลาติน เจลาตินที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดมีจุดไอโซอิเล็กทริกอยู่ในช่วง 7 ถึง 9 เจลาตินที่ได้เรียกว่า เจลาตินชนิดเอ (gelatin type-A) มีค่าความแข็งของเจล (bloom strength) อยู่ในช่วง 50-300 กรัม ตัวอย่างที่มักเตรียมด้วยวิธีนี้ได้แก่ หนังและกระดูกสุกร และเจลาตินที่ได้จากการปรับสภาพด้วยด่างมีจุดไอโซอิเล็กทริกอยู่ในช่วง 4 ถึง 5 เจลาตินที่ได้เรียกว่า เจลาตินชนิดบี (gelatin type-B) มีค่าความแข็งของเจลอยู่ในช่วง 50-200 กรัม ตัวอย่างที่มักเตรียมโดยวิธีนี้คือ หนังและกระดูกของโค และกระบือ

สีของเจลาตินควรจะไม่มีสีจนถึงสีสว่างอำพันหรือสีเหลืองจางๆในสารละลาย ซึ่งเจลาตินเกรดต่ำจะให้ลักษณะสีไม่โปร่งใสจนถึงขุ่น หรือมีสีเหลืองส้ม ความขุ่นของเจลาตินมักเกิดเนื่องจากใช้กระบวนการผลิตไม่ดี หรือมีวัตถุเจือปนอื่นๆ ผสมอยู่ด้วย เจลาตินละลายได้เพียงบางส่วนในน้ำเย็น การละลายเจลาตินต้องทำที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส ซึ่งหากสูงกว่านี้ จะทำให้โครงสร้างของเจลาตินถูกทำลาย ส่งผลต่อคุณภาพของเจล ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการละลายของเจลาตินคือ 50-55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ที่ความเข้มข้น 6.67% สารละลายเจลาตินมีความหนืดซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นที่ใช้

สำหรับกลไกการเกิดเจลของเจลาตินมีดังนี้ เริ่มเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายเจลาตินจะเปลี่ยนเป็นสารละลายคอลลอยด์ (colloidal solution) หรือซอล โมเลกุลของเจลาตินจะยืดตัวออกอยู่ในรูปของ random coil แต่เมื่อทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง โมเลกุลที่ยืดตัวออกแล้วจะเริ่มเกิดการขดตัวอย่างช้าๆ (fold) เมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึงจุดก่อเจลจะมีการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลมากขึ้น จึงเกิดการรวมตัวกันเป็นโครงสร้างร่างแหที่แข็งแรงขึ้น เชื่อมกันระหว่างโมเลกุลมากขึ้นด้วยพันธะไฮโดรเจน พันธะไอโอนิก หรือพันธะไฮโดรโฟบิก จนเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติ แสดงดังภาพที่ 2-2 ซึ่งในระยะนี้ทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลเกิดการจับตัวกันอย่างคงตัวและแข็งแรงมากขึ้นพันธะหลักที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมกันของโมเลกุลเจลาตินคือพันธะไฮโดรเจน และหากมีการให้ความร้อนอีกครั้งจะเกิดการหลอมเหลวเป็นสารละลายหรือโซล การเปลี่ยนเฟสระหว่างโซลและเจลนี้เรียกว่า Sol-gel transition



ภาพที่ 2-2 กลไกการเกิดเจลของเจลาติน
ที่มา : Schrieber and Gareis, 2007

3. อาหารสำหรับผู้สูงอายุ

ผู้สูงอายุ คือ ผู้ที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปเมื่อร่างกายเจริญเติบโตถึงขีดสุดแล้ว การเปลี่ยนแปลงภายในร่างกายจะเป็นไปในด้านเสื่อมสลาย มากกว่าการสร้างเสริมเมื่อเข้าสู่วัยสูงอายุ การทำงานของระบบประสาทจะด้อยลง ผู้สูงอายุมีปัญหาเรื่องนี้อย่างมาก อาจเป็นโรคฟันผุ หรือไม่มีฟันทั้งปาก ต่อมน้ำลายหลั่งสารน้ำลายน้อยลง มีผลทำให้การบดเคี้ยวอาหารภายในปากเป็นไปได้ไม่ดี เมื่ออาหารมาถึงกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กมีปัญหาการย่อยและการดูดซึม เพราะน้ำย่อยในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กมีน้อยลงอาหารที่ย่อยไม่ได้ เมื่อผ่านมาถึงลำไส้ใหญ่ก็จะเกิดการสะสมเกิดเชื้อแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ และปล่อยก๊าซออกมาทำให้ท้องอืดได้ การเคลื่อนไหวของลำไส้ก็มีน้อยกว่าวัยหนุ่มสาว ทำให้เกิดอาการท้องผูก อาหารเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต โดยเฉพาะผู้สูงอายุยังคงมีความต้องการพลังงานและสารอาหารที่มีคุณภาพสูงเพื่อการดำรงชีวิตอย่างมีคุณภาพ จึงควรกินอาหารให้ครบทั้ง 5 หมู่เพียงพอ และเหมาะสมกับความต้องการของร่างกาย

3.1 โภชนาการสำหรับผู้สูงอายุ

ภาวะโภชนาการเป็นปัจจัยที่มีผลต่อสุขภาพปัจจัยหนึ่ง ภาวะโภชนาการที่ดีจะทำให้ร่างกายแข็งแรง มีสุขภาพดี ในทางตรงกันข้ามภาวะโภชนาการไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดปัญหาสุขภาพต่างๆ ตามมาได้ ผู้สูงอายุจะมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของร่างกายในทางเสื่อม โดยที่เซลล์ของร่างกายมีการสลายมากกว่าการสร้าง ทำให้สมรรถภาพการทำงานของอวัยวะต่างๆ ลดลง นอกจากนี้ผู้สูงอายุส่วนใหญ่มีปัญหาทางด้านอารมณ์และสังคม ซึ่งมีผลกระทบต่อภาวะโภชนาการได้ สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อโภชนาการของผู้สูงอายุ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การทำหน้าที่ของการรับรสและการดมกลิ่นลดลง ในผู้สูงอายุต่อรับรสและ papilla ที่ลิ้นลดลง ปลายประสาทรับรสมีการเปลี่ยนแปลงของความไวในการรับรส การรับรสหวานจะสูญเสียก่อน รสเปรี้ยว เค็ม และขม จึงเป็นเหตุให้ผู้สูงอายุรับประทานอาหารรสจัดขึ้น หรือรับประทานอาหารไม่อร่อย และเบื่ออาหารนอกจากนี้ต่อมทำงานจะลดลง ทำให้เกิดภาวะขาดน้ำลาย (xerostomia) มีผลทำให้ความสามารถของการเคี้ยวและการกลืนลดลง ทำให้การทำหน้าที่รับกลิ่นลดลง ซึ่งการรับรู้ของกลิ่นจะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดอาการอยากอาหาร เมื่อการรับกลิ่นลดลงความอยากอาหารก็ลดลงด้วย นอกจากนี้ผู้สูงอายุส่วนใหญ่จะมีปัญหาฟันโยกรวมทั้งไม่มีฟัน ผู้สูงอายุบางรายต้องใส่ฟันปลอมทดแทนฟันที่หมดสภาพไป ปัญหาที่มักพบเสมอ คือ การใส่ฟันปลอมที่ไม่พอดีทำให้มีความยากลำบากในการเคี้ยวอาหาร มีอาการเจ็บส่งผลต่อการเลือกชนิดของอาหาร คือ หลีกเลี่ยงอาหารที่เคี้ยวยากทั้งที่เป็นผักสด เนื้อสัตว์ อาจงดรับประทานอาหารหรือรับประทานอาหารน้อยลง ทำให้มีโอกาสขาดวิตามินและเกลือแร่ได้ง่าย

2) การทำหน้าที่ของกระเพาะอาหารลดลง การเปลี่ยนแปลงที่พบในผู้สูงอายุ มีการหลั่งกรดไฮโดรคลอริคและเปปซินลดลง ทำให้ย่อยโปรตีนได้น้อยลง อาหารไม่ย่อย ร่วมกับความเป็นด่างในลำไส้เล็กส่วนต้นเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ของเกลือแร่ วิตามิน และโปรตีนลดลง การดูดซึมโปรตีนที่จับกับวิตามินบี 12 และโฟเลทลดลง มีผลทำให้ผู้สูงอายุขาดธาตุเหล็ก และวิตามินบี 12 ได้ง่าย

3) ประสิทธิภาพการเผาผลาญกลูโคสลดลง พบว่าระดับน้ำตาลในเลือดจะเพิ่มขึ้น 1.5 มก.ต่อ ดล. ต่ออายุที่เพิ่มขึ้นทุก 10 ปี ซึ่งเป็นผลมาจากตับอ่อนหลั่งอินซูลินน้อยลงและเนื้อเยื่อดื้อต่อการออกฤทธิ์ของอินซูลิน ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้น ผู้สูงอายุจึงมีโอกาสเป็นเบาหวานได้ง่าย

4) เนื้อเยื่อที่ปราศจากไขมันลดลง พบว่าสัดส่วนขององค์ประกอบเนื้อเยื่อ (body composition) มวลของกล้ามเนื้อไปเป็นมวลของไขมันที่กระจายตัวบริเวณลำตัวมากขึ้น ผู้สูงอายุจะดูผอมลง แต่น้ำหนักจะไม่ลดลง

5) ความต้องการพลังงานขั้นพื้นฐาน (basal energy expenditure) ลดลงพบว่า ความต้องการพลังงานขั้นพื้นฐานจะลดลงประมาณ 5% ทุก 10 ปี นับจากอายุ 20 ปีเป็นต้นไป ร่วมกับการที่ผู้สูงอายุทำกิจกรรมต่างๆ ลดลงซึ่งการที่ร่างกายมีการเคลื่อนไหวน้อย ทำให้การใช้สารอาหารในร่างกายในทางที่เป็นประโยชน์น้อยลง

6) ปัญหาทางด้านจิตใจ ผู้สูงอายุส่วนใหญ่มักประสบกับความเหงาจากการที่เกษียณจากงาน คู่ครองเสียชีวิต หรือถูกลูกหลานทอดทิ้งให้อยู่ตามลำพัง ทำให้ผู้สูงอายุขาดความมั่นคงทางจิตใจ ว้าเหว่ เบื่อหน่าย และท้อแท้ในชีวิต ซึ่งปัญหาทางจิตใจนี้เป็นสาเหตุร่วมที่ทำให้เบื่ออาหาร แต่ในทางตรงกันข้ามผู้สูงอายุบางคนอาจรับประทานอาหารมากเป็นเครื่องชดเชยอารมณ์ทำให้อ้วน มีผลทำให้อวัยวะต่างๆ เสื่อมเร็วขึ้น เนื่องจากต้องทำงานหนักมากขึ้น

3.2 ความต้องการสารอาหารในผู้สูงอายุ

ความต้องการสารอาหารในผู้สูงอายุขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นผลจากกระบวนการชราหรือสถานะสุขภาพ ผู้สูงอายุที่มีการเจ็บป่วย ย่อมมีความต้องการสารอาหารมากกว่าผู้สูงอายุทั่วไปที่ต้องการสารอาหารเพียงเพื่อการดำรงสุขภาพและป้องกันโรคเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงด้านสรีรวิทยาของผู้สูงอายุ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความต้องการสารอาหารในผู้สูงอายุ ได้แก่ การลดลงของมวลร่างกายและโปรตีน การลดลงของปริมาณน้ำ การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนไขมัน และการสูญเสียมวลกระดูก ดังนั้นจึงควรส่งเสริมให้ผู้สูงอายุได้รับสารอาหารที่เพียงพอ ปริมาณสารอาหารที่ผู้สูงอายุควรกินใน 1 วัน แสดงดังตารางที่ 2-3 ทั้งนี้สามารถสรุปความต้องการสารอาหารในผู้สูงอายุได้ดังนี้

1) ความต้องการพลังงานในผู้สูงอายุ ผู้สูงอายุมีความต้องการพลังงานลดลงเป็นลำดับ เนื่องจากการทำงานของอวัยวะต่างๆ ลดลง การเผาผลาญในร่างกายลดลง การเคลื่อนไหวช้าลง และการทำกิจกรรมต่างๆ ลดลง ข้อกำหนดความต้องการสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันของผู้สูงอายุ ได้กำหนดให้ผู้สูงอายุชายและหญิง ได้รับพลังงานจากอาหารไม่เกินวันละ 2,250 และ 1,850 กิโลแคลอรี่ และพลังงานที่ผู้สูงอายุได้รับไม่ควรน้อยกว่า 1,200 กิโลแคลอรี่ต่อวัน เนื่องจากจะทำให้ได้รับสารอาหารไม่พอ ผู้สูงอายุที่มีการเจ็บป่วยมีความต้องการสารอาหารมากกว่าผู้สูงอายุทั่วไปที่ต้องการสารอาหารเพียงเพื่อการดำรงสุขภาพและการป้องกัน

2) ความต้องการโปรตีน ผู้สูงอายุมีความต้องการโปรตีนหรือกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายมากกว่าวัยหนุ่มสาว เพื่อซ่อมแซมและรักษาส่วนที่สึกหรอของร่างกาย โดยทั่วไปผู้สูงอายุควรได้รับโปรตีนประมาณ 1 กรัม ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน สำหรับผู้สูงอายุที่มีโรคเรื้อรัง และมีภาวะทุพพลภาพ จะมีความต้องการโปรตีนเพิ่มมากกว่าปกติ เพื่อที่จะดำรงสถานะสมดุลของไนโตรเจนในร่างกาย โปรตีนที่รับประทานควรเป็นโปรตีนมีคุณภาพสูง (high biological value) ประมาณ

27–50% ควรเป็นโปรตีนสัตว์และมีไขมันต่ำ เช่น เนื้อล้วนไม่ติดมัน ปลา ไข่ นม ถ้าเป็นเนื้อสัตว์อาจจะต้องต้มตุ๋นให้เปื่อยหรือสับให้เคี้ยวง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้สูงอายุที่มีปัญหาการเคี้ยวและการกลืน ส่วนโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพดีสำหรับผู้สูงอายุ ได้แก่ เต้าหู้ และผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง

ตารางที่ 2-3 ปริมาณสารอาหารที่ผู้สูงอายุควรกินใน 1 วัน

อาหาร	ปริมาณต่อวัน	ข้อเสนอแนะ
เนื้อสัตว์	4-5 ช้อนโต๊ะ	ควรกินปลาเป็นประจำ
นมสด	240 มิลลิลิตร	นมพร่องมันเนย 1 แก้วทุกวัน
ไข่	3-4 ฟองต่อสัปดาห์	แต่ถ้ามีปัญหาด้านไขมัน และคอเลสเตอลรอลในเลือดสูง ควรเลือกบริโภคเฉพาะไข่ขาว
ถั่วและผลิตภัณฑ์	รับประทานเป็นประจำ	ใช้ประกอบเป็นอาหารคาวหวาน
ข้าวและอาหารประเภทแป้งต่างๆ	6-8 ทัพพี	ควรเลือกข้าวหรืออาหารประเภทแป้งอื่นๆ ที่ผ่านการขัดสีน้อย
ผักใบเขียวสด หรือต้ม	2 ทัพพี	ตำลึง คะน้า ผักบุ้ง ฯลฯ
ผักสีเหลือง, ส้ม	1 ทัพพี	ฟักทอง แครอท มะเขือเทศ ฯลฯ
ผลไม้ หรือผลไม้สุก	มื้อละ 1 ส่วน	หลีกเลี่ยงผลไม้รสหวานจัด เช่น ทุเรียน ขนุน ลำไย องุ่น ฯลฯ
ไขมัน หรือน้ำมันพืช	2 ช้อนโต๊ะ	หลีกเลี่ยงไขมันสัตว์ เนย
น้ำดื่ม	6-8 แก้ว	น้ำบริสุทธิ์ หรือน้ำผลไม้คั้นสดได้บ้าง ควรหลีกเลี่ยง น้ำอัดลม ชา กาแฟ

ที่มา : ฝ่ายโภชนาการ โรงพยาบาลศิริราช, 2555

3) ความต้องการไขมัน ไขมันมีความสำคัญสำหรับร่างกาย คือ เป็นแหล่งให้พลังงานให้กรดไขมันจำเป็น และให้วิตามินที่ละลายในไขมัน ผู้สูงอายุมักชอบรับประทานอาหารที่มีไขมันเนื่องจากไขมันในอาหารเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้อาหารนุ่ม ลื่น อร่อยน่ารับประทานร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของเส้นเลือดตามอายุ ทำให้ผู้สูงอายุมีโอกาสมีภาวะไขมันในเลือดสูงได้ง่าย ทำให้เกิดการเสี่ยงต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด ดังนั้นจึงควรแนะนำให้ผู้สูงอายุลดการรับประทานอาหารที่มีคอเลสเตอรอล และกรดไขมันอิ่มตัวจำกัดไขมันไม่ควรเกิน 30% ของพลังงานทั้งหมด และกรดไขมันอิ่มตัวไม่เกิน 10% ของพลังงานทั้งหมด รับประทานไขมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวอย่างน้อย 10% ของปริมาณไขมันที่บริโภค เพื่อที่จะไม่ขาดกรดไขมันที่จำเป็น ไขมันอิ่มตัวส่วนใหญ่พบมากในอาหารผลิตภัณฑ์สัตว์และน้ำมะพร้าวหรือกะทิ จำกัดไขมันในอาหารโดยใช้เนื้อล้วน ซึ่งไม่ติดหนังติดมัน ใช้วิธีประกอบอาหารประเภทต้ม ตุ๋น นึ่ง อบ ย่าง แทน

4) ความต้องการคาร์โบไฮเดรต การรับประทานคาร์โบไฮเดรต มีจุดประสงค์เพื่อป้องกันการทำลายของเนื้อเยื่อโปรตีน การรักษาสมดุลของระดับน้ำตาลในเลือด เพิ่มแคลอรี่ให้แก่ร่างกาย และให้ความอบอุ่นแก่ร่างกาย ความต้องการพลังงานที่เหมาะสมจากคาร์โบไฮเดรตของผู้สูงอายุไม่เป็นที่แน่

ชัด แต่โดยทั่วไปแนะนำให้อยู่ในราว 50-55% ของปริมาณแคอรี่ทั้งหมด แต่ควรเป็นอาหารคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน เนื่องจากเมื่ออายุมากขึ้นจะมีความทนต่อน้ำตาลกลูโคสลดลง (impaired glucose tolerance) และจะได้ประโยชน์จากเส้นใยที่มีอยู่ในอาหาร คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ได้แก่ การช่วยให้ความทนต่อน้ำตาลกลูโคสดีขึ้น ช่วยลดอัตราการเกิดท้องผูก และการเกิดไดเวอร์ติคูลั่มในลำไส้ได้ (intestinal diverticulum) และลดระดับไขมันในเลือด อาหารคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่เป็นอาหารหลักของคนไทย คือ ข้าว ข้าวที่จะมีใยอาหารมาก คือ ข้าวซ้อมมือ อาหารคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนอื่นๆ ได้แก่ แป้ง เผือก มัน ข้าวโพด ลูกเดือย เป็นต้น

5) ความต้องการของแร่ธาตุ ผู้สูงอายุต้องการแร่ธาตุต่างๆ เท่าในวัยผู้ใหญ่ แต่พบว่าผู้สูงอายุบริโภคไม่เพียงพอ และการดูดซึมแร่ธาตุในผู้สูงอายุมีน้อยกว่าคนหนุ่มสาว แร่ธาตุที่ผู้สูงอายุมักจะขาด คือ แคลเซียมและเหล็ก เนื่องจากมีการหลั่งกรดเกลือจากกระเพาะอาหารมีน้อยลง การทำงานของตับและตับอ่อนมีประสิทธิภาพลดลง ทำให้การซึมผ่านของแคลเซียมเกิดได้น้อย การขาดแคลเซียมจะเพิ่มความรุนแรงภายหลังหมดประจำเดือน มีผลทำให้การสูญเสียเนื้อกระดูก เกิดภาวะกระดูกพรุนได้ ดังนั้น ผู้สูงอายุควรได้รับแคลเซียมวันละ 1,200 มิลลิกรัมต่อวัน ซึ่งอาหารที่มีแคลเซียมมากที่สุดและร่างกายดูดซึมไปใช้ได้ดีที่สุด คือ นม ซึ่งเป็นแหล่งที่ดีของแคลเซียมโปรตีนและวิตามินดี วิตามินดีจะช่วยในการดูดซึมแคลเซียม นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งที่ดีของวิตามินเอ ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม ซึ่งร่วมกันช่วยให้ความแข็งแกร่งกับกระดูก สำหรับผู้สูงอายุที่ไม่สามารถรับประทานแคลเซียมจากอาหารได้อย่างเพียงพอ อาจใช้ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมแคลเซียมแทน ผู้สูงอายุจำนวนไม่น้อยที่เป็นโรคโลหิตจาง เนื่องจากการดูดซึมธาตุเหล็กลดลง ความต้องการธาตุเหล็กของผู้สูงอายุประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อวัน ซึ่งพบมากในตับ เนื้อสัตว์ ไข่แดง เลือดสัตว์ เป็นต้น และเพื่อช่วยในการดูดซึมธาตุเหล็กดีขึ้น ผู้สูงอายุควรรับประทานผักสดหรือผลไม้ที่มีวิตามินซีสูงด้วยในแต่ละมื้อ

6) ความต้องการวิตามิน ผัก ผลไม้ เป็นแหล่งอาหารที่ให้วิตามิน เกลือแร่ ใยอาหารและสารแอนติออกซิแดนท์ ซึ่งช่วยลดปัญหาอนุมูลอิสระ เนื่องจากผู้สูงอายุมีปัญหาเรื่องฟัน และระบบย่อยอาหาร จึงมักเลือกรับประทานอาหารอ่อนๆ ที่เคี้ยวง่าย เช่น พวกขนมหวาน ซึ่งอาจทำให้มีผลต่อการบริโภควิตามินได้ ดังนั้น ผู้สูงอายุจึงควรรับประทานผัก ผลไม้ให้เพียงพอทุกวัน เพื่อการป้องกันมะเร็ง โรคหัวใจ และต้อกระจก

4. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อผู้สูงอายุ

4.1 หลักการทั่วไปสำหรับการผลิตอาหารเพื่อผู้สูงอายุ

1) Labelling ฉลากอาหารสำหรับผู้สูงอายุ ไม่ควรระบุว่าเป็นอาหารสำหรับผู้สูงอายุ อาหารของคนแก่ หรืออาหารสำหรับคนอายุ 50 ปีขึ้นไป เป็นต้น เพราะผู้สูงอายุทั่วไปจะไม่ชอบให้มีการจัดตนเองให้เป็นคนแก่ หรือต้องรับประทานอาหารที่แตกต่างจากคนทั่วไป แต่ที่ควรทำคือปรับฉลากให้เหมาะกับผู้สูงอายุ เช่น ฉลากควรอ่านได้ง่าย ตัวหนังสือขนาดใหญ่ มีความหนาและคมชัด มีสีสันหรือมีการใช้สัญลักษณ์แทนตัวหนังสือ เป็นต้น เนื่องจากผู้สูงอายุส่วนใหญ่มีปัญหาด้านสายตา และการระบุประโยชน์ต่อสุขภาพจะได้รับความสนใจ

2) Packaging ควรบรรจุผลิตภัณฑ์ให้มีขนาดเล็ก เช่น เหมาะสำหรับ 1 คน หรือสำหรับ 1 มื้อ หรือให้มีปริมาณสุทธิไม่มากจนเกินไป เพื่อสะดวกสำหรับผู้สูงอายุในการจัดซื้อ และการบริโภคได้

หมดในแต่ละมื้อ รูปแบบของบรรจุภัณฑ์ควรจับหรือถือได้ง่าย เช่น อาจมีส่วนโค้งเว้าให้ถือได้มั่น สามารถเปิดเองได้ง่าย เพราะผู้สูงอายุอาจมีปัญหาในการใช้หรือบังคับมือ

3) Information ผู้สูงอายุมักเป็นผู้ที่ซื้ออาหารด้วยความรอบคอบ ต้องการรู้ข้อมูลต้องการความแน่ใจว่าดีจริงคุ้มกับเงินที่ต้องเสียหรือไม่ และมักจะติดหรือนิยมยี่ห้อหรือชนิดอาหารนั้นๆ ตลอดไปถ้าคิดว่าดีจริง (brand loyalty)

4) Convenience ผู้สูงอายุต้องการความสะดวก เช่น สะดวกในการบริโภค ถ้าเป็นผู้สูงอายุที่ชอบประกอบอาหารรับประทานเอง ผลิตภัณฑ์แปรรูปประเภทที่ง่ายต่อการประกอบหรือบริโภค เช่น ผักหรือผลไม้ที่ผ่านการปอก ล้าง หั่นและตัดให้เรียบร้อย พร้อมสำหรับประกอบหรือบริโภคได้ทันที อาหารสำเร็จรูปที่มีบริการส่งถึงบ้านจะให้ความสะดวกแก่ผู้สูงอายุที่ต้องดูแลตนเอง แต่ไม่สามารถประกอบอาหารเองได้

5) Formulation อาหารของผู้สูงอายุควรเป็น dental soft diet คือ มีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม ไม่มีความเหนียว และควรมีความข้นหนืดที่พอเหมาะ เพราะผู้สูงอายุจำนวนมากมักสำลักอาหารที่เป็นของเหลวใส และต้องมีการเพิ่มกลิ่นรส (intensity flavoured) เนื่องจากประสาทสัมผัสด้านการรับรู้กลิ่นและรสชาติของอาหารจะมีประสิทธิภาพด้อยลง โดยเฉพาะรสหวาน ขมและเปรี้ยว

6) Health / Nutrition ผลิตภัณฑ์แปรรูปสำหรับผู้สูงอายุควรเป็นอาหารสำเร็จรูปอาหารกึ่งสำเร็จรูป หรืออาหารที่ประกอบได้ง่าย มีพลังงานและสารอาหารต่างๆ เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ โดยให้มีสารอาหารและพลังงานมากในอาหารที่มีปริมาณหรือปริมาตรน้อย (caloric and nutrient dense foods) อาหารควรมีการเสริมด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อผู้สูงอายุ (enrichd or fortified products) มีเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสเหมาะกับความชอบของผู้สูงอายุ โดยวัตถุดิบที่เหมาะสำหรับการแปรรูปเป็นอาหารสำหรับผู้สูงอายุ ได้แก่ ผักหรือผลไม้สีเขียวหรือสีแสด เพราะเป็นแหล่งที่ดีของเบต้า-แคโรทีน วิตามินซี และใยอาหาร ธัญพืชที่ไม่ผ่านการขัดสีเป็นแหล่งของวิตามิน เกลือแร่ และใยอาหาร นมหรือผลิตภัณฑ์นมเป็นแหล่งที่ดีของแคลเซียมและโปรตีนอาจใช้นมชนิดพร่องมันเนย ถั่วเหลืองเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนและฟลาโวนอยด์ น้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น น้ำมันพืช น้ำมันปลา เป็นต้น ใยอาหาร เช่น glucomannan, psyllium, oat bran, whole grain

7) Marketing วิธีการวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงอายุ อาจต้องจัดบรรยากาศให้เหมาะสม วางบนชั้นในระดับที่หยิบได้ง่าย อาจมีเจ้าหน้าที่คอยให้ความช่วยเหลือหรืออธิบายเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ เช่น ข้อดีของผลิตภัณฑ์ ประโยชน์ต่อร่างกาย วิธีการเปิดบรรจุภัณฑ์วิธีการบริโภค วิธีการเก็บรักษา เป็นต้น

4.2 การกลืนในผู้สูงอายุ

กลไกการกลืนในผู้สูงอายุจะมีการเปลี่ยนแปลง 3 ระยะ และมีส่วนสัมพันธ์กับระบบประสาทสั่งการและการควบคุมการหายใจ

1) ระยะช่องปาก ผู้สูงอายุจะมีการรับความรู้สึกลดลงทั้งต่อรสอาหาร อุณหภูมิ และการรับสัมผัสต่อเนื้ออาหารส่งผลให้เกิดความรู้สึกเบื่ออาหารได้ง่าย พบว่าผู้สูงอายุ 40% จะมีอาการปากแห้งจากการสร้างน้ำลายลดลง การไม่มีฟันและกำลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการบดเคี้ยวลดลง ทำให้ผู้สูงอายุใช้เวลาในการบดเคี้ยวอาหารเพิ่มขึ้น กำลังและการประสานการทำงานของริมฝีปากและลิ้นลดลงทำให้กระบวนการเตรียมอาหารและการส่งผ่านอาหารใช้เวลานานขึ้น และประสิทธิภาพลดลง จึงต้องมีการ

กลืนหลายครั้งกว่าอาหารจะหมดจากช่องปาก บางรายอาจมีอาหารเหลือค้างในปากจึงเป็นแหล่งสะสมของเชื้อก่อโรค ผู้สูงอายุจึงเสี่ยงต่อภาวะปอดอักเสบจากการสำลัก

2) ระยะคอหอย รีเฟล็กซ์การกลืนที่คอหอยจะเกิดช้ากว่าคนหนุ่มสาว กล่องเสียงยกตัวขึ้นมารับกับฝาปิดกล่องเสียงช้า ความแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อบริเวณคอหอยลดลง หูรูดของหลอดอาหารส่วนต้นเปิดช้า ส่งผลให้อาหารอยู่ในระยะคอหอยนาน จึงมีความเสี่ยงสูงในการเกิดสำลักอาหารเข้าสู่ทางเดินหายใจ

3) ระยะหลอดอาหาร ระยะเวลาที่หูรูดของหลอดอาหารส่วนต้นเปิดจะสั้นลง จึงมีอาหารเหลือค้างที่คอหอยเสี่ยงต่อการสำลักเข้าทางเดินหายใจ แรงบีบไล่อาหารของหลอดอาหารจะลดลง หากผู้สูงอายุล้มตัวลงนอนภายหลังรับประทานอาหารอิ่มใหม่ๆ จะทำให้อาหารค้างอยู่ในหลอดอาหาร ซึ่งอาหารที่ค้างอยู่มีแนวโน้มที่จะย้อนกลับมาที่คอหอย

ในด้านการหายใจ การหยุดหายใจขณะกลืนจะเกิดเร็วและนานขึ้น โดยจะเริ่มหยุดหายใจตั้งแต่ระยะหายใจเข้า ทำให้เมื่อกลืนแล้วต้องรีบหายใจทันที ผู้สูงอายุจึงมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นทันทีหลังการกลืน เมื่อรับประทานอาหารต่อเนื่องกัน ผู้สูงอายุจึงมีโอกาสเกิดการสำลักอาหารได้ ในระบบทางเดินหายใจ กลไกการระบายเสมหะและการผลิตเมือกเพื่อป้องกันทางเดินหายใจจากการติดเชื้อลดลง ถุงลมปอดจะแฟบง่ายขึ้นจากการสูญเสียความยืดหยุ่น ผู้สูงอายุจึงหายใจรับออกซิเจนได้ไม่เต็มที่ เสี่ยงต่อการติดเชื้อเพิ่มขึ้น

4.3 แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อผู้สูงอายุ

การพัฒนาอาหารเพื่อผู้สูงอายุ เป็นการพัฒนานวัตกรรมอาหารเพื่อแก้ปัญหาของกลุ่มผู้สูงอายุ โดยแบ่งเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ รสสัมผัสอ่อนนุ่ม 4 ระดับ โภชนาการครบถ้วน ผู้ที่มีโรคประจำตัว และมีปัญหาเรื่องการกลืน

กลุ่มที่ 1 เป็นอาหารที่มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม เหมาะกับความสามารถในการเคี้ยวของผู้สูงอายุแต่ละคน ดังนั้นลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารที่ออกมาจึงมีระดับความนุ่มแตกต่างกันออกไป 4 ระดับ ระดับหนึ่งเป็นความนุ่มที่ยังสามารถใช้ฟันเคี้ยวเล็กน้อย ระดับสองเป็นระดับความนุ่มที่ใช้เหงือกบดอาหารกลืนได้ ระดับสามแค่ใช้ลิ้นก็สามารถบดอาหารได้ และระดับสี่ไม่ต้องเคี้ยวกลืนได้เลย

กลุ่มที่ 2 เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน เพราะผู้สูงอายุส่วนใหญ่มักเบื่ออาหาร ปริมาณอาหารที่รับประทานแต่ละครั้งน้อยทำให้ได้รับสารอาหารไม่ครบถ้วน อาหารกลุ่มนี้จึงต้องให้คุณค่าทางอาหารที่ครบถ้วนใน 1 หน่วยบริโภค

กลุ่มที่ 3 เป็นอาหารที่ออกแบบมาเพื่อผู้ที่มีโรคประจำตัว เช่น เบาหวาน ความดันสูง คอเลสเตอรอลสูง

กลุ่มที่ 4 เหมาะสมกับกลุ่มที่มีปัญหาการกลืนอาหารเหลวรวมถึงเครื่องดื่ม เนื่องจากร่างกายมีปัญหาในการควบคุมการกลืน ดังนั้นจึงผลิตสารที่มีความข้นหนืดในรูปแบบผงออกมาเป็นทางเลือกผู้สูงอายุสามารถเติมในชา กาแฟ หรือน้ำแกงน้ำซุป ให้มีความข้นหนืดตามต้องการทำให้กลืนได้ง่ายขึ้น

นอกจากนี้แนวทางการเพิ่มปริมาณสารอาหารให้แก่ผู้สูงอายุ มีดังนี้

1) หาสาเหตุที่ทำให้ผู้สูงอายุรับประทานอาหารไม่ได้หรือลดลง และแก้ไขปัญหากินอาหารไม่ได้หรือลดลงของผู้สูงอายุ ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะเพิ่มปริมาณการกินอาหารให้แก่ผู้สูงอายุ

2) การจัดหรือปรับปริมาณอาหารให้ผู้สูงอายุให้เหมาะสม ในกรณีที่มีปัญหาเกี่ยวกับการกินอาหาร การจัดอาหารให้แก่ผู้สูงอายุ ต้องคำนึงถึงสภาพร่างกายของผู้สูงอายุ ความสามารถในการเคี้ยวการกลืนอาหารด้วย แล้วจัดอาหารให้เหมาะสมแต่ละปัญหาที่มี ทั้งนี้ต้องสอดคล้องกับความต้องการของผู้สูงอายุ การปรับชนิดและปริมาณอาหารที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ ดังตารางที่ 2-4 โดยผู้สูงอายุมีโอกาสเกิดภาวะทุพโภชนาการได้ง่าย เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของร่างกายและจิตใจในทางที่เสื่อม และการเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้ผู้สูงอายุมีความต้องการสารอาหารต่างจากวัยผู้ใหญ่ ดังนั้นผู้สูงอายุควรเลือกอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการให้เหมาะสมกับบุคคลและภาวะทางเศรษฐกิจ เสริมอาหารในส่วนที่ขาด และลดอาหารที่บริโภคมากเกินไป เพื่อให้ผู้สูงอายุมีสุขภาพดีได้

ตารางที่ 2-4 แนวทางการปรับอาหารให้เหมาะสมกับสภาพผู้สูงอายุ

ปัญหาที่มี	แนวทางการปฏิบัติ
เบื่ออาหาร อิ่มเร็ว	- เลือกอาหารที่ผู้สูงอายุพอรับประทานได้ กลิ่น/รส ไม่จัด เช่น ขนมปังกรอบ ขนมอื่นๆ ให้รับประทานเป็นอาหารว่าง - เครื่องดื่มควรเป็นชนิดที่ให้พลังงาน ถ้าผู้สูงอายุดื่มนมได้ : นมไอศกรีมและโปรตีนแต่ถ้าผู้สูงอายุไม่ชอบนม อาจให้น้ำเต้าหู้ น้ำผลไม้ น้ำหวาน แทน - หลีกเลี่ยงอาหารมันและทอด - แบ่งมื้ออาหารเป็น 5-6 มื้อ โดยเพิ่มมื้อสายและเย็น
คลื่นไส้ อาเจียน	- กินอาหารครั้งละน้อยๆ บ่อยๆ - เลือกอาหารจืดหรืออ่อน เช่น ข้าว ขนมปังปิ้ง ขนมปังกรอบ ไข่ แทนอาหารรสจัด มีเครื่องเทศ พริก กระเทียม หรือกลิ่นแรง - หลีกเลี่ยงการได้กลิ่นอาหารขณะปรุง หรือการปรุงอาหารในห้องผู้สูงอายุ หากญาติจะรับประทานอาหารในห้องผู้ป่วยอยู่ร่วมด้วย ควรมีการถ่ายเทอากาศที่ดี - เลี่ยงที่จะดื่มน้ำ หรือเครื่องดื่มอื่นระหว่างรับประทานอาหาร เพราะจะทำให้อิ่มเร็ว ควรดื่มระหว่างมื้อ
ฟันไม่มี / ฟันไม่ดี	- เตรียมอาหารให้สุกและอ่อนนุ่ม เช่น หั่นเป็นชิ้นเล็ก นึ่ง หรือตุ๋น - ผักและผลไม้อาจปั่นหรือบดให้ละเอียดก่อนรับประทาน - หลีกเลี่ยงอาหารแห้ง เช่น ข้าวเหนียว ขนมปังปิ้ง ขนมปังกรอบ - อาจให้อาหารเสริมทางการแพทย์หรือไอศกรีมเสริม
ปาก / ลิ้นแห้ง	- เลือกอาหารอ่อนและมีน้ำมาก เช่น โจ๊ก ข้าวต้ม - หลีกเลี่ยงอาหารแห้ง เช่น ข้าวเหนียว ขนมปังปิ้ง ขนมปังกรอบ - อาจใช้น้ำเกลืออมบ้วนปากกลั้วคอก่อนรับประทานอาหาร หรือจิบน้ำระหว่างมื้อถ้าปากแห้งมาก

ที่มา : ปรียานุช แย้มวงษ์, 2544

5. วัตถุดิบหลักที่ใช้ในงานวิจัย

โครงงานวิจัยนี้เลือกใช้วัตถุดิบข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวที่มีคุณประโยชน์มาก โดยเฉพาะเป็นแหล่งที่ดีของสารอาหารต่างๆ ในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการและรสชาติ มีแนวคิดบูรณาการประโยชน์จากการใช้เนื้อผลไม้และน้ำผลไม้ร่วมด้วย โดยเลือกใช้เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรด เนื่องจากมีกลิ่นรส รสชาติและเนื้อสัมผัสที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ รวมทั้งมีคุณประโยชน์ด้านคุณค่าทางโภชนาการ มีองค์ประกอบของสารที่มีสมบัติเป็นพรีไบโอติก

5.1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (riceberry) เป็นข้าวที่ได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลักษณะเป็นข้าวเจ้า สีม่วงเข้ม รูปร่างเมล็ดเรียวยาว ดังภาพที่ 2-3 ปลูกได้ตลอดทั้งปี ให้ผลผลิตต่อไร่ปานกลาง ต้านทานต่อโรคไหม้ แต่ไม่ต้านทานโรคหลาว จึงควรเปลี่ยนเมล็ดพันธุ์ทุกรอบการปลูก ข้อจำกัดคือเป็นข้าวที่ต้องการเอาใจใส่เป็นพิเศษ โดยปลูกแบบเกษตรอินทรีย์ และต้องมีสภาพอากาศเย็น เพื่อสร้างสีเมล็ดลักษณะประจำพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ความสูง 105-110 เซนติเมตร อายุเก็บเกี่ยว 130 วัน ผลผลิต 300-500 กิโลกรัมต่อไร่

ภาพที่ 2-3 ลักษณะของข้าวไรซ์เบอร์รี่

ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีธาตุเหล็กและสารต้านอนุมูลอิสระสูง มีใยอาหารที่อยู่ในรำข้าวสูงจึงช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาล ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดขึ้นช้ากว่าการบริโภคข้าวกล้องและข้าวขาวขัดทั่วไป จึงเหมาะกับผู้ป่วยเบาหวาน มีสรรพคุณช่วยลดระดับไขมันและคอเลสเตอรอล ช่วยทำให้ระบบขับถ่ายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และมหาวิทยาลัยมหิดลได้ร่วมกันศึกษาผลของการรับประทานข้าวไรซ์เบอร์รี่ในผู้ป่วยโรคเบาหวาน พบว่าสามารถช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดีขึ้น เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวขัดสีพันธุ์เดียวกัน การทานอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำจะช่วยให้เซลล์ร่างกายใช้อินซูลินได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นเซลล์จะรับน้ำตาลในเลือดไปใช้เป็นพลังงานได้มากขึ้นทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลด

ต่ำลง ข้าวไรซ์เบอร์รี่จึงจัดเป็นทางเลือกใหม่เพื่อสุขภาพที่ดีในระยะยาว สาหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน และผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก คุณสมบัติทางโภชนาการของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 คุณสมบัติทางโภชนาการของข้าวไรซ์เบอร์รี่

สารอาหาร	ปริมาณ
โอเมกา 3	25.51 mg/kg
ธาตุสังกะสี	31.9 mg/kg
ธาตุเหล็ก	13-18 mg/kg
วิตามินอี	678 ug/100g
วิตามินบี 1	0.42 mg/100g
เบต้าแคโรทีน	63 ug/100g
ลูทีน	84 ug/100g
โพลิฟีนอล	113.5 mg/100g
แทนนิน	89.33 mg/100g
แกมมา โอไรซานอล	462 ug/100g
สารต้านอนุมูลอิสระชนิดละลายในน้ำ	47.5 mg ascorbic acid equivalent /100g
สารต้านอนุมูลอิสระชนิดละลายในน้ำมัน	33.4 mg ascorbic acid equivalent /100g

ที่มา : ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, ม.ป.ป.

นอกจากนี้รำข้าวและน้ำมันรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดี เหมาะสำหรับใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารเชิงบำบัดอีก เช่น ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารไฮเบอร์รี่ เป็นสารสกัดจากราข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่วิจัยและพัฒนาโดยศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับสถาบันวิจัยโภชนาการ และคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยใช้รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผ่านการบีบน้ำมันด้วยกระบวนการสกัดเย็น (cold press) ผสมกับส่วนประกอบอื่น และผลิตออกมาให้อยู่ในรูปรำข้าวอัดเม็ด ซึ่งผลิตภัณฑ์ไฮเบอร์รี่นี้มีคุณสมบัติช่วยชะลอการเพิ่มของระดับน้ำตาลในเลือด ลดระดับคอเลสเตอรอล ช่วยรักษาสภาวะหลอดเลือดแข็งจากการพอกพูนของกรดไขมันอิ่มตัว และยังมีโปรตีน ไขมันไม่อิ่มตัว ใยอาหาร วิตามินบี 1 สารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่างๆ ที่ช่วยลดโอกาสเกิดมะเร็งลำไส้ มะเร็งเม็ดเลือดขาว และมะเร็งเต้านม

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือด โรคสมองเสื่อม และบำรุงร่างกายชะลอความแก่ เป็นต้น ถือได้ว่าเป็นข้าวที่มีสารอาหารและประโยชน์สูง ซึ่งข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังเหมาะกับกลุ่มคนอีกหลายกลุ่ม เช่น ผู้สูงวัย ที่ควรรับประทานที่ดีและมีประโยชน์ ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสารอาหารมากมายที่ช่วยบำรุงร่ายกาย เสริมสร้างประสิทธิภาพในการไหลเวียนของโลหิต ชะลอความแก่ บำรุง

สายตาและระบบประสาท ผู้ป่วยโรคเบาหวาน และโรคอ้วนที่สามารถเปลี่ยนมารับประทานข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ช่วยควบคุมน้ำตาลและน้ำหนักได้ เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีดัชนีน้ำต่ำกว่าข้าวทั่วไป สตรีมีครรภ์ เมื่อบริโภคข้าวไรซ์เบอร์รี่แล้วจะช่วยให้บุตรในครรภ์มีสุขภาพแข็งแรง และสามารถป้องกันป้องกันโรคปากแหว่งเพดานโหว่ เพราะข้าวไรซ์เบอร์รี่นี้มีสารโฟเลตอีกทั้งยังมีน้ำตาลต่ำ จะช่วยให้มารดาควบคุมน้ำหนักเพื่อไม่เกิดครรภ์เป็นพิษ และมีธาตุเหล็กสูงซึ่งหญิงมีครรภ์ต้องการมากกว่าคนปกติ ผู้ที่เป็นโรคโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็ก การรับประทานข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นประจำจะทำให้ได้สารอาหาร โดยเฉพาะธาตุเหล็กธรรมชาติ ซึ่งจะช่วยในการบำรุงโลหิตและบำรุงร่างกายให้แข็งแรง

5.2 สมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกของผลไม้ไทย

ผักและผลไม้ในประเทศไทยมีคุณสมบัติเป็นสารพรีไบโอติกหลายชนิด ซึ่งพรีไบโอติก คือ คุณลักษณะอาหารที่เมื่อบริโภคแล้วไม่มีการย่อยสลาย และไม่ถูกดูดซึมในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก แต่จะถูกหมักให้ย่อยสลายโดยแบคทีเรียโปรไบโอติกในลำไส้ใหญ่ก่อให้เกิดสารต่างๆ ที่ให้ประโยชน์ต่อสุขภาพร่างกาย ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในระบบทางเดินอาหาร พรีไบโอติกบางชนิดสามารถจับกับจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้อย่างจำเพาะเจาะจง เช่น *Salmonella* และ *E. coli* ซึ่งต่อมาจะถูกกำจัดออกจากระบบทางเดินอาหารไปกับอุจจาระ บางชนิดอาจจะไปกระตุ้นการเจริญของเชื้อแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ เช่น *Bifidobacteria* และ *Lactobacilli* โดยเป็นแหล่งอาหารให้กับแบคทีเรีย ทำให้ลำไส้เกิดความสมดุลและยังช่วยเพิ่มการนำสารอาหารไปใช้ในร่างกายอีกด้วย โดยทั่วไปอาหารพรีไบโอติก คือ อาหารในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ชนิดเฉพาะซึ่ง เรียกว่า โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) ซึ่งยังแยกเป็นชนิดย่อยๆได้อีกหลายชนิด ที่นำมาใช้บ่อย คือ ชนิดฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructooligosaccharide, FOS) และอินนูลิน (inulin) อาหารพรีไบโอติก เป็นอาหารสร้างจากพืชทุกชนิด แต่แตกต่างกันในสายพันธุ์ย่อยๆ และในปริมาณที่มีมากหรือน้อย โดยทั่วไปมักเป็นแป้งและน้ำตาลที่พืชสะสมไว้ในหัว ที่พบมากที่สุดคือในหัวของชิโครี (พืชถิ่นของทวีปยุโรป) กล้วย หัวหอม ต้นหอม กระเทียม หน่อไม้ฝรั่ง ข้าวบาเลย์ ข้าวสำลี และมะเขือเทศ พรีไบโอติกบางชนิดยังสามารถให้ความหวานได้โดยไม่ย่อยสลายเป็นน้ำตาลกลูโคส จึงนิยมนำมาผลิตเป็นสารให้ความหวานในผู้ป่วยโรคเบาหวาน

Gibson และ Roberfroid (1995) ได้ให้คำจำกัดความของ พรีไบโอติกไว้ว่าเป็นสารอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้ในระบบทางเดินอาหารแต่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์หรือสัตว์โดยไปกระตุ้นการเจริญและหรือกิจกรรมของจุลินทรีย์บางกลุ่ม เช่น *Bifidobacterium* และ *Lactobacillus* หรือไปยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางกลุ่มในลำไส้ใหญ่ เช่น *Salmonella* และ *E. coli* ซึ่งมีผลทำให้สุขภาพของมนุษย์หรือสัตว์นั้นๆ สุขภาพดี สารพรีไบโอติกจะต้องทนต่อการย่อยด้วยกรดและเอนไซม์ในกระเพาะอาหาร ไม่ถูกดูดซึมในลำไส้เล็กและผ่านลงไปในลำไส้ใหญ่ มีส่วนช่วยในการดูดซึมแร่ธาตุ สามารถผลิตสารที่ป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้ นอกจากนี้ยังจะส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในลำไส้ใหญ่ ประเทศไทยจัดเป็นประเทศที่มีการปลูกผลไม้ในปริมาณมาก โดยมีผลไม้หลายชนิดที่มีศักยภาพในการมีองค์ประกอบที่มีสมบัติเป็นพรีไบโอติก

Thammarutwasik et al. (2009) รายงานว่า จากการศึกษาสมบัติในการเป็นพรีไบโอติกในพืชที่พบในประเทศไทยทั้งหมด 13 ชนิด คือ กล้วย กระเจี๊ยบเขียว ขนุน ข้าว เงาะ ปาล์ม จำปาดะ ทุเรียน มันสีม่วง มะขาม มะพร้าวอ่อน มะม่วงสุก และลูกก่อ พบว่าส่วนเนื้อผลไม้ที่มีปริมาณ

indigestible polysaccharides อยู่ปริมาณมากในช่วง 334.87–605.76 mg/100 g dry extract โดยเนื้อผลไม้ที่มีปริมาณ indigestible polysaccharides มาก ได้แก่ ขนุน เงาะ จำปาดะ และมะพร้าวอ่อน จึงเห็นได้ว่าผลไม้ไทยนอกจากจะมีรสชาติอร่อยที่เป็นเอกลักษณ์แล้ว ยังมีคุณประโยชน์อีกด้วย โดยจากการศึกษาพืช 13 ชนิดจากภาคใต้ของประเทศไทย ประกอบด้วยโพลิแซคคาไรด์ที่ไม่สามารถย่อยได้ และคุณสมบัติของพรีไบโอติก กล้วย, *Musa sapientum Linn*., (เปลือกและเนื้อ), กระเจี๊ยบ, *Abelmoschus esculentus Moench*., (ฝัก), ขนุน, *Artocarpus heterophyllus Lam*. (ผิว เนื้อ และเมล็ด), ข้าวงอก, *Oryza sativa Linn*., เงาะ, *Nephelium lappaceum L*., (เปลือก เนื้อ และเมล็ด), ปาล์ม, *Borrassus flabellifer L*., (เพอริคาร์ปของผลสุก, เนื้อของผลอ่อน, และเอ็มบริโอของผลงอก), จำปาดะ, *Artocarpus integer Merr*., (ผิว เนื้อ และเมล็ด), ทุเรียน, *Durio ziberhinus Merr*., (เปลือก), มันฝรั่ง, *Coleus parvifoleus Benth*., มะขาม, *Tamarindus indica L*., (เนื้อสุก, เยื่อหุ้มเมล็ด, ใบเลี้ยงเมล็ด), มะพร้าวอ่อน, *Cocos nucifera Linn*. (เนื้อ), มะม่วงสุก, *Mangifera indica L*., (ผิว เนื้อ และเมล็ด) และ ลูกก่อ, *Smilax china Linn*. (หัวก่อ) วัตถุดิบสับละเอียดและสกัดร่วมกับตัวทำละลายต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยน้ำ (อุณหภูมิห้องหรือน้ำร้อน) และแอลกอฮอล์ (50 และ 95% ในน้ำ) สกัดในสภาวะสุญญากาศเข้มข้นและทำแห้งโดยการแช่แข็ง วิเคราะห์ปริมาณผลได้ ปริมาณโพลิแซคคาไรด์ที่ไม่ถูกย่อย และคุณสมบัติของพรีไบโอติก (การเจริญเติบโตของกล้าเชื้อโพรไบโอติกทางการค้า, ซึ่งประกอบด้วย *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum* และ *Bifidobacterium bifidum*) การสกัดเป็นการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านภูมิแพ้ สารต้านการทำงานของจุลินทรีย์ และสารที่เป็นพิษต่อเซลล์ ได้คัดเลือก 10 ตัวอย่าง ที่เป็นพรีไบโอติกเริ่มต้นทางการค้า ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 การใช้ตัวทำละลาย ปริมาณการสกัด และปริมาณโพลิแซคคาไรด์ของผลไม้ไทยในแต่ละส่วน

Rank	Plant	Part	Solvent	Extract yield (% dry weight)	Indigestible polysaccharide (mg/g dry extract)
1	Palm fruit	Pericarp	Et 95%	51.96	705.80
2	Jack fruit	Skin	Et 95%	71.54	689.08
3	Jack fruit	Flesh	Et 95%	59.43	605.76
4	Rambutan	Flesh	Et 50%	55.73	566.83
5	Jampadah	Flesh	Et 95%	34.11	542.56
6	Young coconut	Flesh	CW	22.66	513.87
7	Okra	Pod	Et 50%	12.39	460.73
8	Palm fruit	Embryo	Et 50%	26.54	409.85
9	Jack fruit	Seed	Et 50%	16.00	403.44
10	Palm fruit	Flesh	Et 95%	44.94	334.87

ที่มา : Thammarutwasik et al. (2009); Et = ethanol, CW = cold water

สารที่จะจัดเป็นพรีไบโอติกได้นั้นจะต้องมีลักษณะอย่างน้อย 3 ประการ คือ สารนั้นจะต้องไม่ถูกย่อยหรือดูดซึมในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก สารนั้นจะต้องมีความจำเพาะกับแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในลำไส้ และสารนั้นควรมีการกระตุ้นที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย

1) ผลต่อระบบทางเดินอาหาร พรีไบโอติกจะทนต่อการย่อยในทางเดินอาหารส่วนบนของมนุษย์ เมื่อมาถึงลำไส้ใหญ่ก็จะเป็นอาหารให้กับแบคทีเรียในลำไส้ ซึ่งเมื่อแบคทีเรียนำไปใช้ก็จะให้พลังงานและสารสำคัญบางอย่างแก่ร่างกาย ตัวอย่าง เช่น inulin-type fructans ให้กรดแลกติก (lactic acid) และกรดไขมันชนิดสายสั้น (short-chain fatty acids) ซึ่งเป็นผลิตผลจากกระบวนการหมัก (fermentation) ซึ่งการหมักนี้จะทำให้มีการกระตุ้นการเจริญของ *Bifidobacteria* ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์สุขภาพ และในสภาวะความเป็นกรดที่เกิดขึ้นจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Clostridium perfringens*, *Salmonella spp*. และ *Escherichia coli* ในลำไส้ จึงช่วยป้องกันท้องเสียท้องเดินโดยเฉพาะจากการติดเชื้อได้ นอกจากนี้ ด้วยคุณสมบัติคล้ายใยอาหารอื่นๆ สามารถช่วยบรรเทาอาการท้องผูก เนื่องจากผลของการเพิ่มน้ำหนักของอุจจาระและผลต่อการเคลื่อนไหวของลำไส้ จึงช่วยให้ขับถ่ายง่ายขึ้น รวมทั้งสามารถต้านมะเร็งได้

2) ผลต่อการดูดซึมแร่ธาตุบางชนิด ปกติพวกใยอาหารหรือพรีไบโอติกนี้จะรบกวนการดูดซึมของเกลือแร่ด้วยการไปจับกับแร่ธาตุไว้ในโครงสร้างที่ซับซ้อนของมันทำให้ไม่สามารถถูกดูดซึมได้ที่ลำไส้เล็กและจะเดินทางมาถึงลำไส้ใหญ่ จากนั้นมันก็จะปลดปล่อยแร่ธาตุเหล่านั้นออกมา เมื่อมีการหมักโดยแบคทีเรียในลำไส้ได้กรดไขมันชนิดสายสั้น ความเป็นกรดก็จะช่วยในการดูดซึมแร่ธาตุบางชนิด ได้แก่ แคลเซียมและแมกนีเซียม นอกจากนี้อาจด้วยกลไกที่ทำให้เกิดแรงดันออสโมติก (osmotic effect) เกิดการดึงน้ำเข้ามาช่วยในการละลายเกลือแร่ต่างๆ และช่วยเรื่องการดูดซึมแคลเซียม ซึ่งอาจส่งผลลดความเสี่ยงต่อกระดูกพรุน

3) ผลต่อเมแทบอลิซึมของไขมัน การที่จุลินทรีย์สุขภาพเพิ่มจำนวนมากขึ้นจะช่วยย่อยสลายคอเลสเตอรอลและยับยั้งการดูดซึมผ่านผนังลำไส้ หรือเนื่องจากผลในกระบวนการหมักที่ได้กรดไขมันสายสั้นบางชนิด โดยเฉพาะกรดโพรพิโอนิก (proprionic acid) ซึ่งสามารถไปยับยั้งการสังเคราะห์ไขมันรวมทั้งคอเลสเตอรอล อีกกลไกหนึ่ง คือมีการปรับเปลี่ยนระดับกลูโคสและอินซูลิน เนื่องจากการสังเคราะห์ไขมันมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึมของกลูโคส ดังนั้นพรีไบโอติกอาจช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดแข็งซึ่งมีสาเหตุจากไขมัน โดยเฉพาะภาวะไตรกลีเซอไรด์ในเลือดสูง (hypertriglyceridemia) และภาวะดื้อต่ออินซูลิน (insulin resistance) สาเหตุจากกินอาหารคาร์โบไฮเดรตสูง

5.3 มะพร้าวอ่อน

มะพร้าวมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* L. var. *nucifera* มะพร้าวในประเทศไทยมีหลายสายพันธุ์ทั้งที่นำมาจากต่างประเทศและมีอยู่ภายในประเทศแบ่งเป็นมะพร้าวพันธุ์ต้นสูงและต้นเตี้ย โดยมะพร้าวพันธุ์ต้นสูง ลักษณะสำคัญคือต้นสูงออกผลช้า ส่วนมะพร้าวพันธุ์ต้นเตี้ยเป็นพันธุ์ออกผลเร็วต้นเตี้ย โดยพันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นการค้ามากที่สุดเพื่อรับประทานน้ำและส่งออกคือ มะพร้าวน้ำหอม มะพร้าวน้ำหอมเป็นต้นเดี่ยว ลำต้นเป็นลักษณะเตี้ยสั้น เนื้อมะพร้าวมีคุณค่าทางโภชนาการสูง แสดงดังตารางที่ 2-7 เนื้อมะพร้าวเป็นแหล่งของแร่ธาตุโดยเฉพาะอย่างยิ่งแมงกานีสที่จำเป็นและทองแดง ซึ่งช่วยในการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระที่จำเป็นในการปกป้องเซลล์จากความ

เสียหาย ทองแดงมีส่วนช่วยในการสร้างคอลลาเจนอีลาสติน (collagen elastin) และสร้างโปรตีนที่เสริมสร้างเนื้อเยื่อ นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการผลิตพลังงาน แมงกานีสส่งเสริมการพัฒนาของกระดูกให้มีสุขภาพดี

ตารางที่ 2-7 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อมะพร้าว ต่อ 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ	
คาร์โบไฮเดรต	24.23	กรัม
น้ำตาล	6.23	กรัม
เส้นใย	9	กรัม
ไขมัน	33.49	กรัม
โปรตีน	3.33	กรัม
วิตามินบี 1	0.66	มิลลิกรัม
วิตามินบี 2	0.02	มิลลิกรัม
วิตามินบี 3	0.54	มิลลิกรัม
วิตามินบี 5	1.014	มิลลิกรัม
วิตามินบี 6	0.05	มิลลิกรัม
วิตามินซี	3.3	มิลลิกรัม
ธาตุแคลเซียม	14	มิลลิกรัม
ธาตุเหล็ก	2.43	มิลลิกรัม
ธาตุแมกนีเซียม	32	มิลลิกรัม
ธาตุฟอสฟอรัส	113	มิลลิกรัม
ธาตุโพแทสเซียม	356	มิลลิกรัม
ธาตุสังกะสี	1.1	มิลลิกรัม

ที่มา : USDA Nutrient database, 2014

5.4 สับปะรด

สับปะรดมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ananas comosus* (L.) Merr พันธุ์สับปะรดในประเทศไทยมีหลายสายพันธุ์หลัก พันธุ์ที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นน้ำสับปะรด ได้แก่ พันธุ์ปัตตาเวีย สับปะรดจัดเป็นผลไม้ที่เป็นแหล่งของวิตามินซี และมีสารอาหารที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด โดยสารอาหารที่มีมาก ได้แก่ แมงกานีสและวิตามินซี ดังตารางที่ 2-8 ซึ่งแมงกานีสเป็นแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการและขาดไม่ได้ เนื่องจากช่วยในการสร้างการเจริญเติบโตของร่างกายและควบคุมการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด รวมทั้งการเผาผลาญโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันให้เป็นพลังงานของร่างกาย ส่วนวิตามินซีช่วยในการสร้างภูมิคุ้มกัน เนื่องจากมีสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถป้องกันโรคหัวใจ ความดันและโรคเหงือกได้ นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์โบรมิเลน (bromelain) ช่วยในการย่อยโปรตีนในเนื้อสัตว์ และลดอาการอักเสบ (กระยาทิพย์ เรือนใจ, 2537)

ตารางที่ 2-8 คุณค่าทางโภชนาการของสับปะรด ต่อ 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ	
คาร์โบไฮเดรต	13.12	กรัม
น้ำตาล	9.85	กรัม
เส้นใย	1.4	กรัม
ไขมัน	0.12	กรัม
โปรตีน	0.54	กรัม
วิตามินบี 1	0.079	มิลลิกรัม
วิตามินบี 2	0.032	มิลลิกรัม
วิตามินบี 3	0.5	มิลลิกรัม
วิตามินบี 5	0.213	มิลลิกรัม
วิตามินบี 6	0.112	มิลลิกรัม
วิตามินบี 9	18	ไมโครกรัม
โคลีน	5.5	มิลลิกรัม
วิตามินซี	47.8	มิลลิกรัม
ธาตุแคลเซียม	13	มิลลิกรัม
ธาตุเหล็ก	0.29	มิลลิกรัม
ธาตุแมกนีเซียม	12	มิลลิกรัม
ธาตุแมงกานีส	0.927	มิลลิกรัม
ธาตุฟอสฟอรัส	8	มิลลิกรัม
ธาตุโพแทสเซียม	109	มิลลิกรัม
ธาตุโซเดียม	1	มิลลิกรัม
ธาตุสังกะสี	0.12	มิลลิกรัม

ที่มา : USDA Nutrient database, 2014

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kohyama et al. (2015) ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารที่เกี่ยวข้องกับความยากในการเคี้ยวและกลืนโดยใช้ EMG (electromyographic) โดยเตรียมตัวอย่างเจล 20 ตัวอย่าง เพื่อเลียนแบบความหลากหลายของเนื้อสัมผัสอาหารโดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ทั้งหมด 9 ชนิด ได้แก่ k-carrageenan, i-carrageenan, locust bean gum, low acylgellan gum, low methoxyl pectin, xanthan gum, gelatin, agar และ high acylgellan gum เตรียมตัวอย่างเจลโดยละลายสารที่ทำให้เกิดเจลและซูคราโลสในน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส หรือ 90 องศาเซลเซียส (ตัวอย่างที่มี gellan gum) มีการเติม potassium chloride หรือ calcium lactate ในบางตัวอย่าง จากนั้นนำสารละลายให้ความร้อนต่อที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที บรรจุใส่พิมพ์ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร และสูง 10 มิลลิเมตร) และแช่เย็นที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เจลที่ได้เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

และการประเมินทางประสาทสัมผัส ผลที่ได้พบว่าจากการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยการอภิปรายร่วมได้คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส 6 ประการ ได้แก่ firmness, cutting effort, elasticity, extensibility, adhesiveness และ melting rate in the mouth สามารถแบ่งกลุ่มเจลได้เป็น 5 กลุ่ม จากนั้นเลือกตัวอย่างเจล 5 ตัวอย่าง เพื่อเป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่ม (ดังนี้ k-carrageenan 1.00% (w/v) + locus bean gum 1.00% (w/v), i-carrageenan 3.00% (w/v), locus bean gum 0.50% (w/v) + xanthan gum 0.50% (w/v), gelatin 3.00% (w/v) และ agar 1.00% (w/v)) มาศึกษาต่อด้วย EMG เพื่อทำการบันทึกพฤติกรรมการรับประทานที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ EMG ของเจลไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 5 ตัวอย่าง ที่มีเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน ชี้ให้เห็นว่าความยากในการเคี้ยวและกลืนอาหารที่มีลักษณะแข็งสะท้อนให้เห็นปัจจัยที่สำคัญ 2 ปัจจัยด้วยกัน โดยการเคี้ยวและกลืนอาหารมีความสัมพันธ์กับความต้านทานต่อการแตกหัก (resistance to fracture) ซึ่งระบุว่าในองค์ประกอบแรกของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก สำหรับการกลืนพบว่ามีความสัมพันธ์กับความเหนียว (adhesiveness) ของอาหารเจล

Hayakawa et al. (2014) ศึกษาลักษณะความยากการรับประทานอาหารโดยใช้การประเมินทางประสาทสัมผัสของเจลไฮโดรคอลลอยด์ในรูปแบบอาหารจำลอง ทำได้โดยเตรียมตัวอย่างเจล 20 ตัวอย่าง ให้มีเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน ไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้มี 9 ชนิด ได้แก่ k-carrageenan, i-carrageenan, locust bean gum, low acylgellan gum, low methoxyl pectin, xanthan gum, gelatin, agar และ high acylgellan gum โดยปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้จะออกแบบให้ครอบคลุมเนื้อสัมผัสที่เป็นไปได้ และบางตัวอย่างจะมีการเติมเกลือเพื่อช่วยในการเกิดเจล นอกจากนี้มีการใช้สารให้ความหวานคือซูคราโลส 0.1% (w/v) เติมลงไปในทุกตัวอย่าง เตรียมเจลโดยละลายสารที่ทำให้เกิดเจลและซูคราโลสในน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส หรือ 90 องศาเซลเซียส (ตัวอย่างที่มี gellan gum) มีการเติม potassium chloride หรือ calcium lactate ในบางตัวอย่าง จากนั้นนำสารละลายให้ความร้อนต่อที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที บรรจุใส่พิมพ์ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร และสูง 10 มิลลิเมตร) และแช่เย็นที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เจลที่ได้เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นำมาทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส และประเมินทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบ ผลที่ได้พบว่าจากการประเมินทางประสาทสัมผัสได้ลักษณะเด่นของเจลออกมา 6 ลักษณะ ประกอบด้วย cutting effort, elasticity, extensibility, adhesiveness และ melting rate in the mouth ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบหลักพบว่าคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเจลด้านความต้านทานต่อการแตกหักอยู่ในองค์ประกอบที่ 1 ความเหนียวและความยืดหยุ่น อยู่ในองค์ประกอบที่ 2 แสดงให้เห็นว่าความต้านทานต่อการแตกหัก ความเหนียว และความยืดหยุ่นเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเคี้ยวและการกลืน ข้อมูลที่ได้รับในการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเนื้อสัมผัสของเจลไฮโดรคอลลอยด์ต่อไป

Funami et al. (2012) ศึกษาพฤติกรรมการรับประทานอาหารของมนุษย์ที่มีความเกี่ยวข้องกับสมบัติการไหลและสมบัติทางประสาทสัมผัสในอาหารจำลองที่ใช้ คือ เจลซึ่งมีความอ่อนนุ่มเพียงพอที่สามารถรับประทานได้โดยไม่ต้องใช้ฟันเคี้ยวในรูปแบบอาหารสำหรับผู้ที่มีปัญหากลืนลำบาก การทดลองทำได้โดยใช้สารที่ทำให้เกิดเจล 2 ชนิดที่มีสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน (elastic

gels และ plastic gels) ได้แก่ SAN SUPPORT® G-1014 (ประกอบด้วย de-acylatedgellan gum และ psyllium seed gum) และ KELCOGEL® (de-acylatedgellan gum) นำมาทดสอบด้วย electromyography (EMG) และการวิเคราะห์เสียงการกลืนของอาหารจำลองในรูปแบบเจล จากผลการทดสอบด้วย EMG พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่าง elastic gels และ plastic gels อย่างมีนัยสำคัญ และจากการวิเคราะห์เสียงของการกลืนพบว่า plastic gels ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านไปยังคอหอยสั้น และมีคะแนนในด้านการเกาะติดกันมากกว่า elastic gels และพบว่าอาหารสำหรับผู้ที่มีปัญหากลืนลำบากควรจะเพิ่มประสิทธิภาพในแง่ของสมบัติหยุ่นหนืด (viscoelasticty) เพื่อช่วยให้กลืนได้ง่ายขึ้น ดังนั้นจากการศึกษานี้การทดสอบด้วย EMG และการวิเคราะห์เสียงของการกลืนสามารถใช้เป็นกลยุทธ์ในการออกแบบเนื้อสัมผัสของอาหารสำหรับผู้ที่มีปัญหากลืนลำบากได้

เกวลี ปารมีกาศ และคณะ (2559) ศึกษาผลของปริมาณ เจลาติน คาราจีแนน คอลลาเจน ที่มีต่อสมบัติการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เยลลี่ฟักข้าว โดยวางแผนการทดลองแบบส่วนผสม (mixture design) ร่วมกับการหาพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) ทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง 3 ซ้ำและทำซ้ำทั้งหมด 2 ซ้ำ ในการแปรสัดส่วน (total 10%) ของ เจลลาติน: คลอลาเจน: คาราจีแนน ได้เป็น 10:0:0, 7:3:0 , 7:0:3, 8:1:1 , 9:5:5, 7.5:2:0.5, 7.5:0.5:2 , 8:1:1 , 8:1:1 ซึ่งจะแปรส่วนผสมอื่นๆ ให้คงที่คือ น้ำตาล 10.46% กรดซิตริก 0.17% ผงฟักข้าว 0.87% น้ำ 78.50% แล้วทำการวิเคราะห์คุณภาพของฟักข้าว ผลจากการแปรผันปริมาณเจลาติน คอลลาเจน คาราจีแนน พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นคอลลาเจน จะส่งผลให้ ค่า hardness และ gumminess มีค่าลดลง เช่นเดียวกันกับ คาราจีแนน คือ เมื่อเพิ่มปริมาณคาราจีแนน จะส่งผลให้ ค่า cohesiveness มีค่าลดลง สูตรที่มีลักษณะทางเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า จะใช้สัดส่วน เจลาติน: คอลลาเจน: คาราจีแนน ในอัตราส่วน 0.73:0.02:0.25 และหากยึดค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีค่ามากที่สุด จะใช้สัดส่วน เจลาติน: คอลลาเจน: คาราจีแนน ในอัตราส่วน 0.78:0.07:0.15 โดยมีค่าที่เป็นไปตามความต้องการอยู่ที่ 98.23%

กอบพร จันทร์โพธิ์ และคณะ (2558) ศึกษาผลของสารก่อเจลและสารให้ความหวานต่อผลิตภัณฑ์เยลลี่สารสกัดมะปรางทดสอบหาตัวทำละลายที่เหมาะสม ในการสกัดมะปรางใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิดได้แก่ น้ำ เอทานอล 50% และเอทานอล 95% วิเคราะห์ปริมาณสาระสำคัญ ได้แก่ แคโรทีนอยด์รวม ฟีนอลิกรวม และการทดสอบผลผลิตร้อยละ (%yield) ในสารสกัด จากนั้นนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่โดยใช้สารก่อเจล 2 ชนิดคือ เจลาตินที่ความเข้มข้น 10, 12 และ 14% และเพกตินที่ความเข้มข้น 1, 1.2 และ 1.4% และสารให้ความหวานที่แตกต่างกัน 2 ชนิดคือซูโครสและซูคราโลส ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปทดสอบคุณลักษณะทางเคมีและทางกายภาพ โดยตัวทำละลายที่เหมาะสมจากการสกัดมะปรางคือเอทานอล 95% เนื่องจากให้ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมและฟีนอลิกรวมมากที่สุดคือ 4.64±0.23% และ 17.40±0.38% ตามลำดับ จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มาเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ โดยการทดสอบสารก่อเจลและสารให้ความหวานซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เยลลี่ทั้ง 12 สูตร โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของตำรับอยู่ที่ 3.7±0.1 เมื่อทำการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าตำรับที่มีเจลาติน 4% น้ำตาลซูโครสเป็นสารให้ความหวาน มีค่าความแข็งแรง (firmness) ค่าการบดเคี้ยว (chewiness) และค่าการยึดเกาะผลิตภัณฑ์ (cohesiveness) สูงนอกจากนี้การใช้ เจลาติน 10 และ 12% น้ำตาลซูโครสและน้ำตาลซูคราโลสมีค่ายืดหยุ่น (springiness) สูง และการใช้เจลาติน

10% น้ำตาลซูโคสให้ค่าการยึดเกาะผลิตภัณฑ์ ค่าความแข็งแรง และค่าการบดเคี้ยวต่ำสุดในผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาผลของสารก่อเจลจากลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าเจลาตินให้ความแข็งแรงและความยืดหยุ่นได้ดีกว่าเพกติน และสารให้ความหวานเทียมจะเกิดความแข็งของเจลได้น้อยกว่าสารให้ความหวานจากธรรมชาติ

เบญจางค์ อัจฉริยะโพธา (2558) ศึกษาพฤติกรรมการบริโภคขนมหวานและภาวะสุขภาพกับภาวะโภชนาการของผู้สูงอายุพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมหวานเพื่อสุขภาพของผู้สูงอายุและศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่องมือแบบสอบถามสัมภาษณ์วิเคราะห์ความถี่ร้อยละค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการทดสอบทางประสาทสัมผัส คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณค่าทางโภชนาการ จากการศึกษาพบว่าชนิดขนมหวานที่ผู้สูงอายุชื่นชอบมากที่สุด คือ ไอศกรีม (35.8%) และชนิดขนมหวานที่ผู้สูงอายุรับประทานระดับบ่อยครั้ง (ปฏิบัติมากกว่า 3 วัน ใน 1 สัปดาห์) คือ ขนมอื่นๆ เช่น ไอศกรีม น้ำแข็งใส หวานเย็น ขนมกรุบกรอบ ช็อคโกแลต วุ้น (=2.63, S.D.=0.83) โดยเลือกรับประทานตามความชอบความต้องการของตนเอง (54.0%) โดยรับประทานตามลำพัง (52.6%) และรับประทานช่วงหลังอาหารเย็น (54.0%) เมื่อศึกษาภาวะสุขภาพกับภาวะโภชนาการของผู้สูงอายุพบว่าค่าดัชนีมวลกายอยู่ในระดับปกติและภาวะน้ำหนักตัวเกิน (53.8 และ 28.3% ตามลำดับ) ค่าเส้นรอบเอวในระดับปกติและอ้วนมาก (42.2 และ 37.9% ตามลำดับ) ค่าอัตราส่วนระหว่างเส้นรอบเอวต่อเส้นรอบสะโพกมีภาวะปกติและอ้วนลงพุง (70.8 และ 29.2% ตามลำดับ) มีโรคประจำตัวคือ โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคภาวะไขมันในเลือดสูง และโรคเกี่ยวกับข้อและกระดูกเสื่อม (63.0, 30.0, 21.4 และ 11.5% ตามลำดับ) ความสามารถในการบดเคี้ยวไม่ปกติมากที่สุด (54.3%) สาเหตุจากการใส่ฟันปลอม (31.2%) ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาไอศกรีมเสาวรสเพื่อสุขภาพสูตรลดน้ำตาล ไขมัน และน้ำเสาวรสเป็นส่วนผสมโดยลดปริมาณน้ำตาล 3 ระดับ เปรียบเทียบกับไอศกรีมสูตรพื้นฐาน (สูตร D) พบว่าสูตรลดน้ำตาล 25% (สูตร DS25) ได้รับการยอมรับมากที่สุด เมื่อนำสูตร DS25 มาทำการศึกษาอัตราส่วนนมผงชงละลายต่อวิปปิ้งครีม 4 ระดับ เปรียบเทียบกับสูตร DS25 พบว่าสูตร DS25M50 (อัตราส่วน 25:50) ได้รับการยอมรับในทุกด้านมากกว่าสูตร DS25 โดยสูตร DS25M50 มีค่าพีเอช 4.25 ค่าของแข็งที่ละลายได้ (°Brix) 27.50 ค่าโอเวอร์รัน 26.64% มีอัตราการละลาย 7.62% และในปริมาณ 100 กรัม ให้พลังงาน 47.42 กิโลแคลอรี่ มีคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน 29.12, 2.32 และ 1.73% ตามลำดับเมื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวนทั้งสิ้น 200 คน พบว่าผู้สูงอายุส่วนใหญ่ให้การยอมรับในระดับชอบมากคิดเป็น 74.5%

ญาดา เอกสุวรรณ และคณะ (2555) ศึกษาผลของคาราจีแนนต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่ลองกอง โดยแปรปริมาณคาราจีแนน 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7% จากผลการทดลองพบว่า เยลลี่ลองกองที่มีปริมาณคาราจีแนนเท่ากับ 0.7% มีปริมาณเถ้า และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและค่าความสว่างสูงกว่าเยลลี่ลองกองที่มีปริมาณคาราจีแนน 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6% เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธีการให้คะแนนตามลักษณะพบว่าเยลลี่ลองกองที่มีปริมาณคาราจีแนน 0.7% มีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงแต่ไม่แตกต่างจากเยลลี่ลองกองที่มีปริมาณคาราจีแนน 0.5 และ 0.6% ในขณะที่ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้และค่า pH ในเยลลี่ลองกองที่มีปริมาณคาราจีแนน 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7% ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเยลลี่ลองกองที่มีปริมาณคาราจีแนน 0.3 และ 0.4% มีคะแนนความชอบโดยรวมน้อยที่สุด เนื่องจากมีรสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่คงตัว

รมณย์ ฉัตรวิรุฬห์ และคณะ (2555) ศึกษาเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมะขามเสริมใยอาหารและสารอาหารอื่นๆ สำหรับผู้บริโภคอายุ 41-60 ปี การพัฒนาสูตรที่เหมาะสมทำได้โดยการผสมเพสมะขามและน้ำสะอาดในอัตราส่วน 1 : 4 ต้มเป็นเวลา 5 นาที ทำการกรอง แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของน้ำมะขาม 3 ระดับ (12, 13.5, และ 15%) และแปรปริมาณน้ำตาล 3 ระดับ (20, 21 และ 22%) ได้สูตรทั้งหมด 9 สูตร ผสมน้ำมะขามและน้ำตาลแล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที บรรจุขวดและแช่ในน้ำเย็นทันที นำมาทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส จากนั้นนำสูตรที่เหมาะสมมาเติมใยอาหาร 3 ระดับ (5.55, 7.40 และ 9.26%) ทดสอบทางประสาทสัมผัส เลือกสูตรที่ได้มาเติมส่วนผสมอื่นๆ ได้แก่ policosanol 5 มิลลิกรัม ascorbic acid 270 มิลลิกรัม และ beta-glucan 170 มิลลิกรัม วิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ และทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ผลที่ได้พบว่าสูตรเครื่องดื่มมะขามเสริมใยอาหารที่เหมาะสมประกอบด้วยน้ำมะขามพื้นฐาน 94.0% ใยอาหาร 5.55% และสารอื่นๆ ได้แก่ โพลิโคซานอล, วิตามินซี และเบต้ากลูเคนรวม 0.45% ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ได้มีค่า total soluble solid เท่ากับ 27.6 °Brix มีค่า pH 2.54 มีปริมาณกรดทาร์ทาลิก 0.45% และมีปริมาณใยอาหาร 6.22 กรัม/100 มิลลิลิตร ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคเพศหญิง 66 คน เพศชาย 34 คน พบว่าผู้บริโภคชอบเครื่องดื่มในระดับปานกลาง ผู้บริโภคยอบรับผลิตภัณฑ์และซื้อผลิตภัณฑ์ 88% และ 90% ตามลำดับ การให้ข้อมูลคุณประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ทำให้การตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเป็น 98% แต่ไม่มีผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์

ฉัตรภา หัตถโกศล (2549) กล่าวว่า อินนูลินช่วยในการดูดซึมแคลเซียม ช่วยเพิ่มความหนาแน่นให้กระดูก ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วอินนูลินช่วยเพิ่มการดูดซึมแคลเซียมมากกว่า 20% และเมื่อร่างกายได้รับอินนูลินประมาณ 8 กรัม จะช่วยเพิ่มการดูดซึมแคลเซียมซึ่งจะให้ประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากอินนูลินเป็น prebiotic fiber ซึ่งช่วยเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์กับร่างกายได้

ถนัด ไพศาขมาศ (2545) และ มลศิริ วิโรทัย (2545) กล่าวว่า ผู้สูงอายุมีแนวโน้มที่จะเกิดการเสื่อมสภาพของอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย โรคที่พบบ่อยคือ เบาหวาน ความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคหลอดเลือด สมอง ซึ่งโรคเหล่านี้ทำให้เกิดภาวะทุพพลภาคต่อทั้งตัวผู้ป่วยเองและผู้ที่ต้องดูแลรักษา นอกจากนี้แล้วภาวะหรือโรคบางอย่างจะมีแนวโน้มที่จะมีความสำคัญและรุนแรงขึ้น เช่น โรคสมองเสื่อม โรคกระดูกพรุน โรคขาดสารอาหาร ในการพัฒนาสูตรอาหารของผู้สูงอายุควรเป็นอาหารที่มีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม (dental soft diet) ไม่มีความเหนียว และควรมีความข้นหนืดที่พอเหมาะ เพราะผู้สูงอายุจำนวนมากสำลักอาหารที่เป็นของเหลวใส และต้องมีการเพิ่มกลิ่นรส (intensity flavoured) เนื่องจากประสาทสัมผัสด้านการรับรู้กลิ่นและรสชาติของอาหารจะมีประสิทธิภาพด้อยลง โดยเฉพาะรสหวาน ขม และเปรี้ยว

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

1) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ตราธรรม บริษัท ยูนิเกรน มาร์เก็ตติ้ง จำกัด
2) มะพร้าวอ่อน พันธุ์น้ำหอม อายุ 6-7 เดือน รับจากสวนในจังหวัดระยอง
3) น้ำสับปะรด 100% ตรามาลี บริษัท มาลีสามพราน จำกัด (มหาชน)
4) น้ำตาลทรายขาว บริษัท น้ำตาลวังขนาย จำกัด
5) แคปปา-คาราจีแนน บริษัท ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส.ซายน์ อุปกรณ์เคมี
6) เจลาติน บริษัท ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส.ซายน์ อุปกรณ์เคมี

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) เครื่องปั่นเอนกประสงค์ Electrulux รุ่น CRUZO ประเทศจีน
2) เตาไฟฟ้า AJ รุ่น IN001A ประเทศไทย
3) ตู้แช่เย็น Sharp รุ่น SJ-X44T ประเทศไทย
4) ตู้แช่แข็ง Sharp รุ่น SJ-X44T ประเทศไทย
4) เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด Ohaus รุ่น PA4102 ประเทศสหรัฐอเมริกา
5) หม้อหุงข้าวไฟฟ้า Kashiwa รุ่น RC-110 ประเทศไทย
6) เครื่องวัดสี Hunterlab รุ่น MINI SCAN ประเทศสหรัฐอเมริกา
7) เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Stablemicrosystem รุ่น TA.XT PLUS ประเทศอังกฤษ
8) อุปกรณ์ในการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น ถ้วยชิม แก้วน้ำ ช้อน
9) อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น กระบอกตวง บีกเกอร์ แท่งแก้วคนสาร
10) อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น แม่พิมพ์ กระชอนกรอง

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 การศึกษาผลของการเติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดต่อคุณภาพของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่

ในขั้นตอนนี้มีแนวคิดเติมพิวเร่เนื้อผลไม้และน้ำผลไม้เพิ่มลงไปในเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรพื้นฐาน เนื่องจากผลไม้ มีปริมาณวิตามิน แร่ธาตุ และใยอาหารสูง มีรสชาติเป็นเอกลักษณ์ และช่วยเสริมกลิ่นรส รสชาติ และมีความเข้ากันได้กับอาหารเจลชนิดเยลลี่ (ยมลภัทร เทศนา และละอองดาว เครือวงษ์, 2558) ในโครงงานวิจัยนี้เลือกใช้พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน และน้ำสับปะรดเติมเพิ่มลงในเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ อย่างไรก็ตามการปรับปรุงสูตรหรือปรับเปลี่ยนองค์ประกอบส่วนผสมของเยลลี่อาจมีผลต่อคุณภาพของเยลลี่ โดยเฉพาะด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ (จุฑามาศ พีรพัชระ และคณะ, 2554) ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยเฉพาะอาหารเจลมีความสัมพันธ์กับความยากง่ายในการเคี้ยวและการกลืนของผู้สูงอายุที่ต้องคำนึงถึง (Hayakawa et al., 2014)

จากการตรวจเอกสาร ค้นหาสูตรการผลิตเยลลี่ พบว่า ส่วนใหญ่ใช้แคปปา-คาราจีแนนเป็นสารที่ทำให้เกิดเจล ร่วมกับการใช้น้ำตาลทรายช่วง 6%-30% (กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา และนัทมน พุฒดวง, 2559; จุฑามาศ พีรพัชระ และคณะ, 2554; เกวลี ปารมีกาศ และคณะ, 2559; จริยา เดชกุญชร, 2549; กอบพร จันทร์โพธิ์ และคณะ, 2558; ญาดา เอกสุวรรณ และคณะ, 2555 และ Nussinovitch, A. & Hirashima, M., 2013) นอกจากนี้ยังมีการเติมพิวเร่ข้าวหรือน้ำผลไม้หรือเนื้อผลไม้อยู่ในช่วง 20%-40% (กระทรวงสาธารณสุข, 2543; จันทนี ธีรเวชเจริญชัย และคณะ, 2558; สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ และคณะ, 2554 และ พนิดา ปัจจักขภัติ, 2504) จากการดัดแปลงสูตรเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ตามวิธีของ จุฑามาศ พีรพัชระ และคณะ (2554) ร่วมกับการทำการทดลองเบื้องต้น พบว่า ได้สูตรพื้นฐานการผลิตเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งมีส่วนผสมหลักประกอบด้วยพิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ แคปปา-คาราจีแนน น้ำตาลทราย และน้ำ โดยมีส่วนผสมดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ส่วนผสมเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรพื้นฐาน

ส่วนผสม	% โดยน้ำหนัก
พิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่	28.0
แคปปา-คาราจีแนน	1.5
น้ำตาลทราย	7.5
น้ำ	63.0
รวม	100.0

ในขั้นตอนนี้ศึกษาการแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนอยู่ในช่วง 10%-20% และแปรปริมาณน้ำสับปะรด 10%-20% กำหนดใช้ส่วนผสมอื่น ได้แก่ พิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ แคปปา-คาราจีแนน และน้ำตาลทราย ในปริมาณคงที่ โดยใช้น้ำเป็นตัวปรับส่วนผสม จัดสิ่งทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐาน ศึกษาปัจจัยละ 5 ระดับ (ค่ารหัส -1.414, -1, 0, 1, 1.414) รวมได้ 9 สิ่งทดลอง รายละเอียดสิ่งทดลองแสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 สิ่งทดลองที่ได้จากการจัดแบบ CCD แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐาน เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง		น้ำ* (%)
	X_1	X_2	พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (%)	น้ำสับปะรด (%)	
1	-1	-1	11.5	11.5	40.0
2	-1	1	11.5	18.5	33.0
3	1	-1	18.5	11.5	33.0
4	1	1	18.5	18.5	26.0
5	-1.414	0	10.0	15.0	38.0
6	1.414	0	20.0	15.0	28.0
7	0	-1.414	15.0	10.0	38.0
8	0	1.414	15.0	20.0	28.0
9	0	0	15.0	15.0	33.0

* ใช้น้ำเป็นตัวปรับส่วนผสมให้ได้ 100%

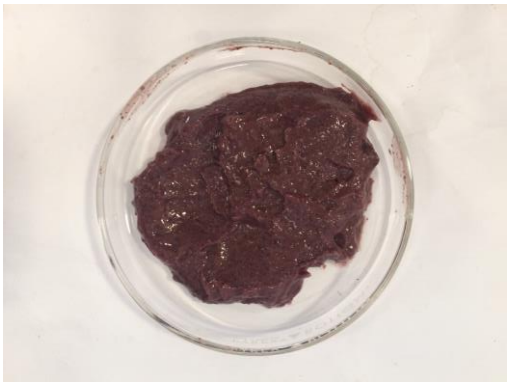
การเตรียมพิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่

นำข้าวไรซ์เบอร์รี่ 100 กรัม แช่น้ำในอัตราส่วน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ : น้ำ เท่ากับ 1 : 2 เป็นเวลา 20 นาที สะเด็ดน้ำแล้วนำข้าวไรซ์เบอร์รี่มาต้มให้สุกโดยใช้หม้อหุงข้าวไฟฟ้าอัตโนมัติ (Kashiwa, รุ่น RC-110) กำหนดอัตราส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่ : น้ำ เท่ากับ 1 : 8 ใช้เวลาต้มข้าวให้สุกประมาณ 60 นาที เมื่อข้าวสุกทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที บรรจุในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนขนาด 15x23 เซนติเมตร ถุงละ 400 กรัม แล้วแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ระหว่างรอการนำมาใช้งาน เมื่อจะใช้งาน นำมาทำละลายโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาบดลดขนาดเป็นพิวเร่ ควบคุมสภาวะการบดดังนี้ บดข้าวไรซ์เบอร์รี่ครั้งละ 400 กรัม โดยใช้เครื่องบดอาหาร (Electrolux, รุ่น CRUZO) กำหนดใช้ความเร็วในการปั่นคงที่ (ความแรงระดับ 1) เป็นเวลา 4 นาที ควบคุมขนาดพิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้ โดยกรองผ่านตะแกรงสแตนเลสที่มีขนาดรูตะแกรง 40 เมช ลักษณะพิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 3-1

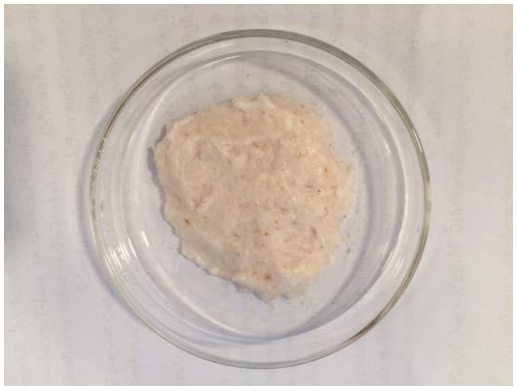
การเตรียมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน

เตรียมขั้นต้นเนื้อมะพร้าวอ่อนโดยการนำมานึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 80±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที บรรจุในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนขนาด 15x23 เซนติเมตร ถุงละ 400 กรัม แล้วแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ระหว่างรอการนำมาใช้งาน เมื่อจะใช้งาน นำมาทำละลายโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดเนื้อมะพร้าวอ่อนครั้งละ 400 กรัม โดยใช้เครื่องบดอาหาร (Electrolux, รุ่น CRUZO) กำหนดใช้ความเร็วในการปั่นคงที่ (ความแรงระดับ 1) เป็นเวลา 8 นาที ควบคุมขนาดพิวเร่เนื้อ

มะพร้าวอ่อนที่ได้ โดยกรองผ่านตะแกรงสแตนเลสที่มีขนาดรูตะแกรง 40 เมช ลักษณะพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนที่ใช้ในโครงงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-1 ลักษณะพิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ในงานวิจัย



ภาพที่ 3-2 ลักษณะพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนที่ใช้ในงานวิจัย

การผลิตเยลลี่

ชั่งส่วนผสมตามสัดส่วนที่กำหนด โดยผลิตเยลลี่ครั้งละ 300 กรัม นำพิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน และน้ำสับปะรด ผสมให้เข้ากัน นำแคปปา-คาราจีแนนมาละลายกับน้ำ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้เตาไฟฟ้า จะได้สารละลายที่มีลักษณะใส จากนั้นเติมน้ำตาลทราย แล้วให้ความร้อนต่อเป็นเวลา 2 นาที จนน้ำตาลทรายละลายหมด แล้วค่อยๆ เติมพิวเร่และน้ำสับปะรดที่ผสมไว้ คนผสมให้เข้ากัน แล้วให้ความร้อนต่อเป็นเวลา 15 นาที (ณิชาภัทร สมบูรณ์, 2556) บรรจุส่วนผสมลงในถ้วยพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนขนาด 1 ออนซ์ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที ปิดฝาถ้วยแล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างเยลลี่ที่ผลิตได้ มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้คือ

1) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*

2) ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ทดสอบด้วยวิธี Texture profile analysis (TPA) และรายงานผลเป็นค่า Hardness, Adhesiveness และ Cohesiveness (ดัดแปลงจากวิธีของ Hayakawa et al., 2014; ดวงกมล ตั้งสถิตพร และคณะ, ม.ป.ป.)

3) ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่พบในเยลลี่ทั้งด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ประเมินคะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยใช้สเกลเส้นตรงแนวนอนความยาว 15 เซนติเมตร (ดัดแปลงจากวิธีของ Hayakawa et al., 2014)

4) ประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดย 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด เสนอตัวอย่างโดยการแบ่งชิมครั้งละ 5 ตัวอย่าง เพื่อลดความเมื่อยล้าทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ ใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป) จำนวน 30 คน ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความง่ายในการเคี้ยว ความง่ายในการกลืน และความชอบโดยรวม

การวิเคราะห์ทางสถิติ

1) การวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ (Multiple regressions) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามที่วิเคราะห์ (Y) และตัวแปรต้นที่ศึกษา (X) โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$Y = f(X_1, X_2)$$

เมื่อ Y คือ ตัวแปรตามที่วิเคราะห์ ได้แก่ ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส คะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส

และ X_{1-2} คือ ตัวแปรต้นที่ศึกษา ได้แก่

X_1 คือ ปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน

X_2 คือ ปริมาณน้ำสับปะรด

วิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ โดยพิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจากค่า R^2 (Coefficient of Determination) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า สมการมีความเหมาะสม ค่า Model Significance ซึ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และค่า X ถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงถึงค่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Hu, 1999)

2) การทวนสอบความแม่นยำของสมการที่ทำนายได้ โดยดำเนินการทดลองซ้ำ เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) และแทนค่าตัวแปรที่ศึกษา (X_{1-2}) ในสมการที่วิเคราะห์ได้ และมีความน่าเชื่อถือ เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) คำนวณค่า Root Mean

Square (RMS) ซึ่งบ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการ ถ้ามีค่าต่ำกว่า 20 % แสดงว่า ค่าที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อย (Julian, 2004) คำนวณค่า RMS ได้จากสูตร

$$RMS = 100 \sqrt{\frac{\sum\left[\frac{(Yex-Ypred)}{Ypred}\right]^2}{N}}$$

เมื่อ Yex คือ ค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง
Ypred คือ ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย
N คือ จำนวนข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

3) นำสมการที่น่าเชื่อถือและผ่านการทวนสอบมาสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนอง (response surface plot) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistica Version 7.0 (Trial version) เพื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรที่ศึกษา (X) และเลือกปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดที่เหมาะสม

4) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับค่าคุณภาพทุกค่า ยกเว้นการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาเลือกปริมาณการใช้พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้รับคะแนนความชอบจากผู้สูงอายุมากที่สุด โดยเฉพาะมีความเหมาะสมในการเคี้ยวและการกลืน รวมถึงพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์

3.2 การศึกษาผลของปริมาณของแคปปา-คาราจีแนนและเจลาตินต่อคุณภาพของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรด

ในการผลิตเยลลี่มักใช้สารที่ทำให้เกิดเจลประเภทคาราจีแนน โดยมีรายงานว่าการใช้แคปปา-คาราจีแนน ทำให้ได้เจลลักษณะนุ่มและยืดหยุ่น ได้ลักษณะเจลที่เอื้อต่อการเคี้ยวและกลืน แต่แคปปา-คาราจีแนนให้เจลที่มีลักษณะเปราะ แตกง่าย และมีโอกาสเกิดการแยกตัวของน้ำ (syneresis) ระหว่างการเก็บ (สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ และคณะ, 2554) อย่างไรก็ตามยังสามารถใช้สารที่ทำให้เกิดเจลได้อีกหลายชนิด เจลาติน เป็นสารที่ทำให้เกิดเจลชนิดหนึ่งที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพง มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ ให้เจลลักษณะใส ยืดหยุ่น เนื้อสัมผัสนุ่มลื่น ช่วยให้ได้เจลที่ง่ายต่อการกลืน (สาโรจน์ รอดคืน, 2556 และสุขศรี แซ่ซือ, ม.ป.ป.) การทดลองในขั้นตอนนี้แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 ปริมาณแคปปา-คาราจีแนน 2 ระดับ และปัจจัยที่ 2 ปริมาณเจลาติน 4 ระดับ จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 2x4 ได้ 8 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-3 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ปริมาณแคปปา-คาราจีแนน คือ 0.5% และ 1.5% (% w/w)

ปัจจัยที่ 2 ปริมาณเจลาติน คือ 0% 3.5% 4.5% และ 5.5% (% w/w)

ตารางที่ 3-3 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและปริมาณเจลาตินในการผลิตเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรด

สิ่งทดลองที่	ปริมาณแคปปา-คาราจีแนน (%w/w)	ปริมาณเจลาติน (%w/w)
1	0.5	0.0
2	0.5	3.5
3	0.5	4.5
4	0.5	5.5
5	1.5	0.0
6	1.5	3.5
7	1.5	4.5
8	1.5	5.5

การผลิตเยลลี่

ผลิตเยลลี่ตามวิธีในข้อ 3.1 แต่มีการใช้เจลาตินร่วมด้วย โดยชั่งส่วนผสมตามที่เลือกได้จากข้อ 3.1 โดยผลิตเยลลี่ครั้งละ 300 กรัม นำพิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน และน้ำสับปะรดผสมให้เข้ากัน นำแคปปา-คาราจีแนน และเจลาตินมาละลายกับน้ำ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้เตาไฟฟ้า จะได้สารละลายที่มีลักษณะใส จากนั้นเติมน้ำตาลทราย แล้วให้ความร้อนต่อเป็นเวลา 2 นาที จนน้ำตาลทรายละลายหมด แล้วค่อยๆ เติมพิวเร่และน้ำสับปะรดที่ผสมไว้ คนผสมให้เข้ากัน แล้วให้ความร้อนต่อเป็นเวลา 15 นาที (ดัดแปลงจากวิธีของณิชาภัทร สมบูรณ์, 2556) บรรจุส่วนผสมลงในถ้วยพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนขนาด 1 ออนซ์ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที ปิดฝาถ้วยแล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างเยลลี่ที่ผลิตได้ มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้คือ

1) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*

2) ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ทดสอบด้วยวิธี Texture profile analysis (TPA) และรายงานผลเป็นค่า Hardness, Adhesiveness และ Cohesiveness (ดัดแปลงจากวิธีของ Hayakawa et al., 2014; ดวงกมล ตั้งสถิตพร และคณะ, ม.ป.ป.)

3) ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่พบในเยลลี่ทั้งด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ประเมินคะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยใช้สเกลเส้นตรงแนวนอนความยาว 15 เซนติเมตร (ดัดแปลงจากวิธีของ Hayakawa et al., 2014)

4) ประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดย 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด เสนอตัวอย่างโดยการแบ่งชิมครั้งละ 5 ตัวอย่าง เพื่อลดความเมื่อยล้าทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ ใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป) จำนวน 30 คน ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความง่ายในการเคี้ยว ความง่ายในการกลืน และความชอบโดยรวม

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD สำหรับค่าคุณภาพทุกค่า ยกเว้นการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD และเปรียบเทียบความแตกต่างขอค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาเลือกปริมาณการใช้สารที่ทำให้เกิดเจลที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้รับคะแนนความชอบจากผู้สูงอายุมากที่สุด โดยเฉพาะมีความเหมาะสมในการเคี้ยวและการกลืน รวมถึงพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์

3.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารเจลสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาได้

ผลิตอาหารเจลเยลลี่ที่พัฒนาได้ แล้วสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพเปรียบเทียบกับเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรพื้นฐาน

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 1995)

2) ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (AOAC, 1995)

3) ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (AOAC, 1995)

4) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Yu et al., 2005)

5) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (Turkmen et al., 2005)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี T-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเยลลี่ที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษา

ผลิตเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีการเติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดตามที่เลือกได้จากข้อ 3.2 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่บรรจุในถ้วยพลาสติกและมีฝาปิดชนิดโพลีโพรพิลีนขนาด 1 ออนซ์ เก็บรักษาโดยเลียนแบบสภาวะการจัดจำหน่ายจริง โดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างทุก 24 ชั่วโมง เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างเยลลี่ที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษา มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้คือ

1) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*

2) ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ทดสอบด้วยวิธี Texture profile analysis (TPA) และรายงานผลเป็นค่า Hardness, Adhesiveness และ

Cohesiveness (ดัดแปลงจากวิธีของ Hayakawa et al., 2014; ดวงกมล ตั้งสถิตพร และคณะ, ม.ป.ป.)

3) ค่า Thiobarbituric acid-reactive substance (TBARS) (Buege & Aust, 1978)

4) ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่พบในเยลลี่ทั้งด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ประเมินคะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยใช้สเกลเส้นตรงแนวนอนความยาว 15 เซนติเมตร (ดัดแปลงจากวิธีของ Hayakawa et al., 2014)

5) ประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดย 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด เสนอตัวอย่างโดยการแบ่งชิมครั้งละ 5 ตัวอย่าง เพื่อลดความเมื่อยล้าทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ ใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป) จำนวน 30 คน ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความง่ายในการเคี้ยว ความง่ายในการกลืน และความชอบโดยรวม

6) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2003)

7) ปริมาณยีสต์และรา (BAM, 2003)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นปัจจัยที่ศึกษา คือ เวลาการเก็บรักษา วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับค่าคุณภาพทุกค่า ยกเว้นการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ RCBD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

แนวทางการพิจารณา

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา และเปรียบเทียบคุณภาพกับเกณฑ์มาตรฐานด้านความปลอดภัยสำหรับการบริโภคเยลลี่ โดยเฉพาะเกณฑ์คุณภาพด้านจุลินทรีย์ที่กำหนดไว้ว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม ปริมาณยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (ตามเกณฑ์มาตรฐาน มผช.518/2547)

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของการเติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดต่อคุณภาพของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่

4.1.1 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามที่วิเคราะห์ (Y_1-Y_{20}) และตัวแปรต้นที่ศึกษา (X_1 และ X_2) แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4-1 พิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจากค่า R^2 (Coefficient of Determination) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และค่า Model Significance ซึ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และค่า X พบว่าทั้ง 20 สมการมี ค่า R^2 มีค่าอยู่ในช่วง 0.677-0.939 ส่วนค่า Model Significance มีค่าอยู่ในช่วง 0.022-0.049

ถ้าค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าสมการมีความเหมาะสม ส่วนค่า Model Significance ถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงถึงค่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Hu, 1999) จากผลการวิเคราะห์สมการจึงพบว่า มีสมการที่มีความน่าเชื่อถือและมีความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และ X ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จำนวน 6 สมการ ได้แก่ สมการของค่าสี b* (Y_3) ค่า Cohesiveness (Y_6) คะแนนความเข้มสีม่วงแดง (Y_7) คะแนนความเข้มรสหวาน (Y_9) คะแนนความชอบด้านการเคี้ยว (Y_{18}) และคะแนนความชอบด้านการกลืน (Y_{19}) โดยสมการดังกล่าวมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.677-0.939 และมีค่า Model Significance อยู่ในช่วง 0.022-0.049 จึงกล่าวได้ว่า สมการทั้ง 6 สมการ มีความเหมาะสมเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

Minitab Inc. (2017) กล่าวว่า ในการพิจารณาค่า R^2 ของสมการในบางสาขาอาจต้องพิจารณาความเป็นไปได้ของธรรมชาติของข้อมูลในสาขานั้นร่วมด้วย เช่น การทำนายพฤติกรรมมนุษย์ในสาขาจิตวิทยา มักได้ค่า R^2 ค่อนข้างต่ำเป็นปกติ ดังนั้นอาจพิจารณาค่าอื่นๆร่วมด้วย เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ ที่บ่งบอกการมีนัยสำคัญความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และ X เป็นต้น นอกจากนี้อาจแก้ปัญหาโดยการศึกษาและเก็บข้อมูลเพื่อการทำนายในช่วงที่ไม่กว้างมากนัก

เมื่อพิจารณาสมการที่เลือกได้ทั้ง 6 สมการ พบว่า มีรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม แตกต่างกันเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้ 1) รูปแบบสมการเทอมกำลังหนึ่ง (X_1, X_2) เทอมกำลังสอง (X_1X_1 และ X_2X_2) และเทอมปฏิสัมพันธ์กัน (X_1X_2) ได้แก่ สมการของค่าสี b* (Y_3) ซึ่งสมการนี้เป็นการอธิบายความสัมพันธ์ของ Y กับ X ที่อยู่ในเทอมที่ซับซ้อนที่สุด 2) รูปแบบสมการเทอมกำลังหนึ่ง (X_1, X_2) และเทอมปฏิสัมพันธ์กัน (X_1X_2) ได้แก่ สมการของคะแนนความเข้มสีม่วงแดง (Y_7) คะแนนความเข้มรสหวาน (Y_9) คะแนนความชอบด้านการเคี้ยว (Y_{18}) และคะแนนความชอบด้านการกลืน (Y_{19}) และ 3) รูปแบบสมการเทอมกำลังหนึ่ง (X_1, X_2) ได้แก่ ค่า Cohesiveness (Y_6) ซึ่งสมการนี้เป็นการอธิบายความสัมพันธ์ของ Y กับ X ที่อยู่ในเทอมเส้นตรง (เทอมกำลังหนึ่ง) อย่างง่าย โดยค่า Y เป็นปฏิภาคกับค่า X_1 และ X_2 เช่น พิจารณาแนวโน้มได้ว่าเมื่อเพิ่มค่า X_1 และค่า X_2 ทำให้ค่า Cohesiveness ลดลง (ค่าสัมประสิทธิ์ของ X_1 และ X_2 ติดลบ)

ตารางที่ 4-1 สมการถดถอยแบบพหุระหว่างตัวแปรตามที่วิเคราะห์ (Y_1-Y_{20}) และตัวแปรต้นที่ศึกษา (X_{1-2})

ตัวแปรตาม	สมการ[I]	R^2	Model Significance	สรุปการเลือกสมการ[Π]
ค่าสี L*	$Y_1 = 40.139+0.528X_1+1.101X_2+0.145X_1X_1+0.152X_2X_2+0.103\ X_1X_2$	0.324	0.893	✖
ค่าสี a*	$Y_2 = 9.560-0.061X_1+0.071X_2+0.020X_1X_1+0.041X_2X_2$	0.184	0.911	✖
ค่าสี b*	$Y_3 = 5.000-0.011X_1+0.198X_2+0.045X_1X_1+0.03\ X_2X_2-0.032X_1X_2$	0.939	0.049	✓
ค่า Hardness	$Y_4 = 4787.655-584.071X_1-129.122X_2-692.429X_1X_1-360.865X_2X_2-230.827X_1X_2$	0.907	0.088	✖
ค่า Adhesiveness	$Y_5 = -209.824-20.230X_1+12.739X_2+3.311X_1X_1-15.954X_2X_2-21.675X_1X_2$	0.932	0.057	✖
ค่า Cohesiveness	$Y_6 = 0.533-0.048X_1-0.047X_2$	0.677	0.034	✓
คะแนนความเข้มสีม่วงแดง	$Y_7 = 7.321-2.613X_1-0.531X_2+0.347X_1X_2$	0.866	0.013	✓
คะแนนความนิ่ม	$Y_8 = 8.703+1.307X_1-0.026X_2-0.088X_1X_1-0.550X_2X_2+1.330X_1X_2$	0.475	0.743	✖
คะแนนความเข้มรสหวาน	$Y_9 = 7.017-0.401X_1-1.980X_2+1.460X_1X_2$	0.831	0.022	✓
คะแนนความเข้มรสเปรี้ยว	$Y_{10} = 8.330-0.562X_1+0.262X_2+0.460\ X_1X_1+0.467\ X_2X_2-0.683\ X_1X_2$	0.811	0.233	✖
คะแนนความง่ายในการเคี้ยว	$Y_{11} = 10.521-1.825X_1+0.214X_2-0.571X_1X_1-0.596X_2X_2-0.897X_1X_2$	0.538	0.662	✖
คะแนนความง่ายในการกลืน	$Y_{12} = 10.712-1.787X_1-0.050X_2-0.319X_1X_1-0.761X_2X_2-0.913X_1X_2$	0.492	0.723	✖
คะแนนความชอบลักษณะปรากฏ	$Y_{13} = 7.400-0.366X_1-0.124X_2-0.304X_1X_1+0.129X_2X_2+0.383X_1X_2$	0.836	0.194	✖
คะแนนความชอบสี	$Y_{14} = 7.470-0.027X_1-0.087X_2-0.103X_1X_1+0.015X_2X_2+0.118X_1X_2$	0.322	0.895	✖
คะแนนความชอบกลิ่น	$Y_{15} = 6.600-0.152X_1+0.058X_2+0.226X_1X_1+0.158X_2X_2+0.335X_1X_2$	0.672	0.461	✖
คะแนนความชอบรสชาติ	$Y_{16} = 6.470-0.019X_1+0.019X_2+0.395X_1X_1+0.360X_2X_2+0.450X_1X_2$	0.696	0.422	✖
คะแนนความชอบเนื้อสัมผัส	$Y_{17} = 6.599-0.438X_1+0.030X_2+0.204X_1X_1+0.554X_2X_2+0.200X_1X_2$	0.697	0.421	✖
คะแนนความชอบด้านการเคี้ยว	$Y_{18} = 7.851-0.308X_1-0.034X_2+0.367X_1X_2$	0.817	0.027	✓
คะแนนความชอบด้านการกลืน	$Y_{19} = 7.934-0.335X_1+0.085X_2+0.300X_1X_2$	0.787	0.039	✓
คะแนนความชอบโดยรวม	$Y_{20} = 6.000-0.337X_1+0.160X_2+0.488X_1X_1+0.738X_2X_2+0.033X_1X_2$	0.844	0.180	✖

[I] X_1 คือ ปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน X_2 คือ ปริมาณน้ำสับปะรด

[Π] ✓ หมายถึง สมการมีความเหมาะสมเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ($R^2 \geq 0.65$ และ Model Significance < 0.05) ✖ หมายถึง สมการไม่มีความเหมาะสม

4.1.2 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการ

จากการทวนสอบความแม่นยำของสมการที่เลือกได้จำนวน 6 สมการ โดยวิเคราะห์ค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) รวมทั้งแทนค่าตัวแปรที่ศึกษา (X_{1-2}) ในสมการที่เลือกได้เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) นำมาคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ซึ่งบ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการ ได้ผลดังตารางที่ 4-2 ถึง 4-7

ตารางที่ 4-2 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของค่าสี b* (Y_3)

Yex	Ypred	Residual (Yex - Ypred)
4.97	4.86	0.11
5.54	5.32	0.22
4.54	4.90	-0.36
5.28	5.23	0.05
5.40	5.11	0.29
5.15	5.07	0.08
4.71	4.78	-0.07
5.31	5.34	-0.03
5.05	5.00	0.05
	RMS	2.79

ตารางที่ 4-3 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของค่า Cohesiveness (Y_6)

Yex	Ypred	Residual (Yex - Ypred)
0.56	0.35	0.21
0.42	0.33	0.09
0.53	0.25	0.28
0.39	0.24	0.15
0.51	0.36	0.15
0.37	0.23	0.14
0.52	0.31	0.21
0.49	0.28	0.21
0.53	0.30	0.23
	RMS	7.69

ตารางที่ 4-4 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของคะแนนความเข้มสีม่วงแดง (Y_7)

Yex	Ypred	Residual (Yex - Ypred)
10.50	10.81	-0.31
10.00	9.06	0.94
4.20	4.89	-0.69
4.44	4.52	-0.08
9.78	11.02	-1.24
3.96	3.63	0.33
8.14	8.07	0.07
6.03	6.57	-0.54
7.39	7.32	0.07
	RMS	6.33

ตารางที่ 4-5 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของคะแนนความเข้มรสหวาน (Y_9)

Yex	Ypred	Residual (Yex - Ypred)
10.92	10.86	0.06
3.10	3.98	-0.88
6.80	7.14	-0.34
5.37	6.10	-0.73
7.86	7.58	0.28
7.75	6.45	1.30
9.50	9.82	-0.32
4.94	4.22	0.72
7.40	7.02	0.38
	RMS	9.68

ตารางที่ 4-6 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของคะแนนความชอบด้านการเคี้ยว (Y_{18})

Yex	Ypred	Residual (Yex - Ypred)
7.67	8.56	-0.89
7.87	7.76	0.11
7.07	7.21	-0.14
6.93	7.88	-0.95
7.53	8.29	-0.76
7.07	7.42	-0.35
7.13	7.90	-0.77
7.33	7.80	-0.47
7.07	7.85	-0.78
	RMS	6.29

ตารางที่ 4-7 ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ของคะแนนความชอบด้านการกลืน (Y_{19})

Yex	Ypred	Residual (Yex - Ypred)
7.87	8.48	-0.61
7.87	8.05	-0.18
7.20	7.21	-0.01
7.00	7.98	-0.98
7.47	8.41	-0.94
7.13	7.46	-0.33
7.00	7.81	-0.81
7.13	8.05	-0.92
7.13	7.93	-0.80
	RMS	6.81

จากการพิจารณา ค่า RMS พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 2.79-9.68% ซึ่งค่า RMS บ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการ Julian (2004) กล่าวว่า ถ้าค่า RMS ต่ำกว่า 20% แสดงว่า ค่าที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อย จากผลการทดลองจึงยืนยันให้เห็นว่าสมการที่เลือกได้ทั้ง 6 สมการ ได้แก่ สมการของค่าสี b* (Y_3) ค่า Cohesiveness (Y_6) คะแนนความเข้มสีม่วงแดง (Y_7) คะแนนความเข้มรสหวาน (Y_9) คะแนนความชอบด้านการเคี้ยว (Y_{18}) และคะแนนความชอบด้านการกลืน (Y_{19}) มีความเหมาะสมและแม่นยำเพียงพอที่จะนำไปใช้ได้

4.1.3 ผลการสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง

จากการนำสมการที่น่าเชื่อถือและผ่านการทวนสอบมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง (response surface plot) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistica version 7.0 (Trial version) แสดงผลดังภาพที่ 4-1 ถึง ภาพที่ 4-6

จากภาพที่ 4-1 เมื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อค่าสี b* (ค่าสีเหลือง) ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำสับปะรด (X_2) มีผลทำให้ค่าสี b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากภาพพื้นที่ผิวตอบสนองว่าเมื่อใช้ปริมาณน้ำสับปะรด (X_2) น้อย จะเป็นส่วนของพื้นที่สีเขียว (ค่าสี b* อยู่ในช่วง 4.8-5.0) เมื่อใช้ปริมาณน้ำสับปะรด (X_2) มาก จะเป็นส่วนของพื้นที่สีแดงหรือน้ำตาล (ค่า b* อยู่ในช่วง 5.3-5.5) ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) มีผลต่อค่าสี b* ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากในสับปะรดมีรงควัตถุเบต้า-แคโรทีน (beta-carotene) เป็นส่วนประกอบจัดอยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ให้สีออกส้มและเหลือง (วรัทยา รักอยู่ และมาริสา ขวัญเมือง, 2557) ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำสับปะรดจึงส่งผลให้ค่าสี b* (ค่าสีเหลือง) เพิ่มขึ้น

ค่า Cohesiveness หมายถึง พลังงานยึดเกาะกันภายในอาหาร (Szczesniak, 1987) จากภาพที่ 4-2 เมื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และ น้ำสับปะรด (X_2) ต่อค่า Cohesiveness ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) มีผลทำให้ค่า Cohesiveness มีแนวโน้มลดลง สังเกตได้จากภาพพื้นที่ผิวตอบสนองว่าเมื่อใช้ปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) น้อย จะเป็นส่วนของพื้นที่สีน้ำตาลหรือแดง (ค่า Cohesiveness อยู่ในช่วง 0.56-0.61) เมื่อใช้ปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) มาก จะเป็นส่วนของพื้นที่สีเขียว (ค่า Cohesiveness อยู่ในช่วง 0.36-0.41) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนเป็นการเพิ่มของแข็งให้กับระบบไฮโดรคอลลอยด์ อาจมีผลให้โครงสร้างเจลหรือการเกาะกันภายในโครงสร้างลดน้อยลง นอกจากนี้การเติมน้ำสับปะรดที่มีกรดและมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ อาจส่งผลต่อความไม่สมดุลของโครงสร้างเจลที่เกิดขึ้นทำให้การเกาะกันภายในโครงสร้างลดน้อยลงได้

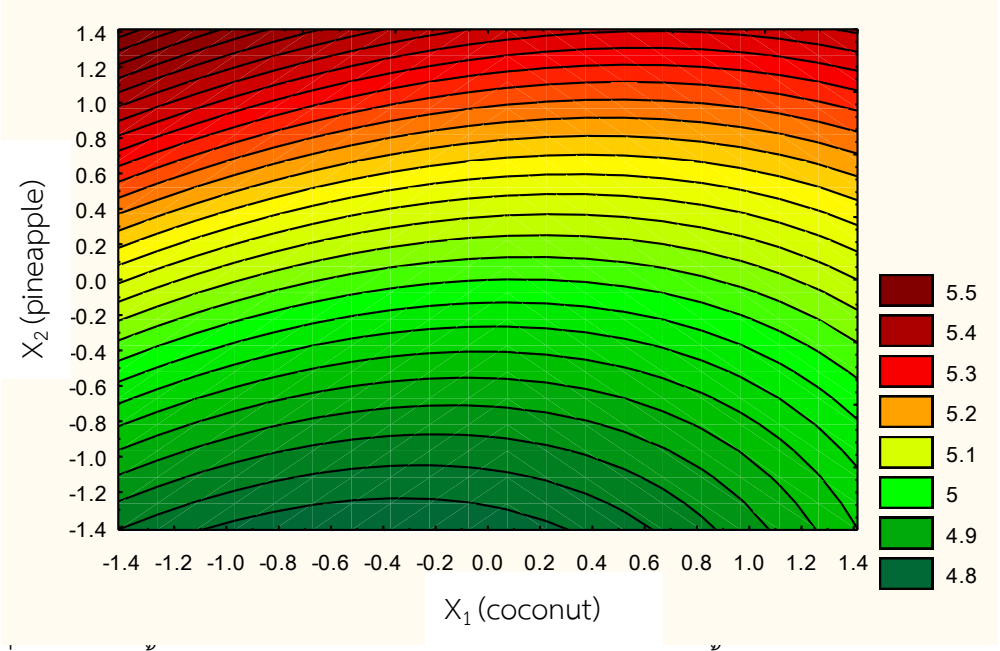
จากภาพที่ 4-3 เมื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อคะแนนความเข้มสีม่วงแดงของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) มีผลทำให้คะแนนความเข้มสีม่วงแดงมีแนวโน้มลดลง สังเกตได้จากภาพพื้นที่ผิวตอบสนองว่าเมื่อใช้ปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) น้อย จะเป็นส่วนของพื้นที่สีน้ำตาลหรือแดง (คะแนนความเข้มสีม่วงแดง อยู่ในช่วง 9-11) เมื่อใช้ปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน

(X_1) มาก จะเป็นส่วนของพื้นที่สีเขียว (คะแนนความเข้มสีม่วงแดง อยู่ในช่วง 3-7) ทั้งนี้เนื่องมาจากพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนมีสีขาว เมื่อมีการเติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนลงไปมากขึ้น จะทำให้สีม่วงแดงของข้าวไรซ์เบอร์รี่ถูกรบกวนเยลลี่จึงมีสีม่วงแดงลดลง ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำสับปะรด (X_2) มีผลต่อคะแนนความเข้มสีม่วงแดงของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่น้อยกว่า

จากภาพที่ 4-4 เมื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อคะแนนความเข้มรสหวานของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่า เมื่อใช้พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ปริมาณน้อย มีผลทำให้คะแนนความเข้มรสหวานสูง สังเกตได้จากภาพพื้นที่ผิวตอบสนองจะเป็นส่วนของพื้นที่สีน้ำตาลหรือแดง (คะแนนความเข้มรสหวานอยู่ในช่วง 10-12) และพบว่าเมื่อใช้พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) ปริมาณน้อยร่วมกับใช้น้ำสับปะรด (X_2) ปริมาณมาก มีผลทำให้คะแนนความเข้มรสหวานต่ำ สังเกตได้จากภาพพื้นที่ผิวตอบสนองจะเป็นส่วนของพื้นที่สีเขียว (คะแนนความเข้มรสหวาน อยู่ในช่วง 2-4)

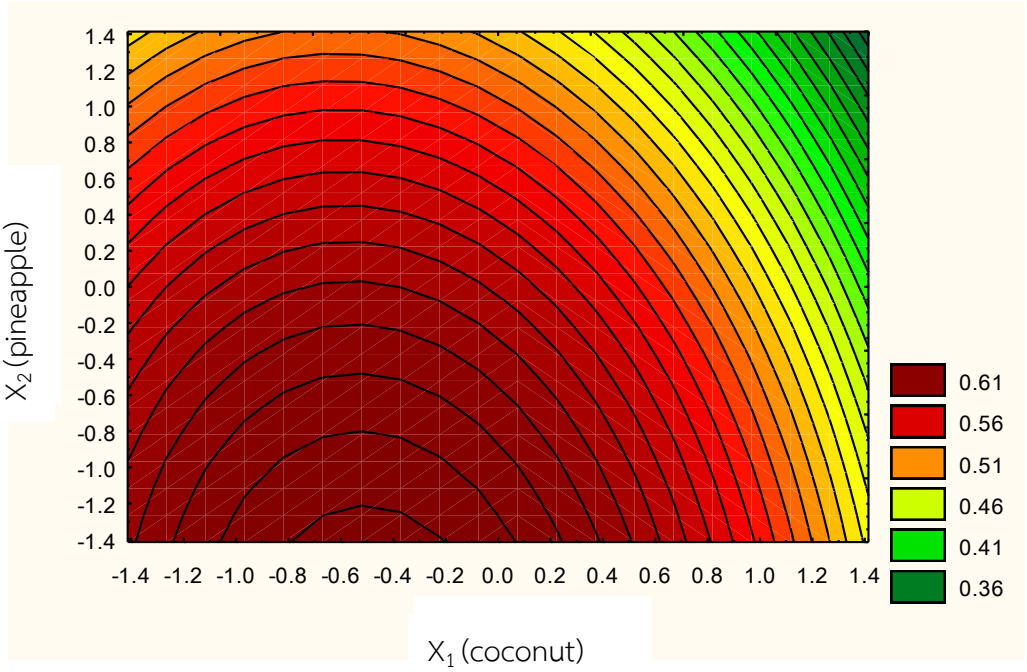
จากภาพที่ 4-5 และภาพที่ 4-6 เมื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อคะแนนความชอบด้านการเคี้ยวและคะแนนความชอบด้านการกลืนของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ตามลำดับ พบว่า มีแนวโน้มคล้ายกัน เมื่อใช้พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ปริมาณน้อย มีผลทำให้คะแนนความชอบด้านการเคี้ยวและคะแนนความชอบด้านการกลืนสูง สังเกตได้จากภาพพื้นที่ผิวตอบสนองจะเป็นส่วนของพื้นที่สีน้ำตาลหรือแดง (คะแนนความชอบด้านการเคี้ยวและคะแนนความชอบด้านการกลืน อยู่ในช่วง 8.6-9) และพบว่าเมื่อใช้พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) ปริมาณมากร่วมกับใช้น้ำสับปะรด (X_2) ปริมาณน้อย มีผลทำให้คะแนนความชอบด้านการเคี้ยวและคะแนนความชอบด้านการกลืนต่ำ สังเกตได้จากภาพพื้นที่ผิวตอบสนองจะเป็นส่วนของพื้นที่สีเขียว (คะแนนความเข้มรสหวาน อยู่ในช่วง 7.0-7.4) ทั้งนี้เนื่องมาจากหากเพิ่มปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรด เป็นการเพิ่มของแข็งให้กับระบบไฮโดรคอลลอยด์ รวมทั้งเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำตาลและปริมาณกรดให้ส่วนผสม จึงอาจมีผลให้สมดุลของโครงสร้างเจลจากแคปปา-คาราจีแนน มีประสิทธิภาพในการเกิดเจลเปลี่ยนแปลงไป จนส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของเยลลี่และทำให้คะแนนความชอบด้านการเคี้ยวและคะแนนความชอบด้านการกลืนลดลง

$$Y_3 = 5-0.0106X_1+0.1983X_2+0.045X_1X_1-0.0325X_1X_2+0.0325X_2X_2$$



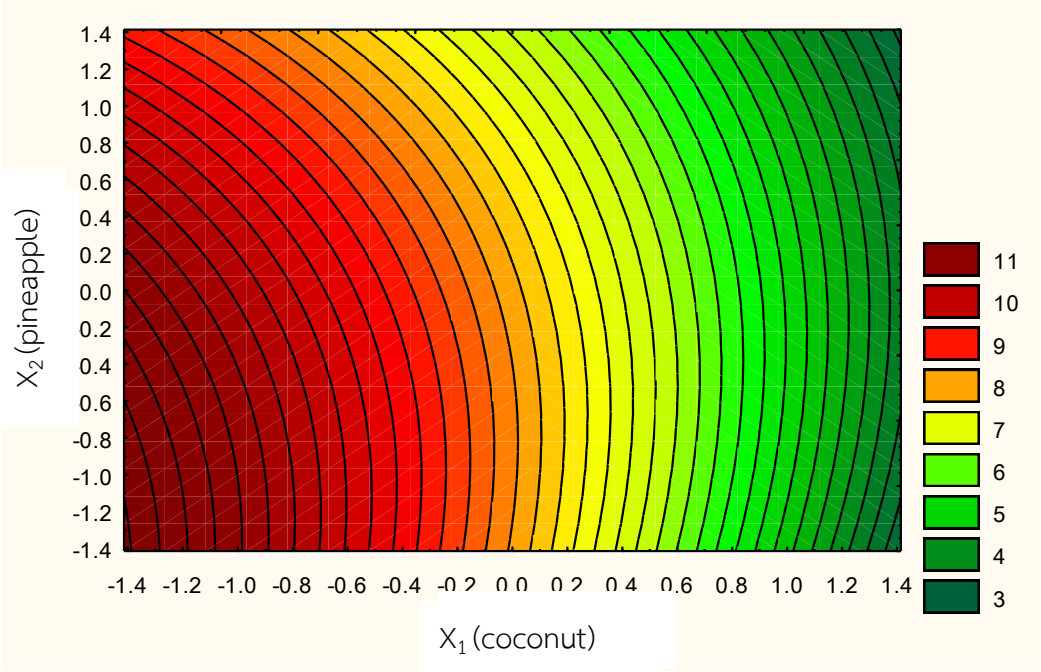
ภาพที่ 4-1 กราฟพื้นผิวตอบสนองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อค่าสี b* (Y_3) ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่

$$Y_6 = 0.578-0.0481X_1-0.0453X_2-0.0429X_1X_1-0.0037X_1X_2-0.0094X_2X_2$$



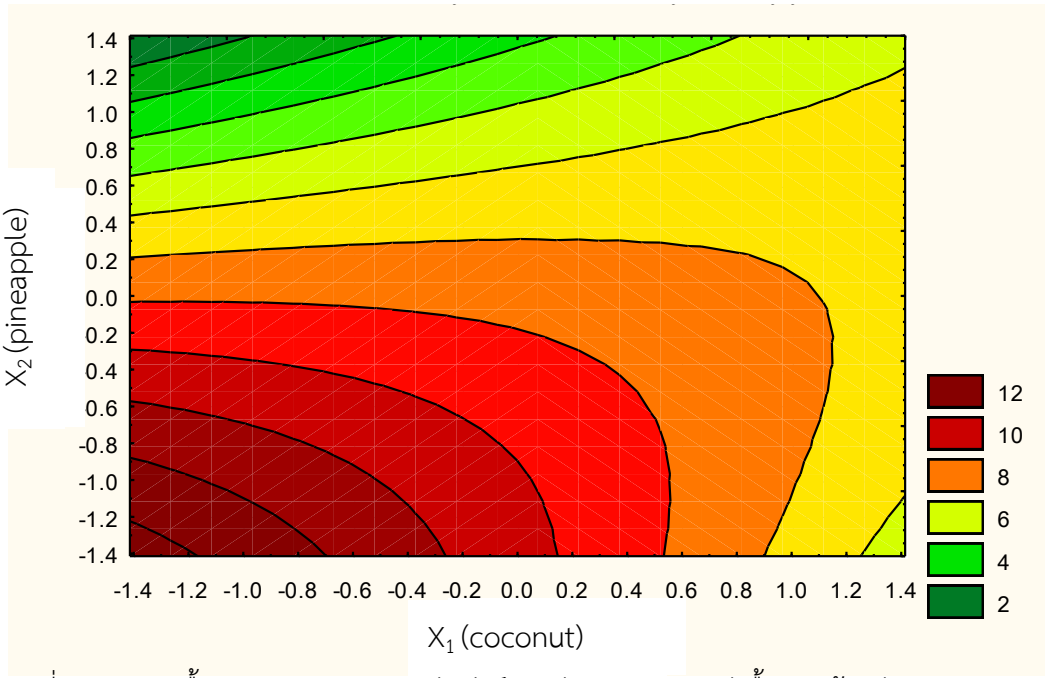
ภาพที่ 4-2 กราฟพื้นผิวตอบสนองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อค่า Cohesiveness (Y_6) ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่

$$Y_7 = 7.8399-2.6132X_1-0.5305X_2-0.2643X_1X_1+0.3475X_1X_2-0.3194X_2X_2$$



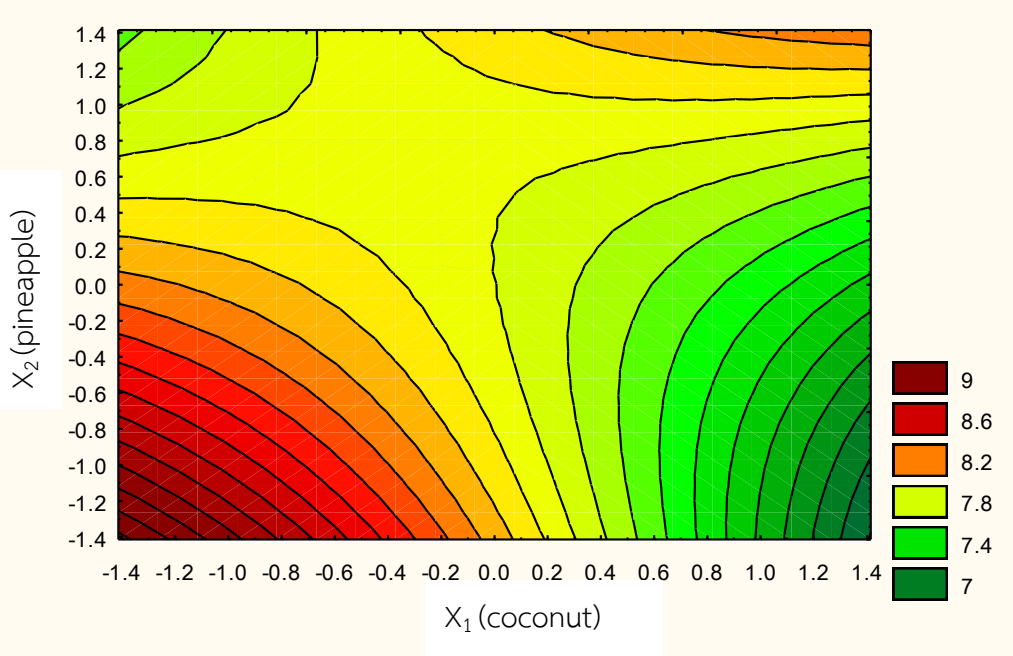
ภาพที่ 4-3 กราฟพื้นผิวตอบสนองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อคะแนนความเข้มสีม่วงแดง (Y_7) ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่

$$Y_9 = 7.6608-0.4013X_1-1.9797X_2-0.1786X_1X_1+1.46X_1X_2-0.5462X_2X_2$$



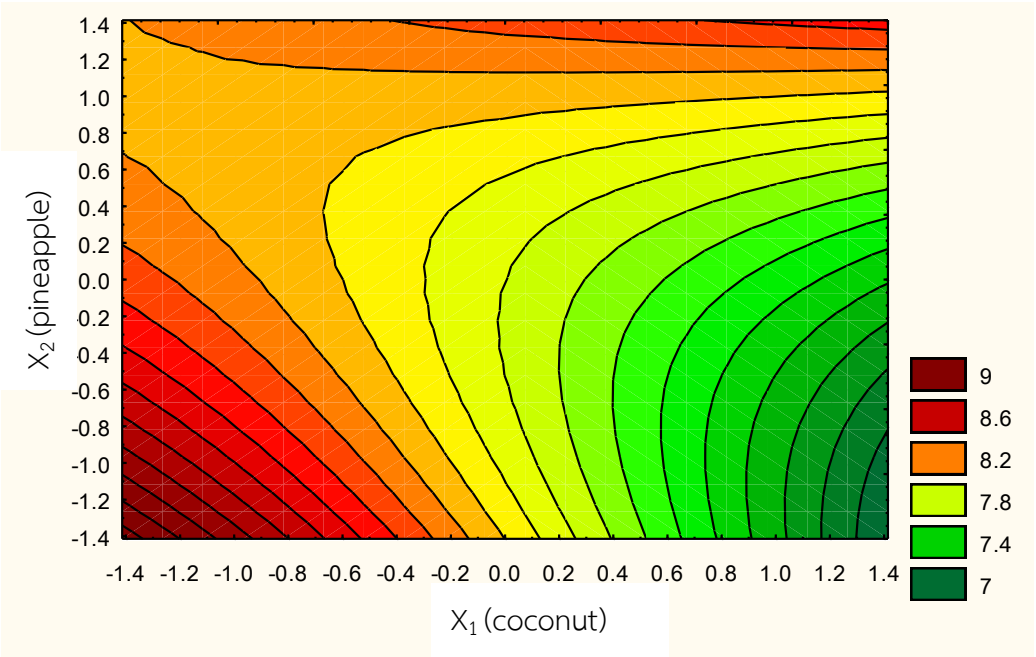
ภาพที่ 4-4 กราฟพื้นผิวตอบสนองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อคะแนนความเข้มรสหวาน (Y_9) ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่

$$Y_{18} = 7.8001-0.3083X_1-0.0338X_2-0.0476X_1X_1+0.105X_2X_2$$



ภาพที่ 4-5 กราฟพื้นผิวตอบสนองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อคะแนนความชอบด้านการเคี้ยว (Y_{18}) ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่

$$Y_{19} = 7.7999-0.3351X_1+0.085X_2-0.0081X_1X_1+0.3X_1X_2+0.1594X_2X_2$$



ภาพที่ 4-6 กราฟพื้นผิวตอบสนองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) ต่อคะแนนความชอบด้านการกลืน (Y_{19}) ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่

4.1.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผลิตได้

1) ค่าสี

เมื่อนำเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ทุกสิ่งทดลองมาวิเคราะห์ค่าสี ในระบบ CIE LAB แสดงผลดังตารางที่ 4-8 โดยพบว่า มีค่า a* และ b* เป็นบวก แสดงถึงมีสีออกทางแดงและเหลือง ซึ่งสีของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มองเห็นด้วยตาเปล่ามีสีออกม่วงแดง แสดงดังภาพที่ 4-7

จากส่วนผสมเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีการใช้พิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นส่วนประกอบ 28% โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสีม่วงแดงเนื่องจากมีรงควัตถุแอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นองค์ประกอบหลัก (พัชราภรณ์ รัตนธรรม และคณะ, 2556) ดังนั้นแม้มีการแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและแปรปริมาณน้ำสับปะรดอยู่ในช่วง 10%-20% แต่สีของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มองเห็นด้วยตาเปล่ายังคงมีสีออกม่วงแดง อย่างไรก็ตามจากผลการทดลอง พบว่า การแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรด มีผลทำให้ค่าสี L* a* และ b* ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากตารางที่ 4-8 พบว่า เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ทุกสิ่งทดลอง มีค่าความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 37.49-43.91 ค่าสีแดง (a*) อยู่ในช่วง 9.41-10.07 และค่าสีเหลือง (b*) อยู่ในช่วง 4.82-5.38

สำหรับค่าสี L* พบว่า ความแตกต่างของค่าความสว่างขึ้นอยู่กับปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรด รวมถึงปริมาณน้ำที่ใช้ สิ่งทดลองที่ 2 มีค่าสี L* สูงที่สุด เท่ากับ 43.91 แสดงถึงมีความสว่างมากที่สุด ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองดังกล่าวมีการใช้น้ำสับปะรด (18.5%) และน้ำ (33.0%) ปริมาณมาก มีผลให้ได้เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสีจางลงหรือมีความสว่างมาก ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5 มีค่าสี L* ต่ำที่สุด เท่ากับ 37.49 แสดงถึงมีความสว่างน้อยที่สุด ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองดังกล่าวมีการใช้พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนซึ่งมีสีขาวในปริมาณน้อย (10%) มีผลให้ส่วนผสมเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสีขาวน้อย

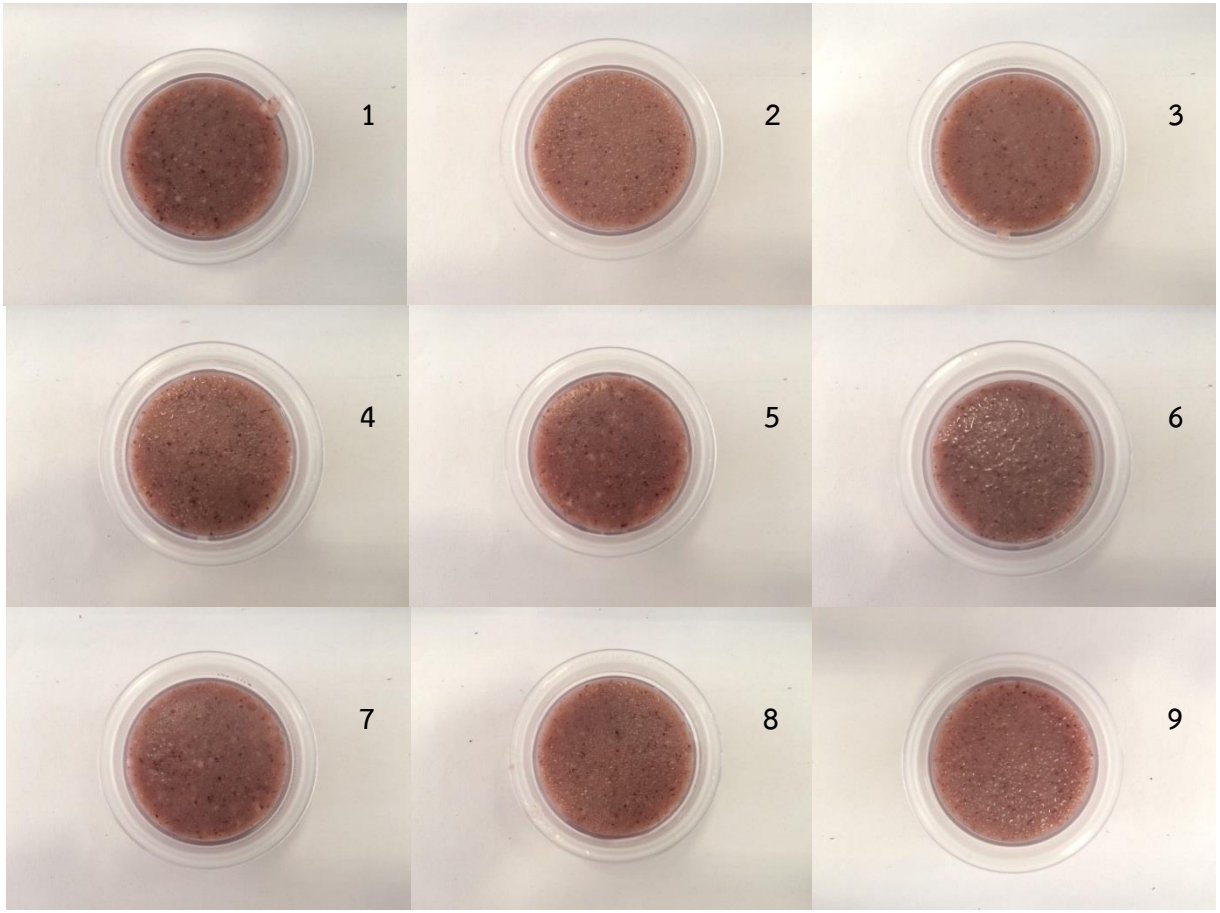
สำหรับค่าสี a* พบว่า แม้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าค่าสี a* มีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) แต่พบว่าค่าสี a* อยู่ในช่วงค่อนข้างใกล้เคียงกันคือ 9.41-10.07 อย่างไรก็ตามพบแนวโน้มว่าเมื่อมีการใช้พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรด รวมทั้งใช้น้ำปริมาณน้อย ทำให้ค่า a* มีค่าสูง เนื่องจากการเติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน น้ำสับปะรด และน้ำปริมาณน้อย จะรบกวนความเป็นสีแดงของข้าวไรซ์เบอร์รี่น้อยลง กล่าวคือเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีโอกาสคงค่าสีแดงไว้ได้มากกว่า จากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ 8 และสิ่งทดลองที่ 5 มีค่าสี a* สูงที่สุด เท่ากับ 10.07 และ 9.91 ตามลำดับ ($p<0.05$) กรณีสิ่งทดลองที่ 8 มีการใช้พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (15.0%) น้ำสับปะรด (20.0%) และน้ำ (28.0%) และสิ่งทดลองที่ 5 มีการใช้พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (10.0%) น้ำสับปะรด (15.0%) และน้ำ (38.0%)

สำหรับค่าสี b* พบแนวโน้มว่าเมื่อใช้น้ำสับปะรดปริมาณมาก มีผลทำให้ค่าสี b* สูงขึ้น ซึ่งแสดงถึงมีค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน มีผลต่อค่าสี b* น้อยกว่า จากผลการทดลองพบว่า สิ่งทดลองที่ 2 สิ่งทดลองที่ 4 และสิ่งทดลองที่ 8 มีค่าสี b* สูงที่สุด เท่ากับ 5.38 5.23 และ 5.30 ตามลำดับ โดยมีการใช้น้ำสับปะรดเท่ากับ 18.5% 18.5% และ 20.0% ตามลำดับ

ตารางที่ 4-8 ค่าสี L* a* และ b* ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง			ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน	น้ำสับปะรด	พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (%)	น้ำสับปะรด (%)	น้ำ (%)	L*	a*	b*
1	-1	-1	11.5	11.5	40.0	39.43 ± 0.46^{e}	9.57 ± 0.04^{b}	4.84 ± 0.08^{ef}
2	-1	1	11.5	18.5	33.0	43.91 ± 0.57^{a}	9.41 ± 0.15^{b}	5.38 ± 0.16^{a}
3	1	-1	18.5	11.5	33.0	38.22 ± 0.04^{f}	9.59 ± 0.14^{b}	4.82 ± 0.15^{f}
4	1	1	18.5	18.5	26.0	43.11 ± 0.72^{b}	9.44 ± 0.19^{b}	5.23 ± 0.21^{abc}
5	-1.414	0	10.0	15.0	38.0	37.49 ± 0.36^{g}	9.91 ± 0.29^{a}	5.07 ± 0.23^{cd}
6	1.414	0	20.0	15.0	28.0	41.90 ± 0.36^{c}	9.53 ± 0.12^{b}	5.13 ± 0.04^{bcd}
7	0	-1.414	15.0	10.0	38.0	39.91 ± 0.60^{de}	9.45 ± 0.14^{b}	4.85 ± 0.16^{ef}
8	0	1.414	15.0	20.0	28.0	39.51 ± 0.22^{e}	10.07 ± 0.07^{a}	5.30 ± 0.08^{ab}
9	0	0	15.0	15.0	33.0	40.14 ± 0.02^{d}	9.56 ± 0.08^{b}	5.00 ± 0.06^{de}

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-7 ลักษณะปรากฏของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2)

2) ลักษณะเนื้อสัมผัส

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้วิธี Texture Profile Analysis (TPA) ได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่า Hardness ค่า Adhesiveness และ ค่า Cohesiveness แสดงดังตารางที่ 4-9 พบว่า การแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรด มีผลทำให้ ค่า Hardness ค่า Adhesiveness และ ค่า Cohesiveness ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีการใช้ส่วนผสม ดังนี้ พิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ 28% แคปปา-คาราจีแนน 1.5% น้ำตาลทราย 7.5% และน้ำ 63% การแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดอยู่ในช่วง 10%-20% โดยกำหนดใช้ส่วนผสมอื่น ได้แก่ พิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ แคปปา-คาราจีแนน และน้ำตาลทราย ในปริมาณคงที่ โดยใช้น้ำเป็นตัวปรับส่วนผสม มีผลให้ความสมดุลในโครงสร้างของระบบคอลลอยด์เปลี่ยนแปลงไปได้ ทั้งนี้เนื่องจากเยลลี่เป็นอาหารเจลประเภทหนึ่งมีโครงสร้างเป็นระบบไฮโดรคอลลอยด์ที่ไม่แสดงการไหล (no steady-state flow) เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยของเหลวและของแข็ง โดยมีของเหลวทำหน้าที่เป็นตัวกลางและของแข็งที่มีอยู่ในโครงสร้างทำหน้าที่ประสานกันเป็นร่างแห การเกิดโครงสร้างของเจลขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างแรงดึงดูดกับแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกันเอง และระหว่างอนุภาคคอลลอยด์และสารที่เป็นของเหลว (ปาริฉัตร หงสประภาส, 2545) ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ที่ดีขึ้นอยู่กับการเกิดโครงสร้างเจลที่ดี โดยเกี่ยวข้องกับการมีปริมาณส่วนประกอบต่างๆ ที่สมดุลกัน โดยส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ สารที่ทำให้เกิดเจล สารให้ความหวาน (น้ำตาล) และสารควบคุมความเป็นกรดด่าง (จุฑามาศ พีรพัชระ และคณะ, 2555) ดังนั้นการแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดอาจมีผลกระทบต่อส่วนประกอบสำคัญดังกล่าวได้ นอกจากนี้การใช้ปริมาณน้ำในส่วนผสมไม่เท่ากันจึงมีโอกาสทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่แตกต่างกันได้

พารามิเตอร์ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ มีความหมายดังนี้ ค่า Hardness หมายถึง แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกด (หน่วย คือ g) หรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก (Szczesniak, 1987) หากมีค่า Hardness มากแสดงถึงเยลลี่มีความแข็งมากต้องใช้แรงในการกดมาก ค่า Adhesiveness หมายถึง งานที่ต้องใช้ในการดึงหัววัด ในเชิงเทคนิคการวัด หมายถึง พื้นที่ของแรงที่เป็นลบที่เกิดขึ้นจากการดึงหัววัดจากการกดครั้งแรก (หน่วย คือ g.sec) หรือเทียบได้กับความสามารถในการยึดติดของชิ้นอาหารกับฟันขณะเคี้ยว (Steffe, 1996 และสันตกิจ นิลอุดมศักดิ์, 2544) ส่วนค่า Cohesiveness หมายถึง พลังงานยึดเกาะกันภายในอาหาร หรือเทียบได้กับความสามารถในการยึดเกาะกันภายในอาหาร (Szczesniak, 1987)

จากตารางที่ 4-9 เมื่อพิจารณาค่า Hardness พบว่า สิ่งทดลองที่ 9 มีค่า Hardness สูงที่สุดเท่ากับ 4787.81 g ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 มีค่า Hardness ต่ำที่สุด เท่ากับ 2978.13 g ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากความสามารถในการเกิดเจลของแคปปา-คาราจีแนน หากเพิ่มปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดอาจทำให้แคปปา-คาราจีแนนมีประสิทธิภาพในการเกิดเจลลดลง ซึ่งถ้าผลิตภัณฑ์มีค่า Hardness มาก แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงของเจลมากจึงต้องใช้แรงในการทำให้เกิดการเสียรูปมากด้วย (Moskowitz, 1994)

เมื่อพิจารณาค่า Adhesiveness พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 และสิ่งทดลองที่ 5 มีค่า Adhesiveness ต่ำที่สุด เท่ากับ -154.72 g.sec และ -183.17 g.sec ตามลำดับ เทียบได้กับการกดอาหารให้ติดเพดานในปาก แล้วใช้ลิ้น (แรง) ดึงอาหารออกจากเพดานปาก ถ้ามีค่า Adhesiveness ต่ำหมายถึงใช้แรงดึงน้อยให้อาหารออกจากเพดานปาก ในขณะที่สิ่งทดลองอื่นมีค่า Adhesiveness ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง -209.81 ถึง -240.99 g.sec ($p<0.05$) โดยมีค่า Adhesiveness สูงกว่าสิ่งทดลองที่ 2 และสิ่งทดลองที่ 5 แสดงถึงต้องใช้แรงดึงมากให้อาหารออกจากเพดานปาก ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจาก ทั้งสิ่งทดลองที่ 2 และสิ่งทดลองที่ 5 มีการใช้ปริมาณของเหลว (น้ำสับปะรดและน้ำ) ในส่วนผสมมาก อาจทำให้แคปา-คาราจีแนนมีความเจือจางมากจนทำให้เกิดเจลได้ไม่ดี เจลไม่มีความแข็งแรง ไม่เกิดความสมดุลกันระหว่างของแข็งและของเหลวในระบบไฮโดรคอลลอยด์ สุวรรณา สุภิมารส (2543) กล่าวว่า คุณสมบัติของไฮโดรคอลลอยด์ที่สำคัญที่ทำให้เกิดโครงสร้างเจลได้ คือ ไฮโดรคอลลอยด์สามารถปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของน้ำในอาหารได้ คือ ทำให้โมเลกุลของน้ำบางส่วนไม่เคลื่อนที่ ส่วนที่ถูกจับไว้ในไฮโดรคอลลอยด์ก็จะไม่หลุดออกมา

สำหรับค่า Cohesiveness พบว่า สิ่งทดลองที่ 6 และสิ่งทดลองที่ 4 มีค่า Cohesiveness ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.39 และ 0.43 ตามลำดับ Sperling (2006) กล่าวว่า ความสามารถในการเกาะตัวกันของอาหารเจลเกี่ยวข้องกับระยะห่างและความแข็งแรงของพันธะในการเกาะตัวกันของร่างแหของสารที่ทำให้เกิดเจลกับของแข็ง โดย Szczesniak (1987) กล่าวว่า ค่า Cohesiveness หมายถึงพลังงานยึดเกาะกันภายในอาหาร หากมีค่ามากหมายถึงมีความแข็งแรงของพันธะที่เกาะตัวกันในโครงสร้างอาหารมากนั่นเอง จากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ 6 และสิ่งทดลองที่ 4 มีแนวโน้มการใช้พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนมากซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งให้ส่วนผสม พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนจึงเข้าไปแทรกตัวในโครงสร้างเจลของแคปปา-คาราจีแนนกับน้ำ ในปริมาณที่ไม่สมดุลกัน อาจมีผลต่อระยะห่างและความแข็งแรงของพันธะในการเกาะตัวกันของเจลที่เกิดขึ้น มีผลให้พลังงานยึดเกาะกันภายในเยลลี่ที่ได้น้อยลง ค่า Cohesiveness ของสิ่งทดลองดังกล่าวจึงมีค่าต่ำที่สุด

ตารางที่ 4-9 ค่า Hardness ค่า Adhesiveness และ ค่า Cohesiveness ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง			ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน	น้ำสับปะรด	พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (%)	น้ำสับปะรด (%)	น้ำ (%)	Hardness (g)	Adhesiveness (g.sec)	Cohesiveness
1	-1	-1	11.5	11.5	40.0	4184.06 ± 260.91^{b}	-233.64 ± 22.38^{ab}	0.62 ± 0.07^{a}
2	-1	1	11.5	18.5	33.0	4195.87 ± 795.89^{b}	-154.72 ± 67.37^{c}	0.48 ± 0.04^{bc}
3	1	-1	18.5	11.5	33.0	3889.63 ± 114.29^{b}	-233.21 ± 24.74^{ab}	0.58 ± 0.07^{a}
4	1	1	18.5	18.5	26.0	2978.13 ± 688.00^{c}	-240.99 ± 49.65^{ab}	0.43 ± 0.08^{cd}
5	-1.414	0	10.0	15.0	38.0	4443.18 ± 503.33^{ab}	-183.17 ± 48.26^{bc}	0.60 ± 0.08^{a}
6	1.414	0	20.0	15.0	28.0	2208.60 ± 226.80^{d}	-236.90 ± 67.00^{ab}	0.39 ± 0.07^{d}
7	0	-1.414	15.0	10.0	38.0	4035.76 ± 272.61^{b}	-259.42 ± 25.29^{a}	0.59 ± 0.06^{a}
8	0	1.414	15.0	20.0	28.0	3941.61 ± 270.04^{b}	-237.67 ± 29.04^{ab}	0.53 ± 0.06^{ab}
9	0	0	15.0	15.0	33.0	4787.81 ± 355.32^{a}	-209.81 ± 35.60^{ab}	0.58 ± 0.07^{a}

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3) คะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ผลการประเมินความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) แสดงดังตารางที่ 4-10 พบว่า การแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรด มีผลทำให้คะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทุกด้าน ได้แก่ ด้านสีม่วงแดง ความนิ่ม รสหวาน รสเปรี้ยว ความง่ายในการเคี้ยว และความง่ายในการกลืนของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4-10 เมื่อพิจารณาคะแนนความเข้มสีม่วงแดง พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ได้รับคะแนนความเข้มสีม่วงแดงมากที่สุด เท่ากับ 11.52 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 3 ได้รับคะแนนความเข้มน้อยที่สุด เท่ากับ 3.64 ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากของแข็งที่เพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนที่มีสีขาว เมื่อมีการเติมลงไปจะทำให้สีม่วงแดงของข้าวไรซ์เบอร์รี่ถูกรบกวน

เมื่อพิจารณาคะแนนความนิ่ม พบว่า สิ่งทดลองที่ 6 ได้รับคะแนนความนิ่มมากที่สุด เท่ากับ 11.76 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 ได้รับคะแนนความนิ่มน้อยที่สุด เท่ากับ 3.74 ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาร่วมกับผลการวิเคราะห์ทางเนื้อสัมผัส พบว่า มีความสอดคล้องกับ ค่า Hardness ในตารางที่ 4-9 ที่พบว่า สิ่งทดลองที่ 6 นี้มีค่า Hardness น้อยที่สุด เท่ากับ 2208.60 ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนความเข้มรสหวานและความเข้มรสเปรี้ยว พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ได้รับคะแนนความเข้มรสหวานมากที่สุด เท่ากับ 11.10 ($p<0.05$) และได้รับคะแนนนความเข้มรสเปรี้ยวจัดอยู่ในกลุ่มน้อยที่สุด เท่ากับ 8.48 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 ได้รับคะแนนความเข้มรสหวานน้อยที่สุด เท่ากับ 3.26 ($p<0.05$) และได้รับคะแนนความเข้มรสเปรี้ยวมากที่สุด เท่ากับ 11.04 ($p<0.05$) ทั้งนี้ความเข้มรสหวานและรสเปรี้ยวของเยลลี่ มีแนวโน้มเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำสับปะรดที่ใช้ ในกรณีสิ่งทดลองที่ 1 ผู้ทดสอบให้คะแนนความเข้มรสหวานมากและรสเปรี้ยวน้อย เนื่องมาจากมีการใช้น้ำสับปะรดปริมาณน้อย เยลลี่จึงยังคงมีรสหวานจากน้ำตาลทรายที่เติมมากและมีรสเปรี้ยวจากน้ำสับปะรดน้อย ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 2 ผู้ทดสอบให้คะแนนความเข้มรสหวานและรสเปรี้ยวมาก เนื่องมาจากมีการใช้น้ำสับปะรดปริมาณมากนั่นเอง

เมื่อพิจารณาคะแนนความง่ายในการเคี้ยวและคะแนนความง่ายในการกลืน พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ได้รับคะแนนความง่ายในการเคี้ยวและคะแนนความง่ายในการกลืนมากที่สุด เท่ากับ 13.26 และ 12.78 ตามลำดับ ($p<0.05$) และพบข้อสังเกตว่า สิ่งทดลองที่ 2 นี้ได้รับคะแนนความนิ่มน้อยที่สุด (3.74) แต่ผู้ทดสอบกลับมีความเห็นว่ามีความง่ายในการเคี้ยวและความง่ายในการกลืนมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองที่2 มีเนื้อสัมผัสไม่นิ่มเละมาก ไม่ติดฟัน ไม่ติดเพดานปากมาก จึงมีความง่ายในการเคี้ยวและกลืนมากที่สุด เมื่อพิจารณาร่วมกับผลการวิเคราะห์ทางเนื้อสัมผัส พบว่า มีความสอดคล้องกับ ค่า Adhesiveness ในตารางที่ 4-9 ที่พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 นี้มีค่า Adhesiveness น้อยที่สุด เท่ากับ -154.72 ($p<0.05$) สิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความง่ายในการเคี้ยวและคะแนนความง่ายในการกลืนรองลงมา คือ สิ่งทดลองที่ 1 ได้รับคะแนนความง่ายในการเคี้ยวและคะแนนความง่ายในการกลืนมากที่สุด เท่ากับ 11.40 และ 11.29 ตามลำดับ ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 ได้รับคะแนนความง่ายในการเคี้ยวและคะแนนความง่ายในการกลืนน้อยที่สุด เท่ากับ 4.35 และ 4.02 ตามลำดับ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองที่ 4 มีเนื้อสัมผัสค่อนข้างนิ่มเละ ผู้ทดสอบรู้สึกว่าเยลลี่มีการติดฟัน และติดเพดานปากมากกว่าสิ่งทดลองอื่น

ตารางที่ 4-10 คะแนนความเข้มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง			ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน	น้ำสับปะรด	พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (%)	น้ำสับปะรด (%)	น้ำ (%)	ความเข้มสีม่วงแดง	ความนิ่ม	ความเข้มรสหวาน
1	-1	-1	11.5	11.5	40.0	11.52 ± 0.87^{a}	5.91 ± 0.91^{d}	11.10 ± 0.39^{a}
2	-1	1	11.5	18.5	33.0	10.40 ± 1.00^{b}	3.74 ± 0.92^{e}	3.26 ± 0.98^{f}
3	1	-1	18.5	11.5	33.0	3.64 ± 0.76^{g}	6.32 ± 0.81^{d}	6.37 ± 0.84^{d}
4	1	1	18.5	18.5	26.0	3.91 ± 0.88^{g}	9.47 ± 0.84^{bc}	4.37 ± 0.99^{e}
5	-1.414	0	10.0	15.0	38.0	9.51 ± 0.96^{c}	8.71 ± 0.99^{c}	7.82 ± 0.91^{c}
6	1.414	0	20.0	15.0	28.0	4.89 ± 0.89^{f}	11.76 ± 0.95^{a}	8.11 ± 0.86^{c}
7	0	-1.414	15.0	10.0	38.0	8.29 ± 0.60^{d}	9.73 ± 0.85^{b}	9.35 ± 0.88^{b}
8	0	1.414	15.0	20.0	28.0	5.89 ± 0.92^{e}	8.89 ± 0.97^{bc}	5.11 ± 0.91^{e}
9	0	0	15.0	15.0	33.0	7.84 ± 0.79^{d}	8.70 ± 0.92^{c}	7.66 ± 0.58^{c}

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-10 คะแนนความเข้มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง			ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน	น้ำสับปะรด	พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (%)	น้ำสับปะรด (%)	น้ำ (%)	ความเข้มรสเปรี้ยว	ความง่ายในการเคี้ยว	ความง่ายในการกลืน
1	-1	-1	11.5	11.5	40.0	8.48 ± 0.35^{d}	11.40 ± 0.86^{b}	11.29 ± 0.97^{b}
2	-1	1	11.5	18.5	33.0	11.04 ± 0.88^{a}	13.26 ± 0.93^{a}	12.78 ± 0.95^{a}
3	1	-1	18.5	11.5	33.0	8.46 ± 0.75^{d}	6.08 ± 0.96^{e}	6.18 ± 0.78^{d}
4	1	1	18.5	18.5	26.0	8.29 ± 0.96^{d}	4.35 ± 0.70^{f}	4.02 ± 0.94^{e}
5	-1.414	0	10.0	15.0	38.0	10.05 ± 0.89^{b}	10.09 ± 0.95^{cd}	11.29 ± 0.66^{b}
6	1.414	0	20.0	15.0	28.0	8.83 ± 0.68^{cd}	9.83 ± 0.80^{cd}	10.99 ± 0.78^{bc}
7	0	-1.414	15.0	10.0	38.0	9.56 ± 0.80^{bc}	9.35 ± 0.83^{d}	10.16 ± 0.93^{c}
8	0	1.414	15.0	20.0	28.0	9.35 ± 0.89^{bc}	10.47 ± 0.82^{f}	10.35 ± 1.34^{bc}
9	0	0	15.0	15.0	33.0	8.33 ± 0.66^{d}	10.52 ± 0.93^{bc}	10.71 ± 0.91^{bc}

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4) คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยผู้ประเมินคือผู้สูงอายุ (อายุ 60 ปีขึ้นไป) แสดงผลดังตารางที่ 4-11 พบว่าปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดมีผลต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส ด้านการกลืนและความชอบโดยรวม ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ และด้านการเคี้ยว ($p\geq0.05$)

สำหรับคะแนนความชอบสี พบว่า ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 6.77-7.40 คะแนนความชอบกลิ่น พบว่า ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 6.53-7.40 คะแนนความชอบรสชาติ พบว่า ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 6.33-7.37 แสดงถึงความชอบระดับเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง และคะแนนความชอบด้านการเคี้ยว พบว่า ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 7.10-8.03 แสดงถึงความชอบระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก โดยมีข้อสังเกตว่า สิ่งทดลองที่ 1 ได้รับคะแนนความชอบด้านการเคี้ยวมากถึง 8.03 คะแนน

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวม ร่วมกับความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบด้านการกลืน พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมจัดอยู่ในกลุ่มมากที่สุด โดยได้คะแนนความชอบโดยรวม ความชอบลักษณะปรากฏ ความชอบเนื้อสัมผัส และความชอบด้านการกลืน เท่ากับ 7.33 7.53 7.73 และ 8.10 ตามลำดับ โดยอยู่ในความชอบระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก โดยมีข้อสังเกตว่า สิ่งทดลองที่ 1 ได้รับคะแนนความชอบด้านการกลืนมากถึง 8.10 คะแนน ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 6 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมจัดอยู่ในกลุ่มน้อยที่สุด โดยได้คะแนนความชอบโดยรวม ความชอบลักษณะปรากฏ ความชอบเนื้อสัมผัส และความชอบด้านการกลืน เท่ากับ 6.40 6.20 6.10 และ 7.10 ตามลำดับ โดยอยู่ในความชอบระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยมีข้อสังเกตว่า สิ่งทดลองที่ 6 ได้รับคะแนนความชอบด้านการกลืนน้อยที่สุด 7.10 คะแนน

ตารางที่ 4-11 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง			ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน	น้ำสับปะรด	พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (%)	น้ำสับปะรด (%)	น้ำ (%)	ความชอบลักษณะปรากฏ	ความชอบสี^{ns}	ความชอบกลิ่น^{ns}	ความชอบรสชาติ^{ns}
1	-1	-1	11.5	11.5	40.0	7.53 ± 1.22^{a}	7.40 ± 1.40	7.40 ± 1.48	7.37 ± 1.33
2	-1	1	11.5	18.5	33.0	7.07 ± 1.41^{ab}	7.27 ± 1.44	6.97 ± 1.69	6.63 ± 1.69
3	1	-1	18.5	11.5	33.0	6.90 ± 1.83^{ab}	7.37 ± 1.27	7.13 ± 1.61	7.03 ± 1.38
4	1	1	18.5	18.5	26.0	6.83 ± 1.82^{b}	7.13 ± 1.38	7.27 ± 1.51	7.17 ± 1.37
5	-1.414	0	10.0	15.0	38.0	7.33 ± 0.88^{ab}	7.30 ± 1.06	6.97 ± 1.43	7.10 ± 1.56
6	1.414	0	20.0	15.0	28.0	6.20 ± 1.52^{c}	6.77 ± 1.33	6.53 ± 1.33	6.70 ± 1.06
7	0	-1.414	15.0	10.0	38.0	7.57 ± 1.04^{a}	7.27 ± 1.01	6.53 ± 1.25	6.73 ± 1.51
8	0	1.414	15.0	20.0	28.0	7.27 ± 1.08^{ab}	7.33 ± 0.99	6.73 ± 1.36	6.87 ± 1.50
9	0	0	15.0	15.0	33.0	7.23 ± 1.14^{ab}	7.33 ± 1.06	6.53 ± 1.38	6.33 ± 1.92

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-11 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2) (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส		ค่าจริง			ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน	น้ำสับปะรด	พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (%)	น้ำสับปะรด (%)	น้ำ (%)	ความชอบเนื้อสัมผัส	ความชอบด้านการเคี้ยว^{ns}	ความชอบด้านการกลืน	ความชอบโดยรวม
1	-1	-1	11.5	11.5	40.0	7.73 ± 0.94^{a}	8.03 ± 1.07	8.10 ± 1.03^{a}	7.33 ± 1.47^{a}
2	-1	1	11.5	18.5	33.0	7.50 ± 1.31^{ab}	7.70 ± 1.62	7.97 ± 1.22^{ab}	7.47 ± 1.31^{a}
3	1	-1	18.5	11.5	33.0	6.93 ± 1.66^{b}	7.20 ± 1.79	7.27 ± 2.02^{bc}	6.83 ± 1.86^{ab}
4	1	1	18.5	18.5	26.0	6.90 ± 1.67^{b}	7.43 ± 1.76	7.63 ± 1.5^{abc}	6.93 ± 1.70^{ab}
5	-1.414	0	10.0	15.0	38.0	7.27 ± 1.20^{ab}	7.97 ± 1.07	7.93 ± 1.08^{ab}	7.53 ± 1.59^{a}
6	1.414	0	20.0	15.0	28.0	6.10 ± 1.49^{c}	7.10 ± 1.88	7.10 ± 1.84^{c}	6.40 ± 1.92^{b}
7	0	-1.414	15.0	10.0	38.0	7.37 ± 1.10^{ab}	7.60 ± 1.16	7.53 ± 1.14^{abc}	7.07 ± 1.64^{ab}
8	0	1.414	15.0	20.0	28.0	7.23 ± 1.33^{ab}	7.70 ± 1.24	7.60 ± 1.28^{abc}	7.40 ± 1.52^{a}
9	0	0	15.0	15.0	33.0	6.83 ± 1.49^{b}	7.43 ± 1.41	7.47 ± 1.36^{abc}	6.50 ± 2.22^{b}

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

4.1.5 ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

จากเกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม คือ พิจารณาเลือกปริมาณการใช้พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้รับคะแนนความชอบจากผู้สูงอายุมากที่สุด โดยเฉพาะมีความเหมาะสมในการเคี้ยวและการกลืน รวมถึงพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์ จากผลการทดลองพิจารณาได้ว่า สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งมีการใช้พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดในปริมาณที่เท่ากัน คือ 11.5% มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากได้รับคะแนนความชอบโดยรวมจัดอยู่ในกลุ่มมากที่สุด เท่ากับ 7.33 แสดงถึงความชอบระดับชอบปานกลาง นอกจากนี้ยังได้รับคะแนนความชอบด้านการเคี้ยวและคะแนนความชอบด้านการกลืนมากที่สุด คือ 8.03 และ 8.10 ตามลำดับ แสดงถึงความชอบระดับชอบมาก รวมทั้งผลการพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์ ได้แก่ ค่าสี และค่าลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 นี้ ยังคงมีสีม่วงแดง (ค่า L* เท่ากับ 39.43 ค่า a* เท่ากับ 9.57 และ ค่า b* เท่ากับ 4.84) มีลักษณะเจลที่ดี มีความคงรูป ไม่นิ่มเละ และมีเนื้อสัมผัสที่เอื้อต่อการเคี้ยวและการกลืน โดยมีค่า Hardness เท่ากับ 4134.06 g ค่า Adhesiveness เท่ากับ -233.64 g.sec ค่า Cohesiveness เท่ากับ 0.62 โดยสิ่งทดลองที่ 1 มีส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 ส่วนผสมเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ของสิ่งทดลองที่ 1 เมื่อแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (X_1) และน้ำสับปะรด (X_2)

ส่วนผสม	% โดยน้ำหนัก
พิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่	28.0
พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน	11.5
น้ำสับปะรด	11.5
แคปปา-คาราจีแนน	1.5
น้ำตาลทราย	7.5
น้ำ	40.0
รวม	100.0

4.2 ผลของปริมาณของแคปปา-คาราจีแนนและเจลาตินต่อคุณภาพของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรด

จากสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่เลือกจากข้อ 4.1 ในขั้นตอนนี้แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 ปริมาณแคปปา-คาราจีแนน 2 ระดับ (0.5% และ 1.5%) ปัจจัยที่ 2 ปริมาณเจลาติน 4 ระดับ (0% 3.5% 4.5% และ 5.5%) จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 2x4 ได้ 8 สิ่งทดลอง สุ่มตัวอย่างเยลลี่มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณด้วยวิธี QDA และประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-pointhedonic scale ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่า การแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนน และเจลาตินมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน ($p<0.05$) ต่อ ค่าสี L* a* และ b* ค่า Hardness ค่า Adhesiveness ค่า Cohesiveness คะแนนความเข้มสีม่วงแดง คะแนนความนิ่ม คะแนนความเข้มรสหวาน คะแนนความง่ายในการเคี้ยว คะแนนความง่ายในการกลืน คะแนนความชอบสี คะแนนความชอบกลิ่น คะแนนความชอบเนื้อสัมผัส คะแนนความชอบด้านการเคี้ยว และคะแนนความชอบด้านการกลืน แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน ($p\geq0.05$) ต่อคะแนนความเข้มรสเปรี้ยว คะแนนความชอบลักษณะปรากฏ คะแนนความชอบรสชาติ และคะแนนความชอบโดยรวม (แสดงรายละเอียดผลการวิเคราะห์ ANOVA ในตารางผนวกที่ ฉ -21 ถึง ฉ-40) โดยผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ค่าสี

เมื่อนำเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ทุกสิ่งทดลองมาวิเคราะห์ค่าสี ในระบบ CIE LAB แสดงผลดังตารางที่ 4-13 พบว่า ปริมาณของแคปปา-คาราจีแนนและเจลาตินมีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่า a* และ b* เป็นบวก แสดงถึงมีสีออกทางแดงและเหลือง ซึ่งสีของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มองเห็นด้วยตาเปล่ามีสีออกม่วงแดง แสดงดังภาพที่ 4-8 โดยทุกสิ่งทดลองมีค่าความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 30.86-35.47 ค่าสีแดง (a*) อยู่ในช่วง 8.76-10.05 และค่าสีเหลือง (b*) อยู่ในช่วง 3.95-4.99

ญาดา เอกสุวรรณ และคณะ (2555) รายงานว่า ชนิดและปริมาณของการใช้สารที่ทำให้เกิดเจล จำพวกคาราจีแนนและเจลาตินมีความเกี่ยวข้องกับลักษณะสีของอาหารประเภทเจล โดยพบว่าเยลลี่ลองกองที่มีการเติมปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 มีแนวโน้มของค่าสี L* เพิ่มขึ้นตามปริมาณคาราจีแนนที่เพิ่มขึ้น เมทินี ห้วยหงส์ทอง (2554) รายงานว่า เยลลี่ฟักข้าวที่มีปริมาณเจลาติน น้ำตาลทราย และกลูโคสไซรัป 7 : 21 : 29 มีค่า L* ต่ำที่สุด (42.88) และเมื่อใช้อัตราส่วนเป็น 9 : 23 : 25 มีค่า L* สูงที่สุด (49.27) แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าการปรับเปลี่ยนส่วนผสมโดยเฉพาะการเพิ่มสารที่ทำให้เกิดเจลมีแนวโน้มทำให้ค่าสี L* เพิ่มขึ้น

สำหรับค่าสี L* พบว่า สิ่งทดลองที่ 5 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 1.5% w/w เพียงอย่างเดียว มีค่าสี L* สูงที่สุด เท่ากับ 35.47 แสดงถึงมีความสว่างมากที่สุด ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 0.5% w/w ร่วมกับใช้เจลาติน 5.5% w/w มีค่า L* ต่ำที่สุด เท่ากับ 30.86 แสดงถึงมีความสว่างน้อยที่สุด ($p<0.05$) โดยพบข้อสังเกตในขณะทำปฏิบัติการว่าในขั้นตอนการทำ

เยลลี่หากสิ่งทดลองที่มีการใช้แคปปา-คาราจีแนนเพียงอย่างเดียวเมื่อนำแคปปา-คาราจีแนนมาละลายกับน้ำ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จะได้สารละลายที่มีลักษณะใสไม่มีสี แต่สำหรับสิ่งทดลองที่มีการใช้เจลาตินร่วมด้วยพบว่า หลังการให้ความร้อนจะได้สารละลายที่มีลักษณะมีสีออกขาว ไม่ใส ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าสิ่งทดลองที่ใช้เจลาตินร่วมด้วยในปริมาณมากขึ้นจึงมีโอกาสได้เยลลี่ที่มีความสว่างหรือใสน้อยลง ณิชาภัทร สมบูรณ์ (2556) กล่าวว่า ลักษณะเจลของแคปปา-คาราจีแนนจะมีลักษณะใสไม่มีสี โดยสามารถเตรียมได้โดยการนำมาละลายในน้ำอุณหภูมิตั้งแต่ 80 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ส่วนเจลาตินเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลประเภทโปรตีนที่ได้มาจากการสลายคอลลาเจนของเนื้อเยื่อในหนัง เอ็น และกระดูก โดยคุณภาพของเจลาตินสามารถพิจารณาได้จากสีของเจลาตินได้ เจลาตินเกรดต่ำจะให้ลักษณะเจลที่ไม่โปร่งใสอาจมีสีเหลืองส้มอ่อน โดยความขุ่นของเจลของเจลาตินมักเกิดจากกระบวนการสกัดเจลาตินไม่บริสุทธิ์พอหรืออาจมีการเติมวัตถุเจือปนอื่นผสมด้วย

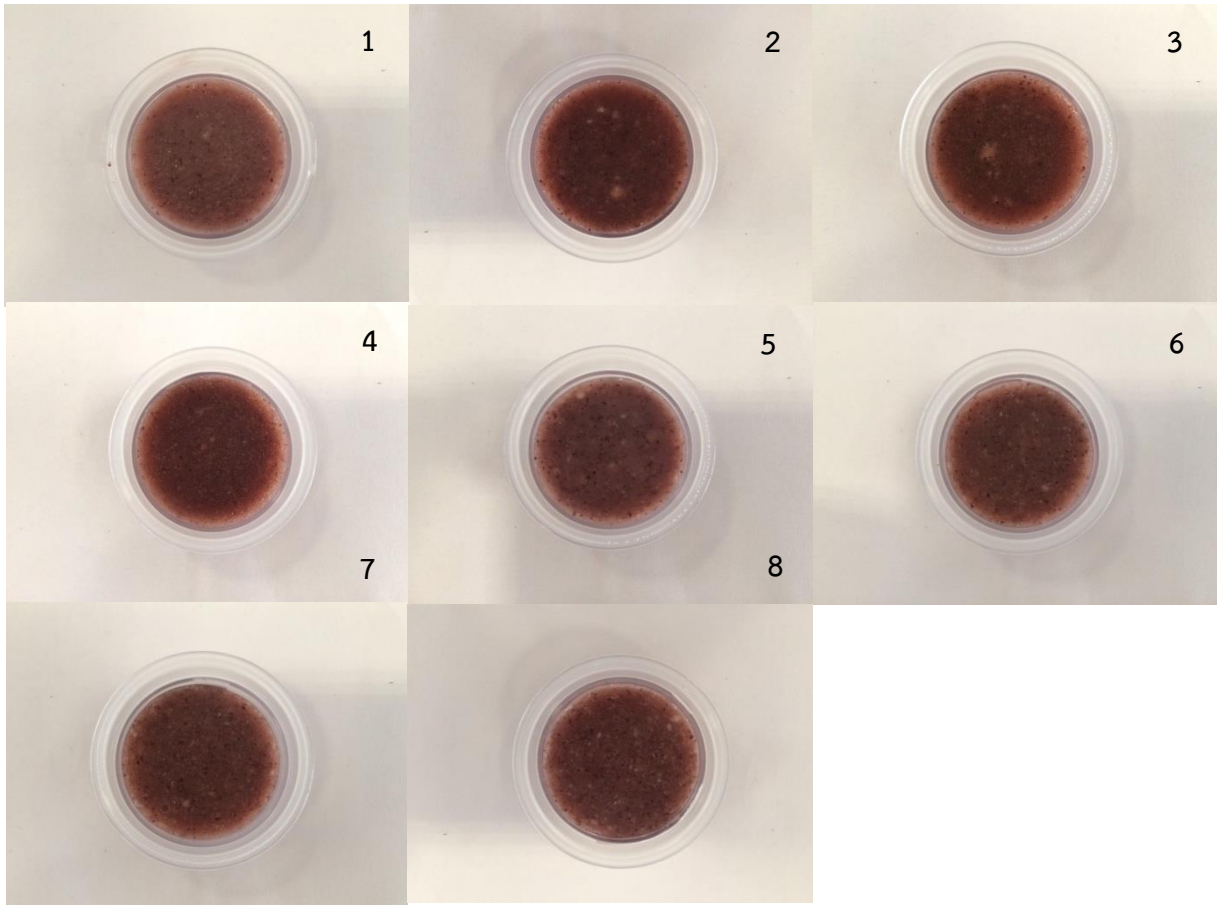
สำหรับค่าสี a* พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 0.5% w/w เพียงอย่างเดียว มีค่าสี a* สูงที่สุด เท่ากับ 10.05 แสดงถึงมีความเป็นสีแดงมากที่สุด ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 4 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 0.5% w/w ร่วมกับใช้เจลาติน 5.5% w/w มีค่า a* ต่ำที่สุด เท่ากับ 8.79 แสดงถึงมีความเป็นสีแดงน้อยที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเจลจากแคปปา-คาราจีแนนมีลักษณะใสไม่มีสี เมื่อส่วนผสมรวมตัวกันและเกิดลักษณะเจลที่ดี จึงไม่รบกวนสีม่วงแดงของพิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก ในขณะที่เจลจากเจลาตินมีลักษณะใสน้อยกว่า การใช้เจลาตินในปริมาณมากขึ้นจึงมีโอกาสรบกวนการให้สีม่วงแดงของพิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้มากกว่า

สำหรับค่าสี b* ถึงแม้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจะพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่พบว่าค่าสี b* ของทุกมีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันมาก (4.59-4.99) ยกเว้นค่าสี b* ของสิ่งทดลองที่ 5 ใช้แคปปา-คาราจีแนน 1.5% w/w เพียงอย่างเดียว มีค่า b* ต่ำที่สุด เท่ากับ 3.95 แสดงถึงมีความเป็นสีเหลืองน้อยที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองนี้มีการใช้สารที่ทำให้เกิดเจล คือ แคปปา-คาราจีแนน ซึ่งมีลักษณะใสไม่มีสี เยลลี่ที่ได้จึงให้สีม่วงแดงของพิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้มากจนกลบสีของวัตถุดิบที่ให้สีออกเหลืองของน้ำสับปะรดไว้ สิ่งทดลองดังกล่าวจึงมีค่าสีเหลืองน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-13 ค่าสี L* a* และ b* ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและเจลาติน

สิ่งทดลอง	ปริมาณ		ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	แคปปา-คาราจีแนน (% w/w)	เจลาติน (% w/w)	L*	a*	b*
1	0.5	0	34.46 ± 0.34^{b}	10.05 ± 0.45^{a}	4.75 ± 0.39^{b}
2	0.5	3.5	34.75 ± 0.27^{b}	9.28 ± 0.41^{c}	4.67 ± 0.38^{b}
3	0.5	4.5	33.35 ± 1.12^{c}	8.90 ± 0.45^{c}	4.59 ± 0.26^{b}
4	0.5	5.5	30.86 ± 0.37^{e}	8.79 ± 0.46^{d}	4.79 ± 0.56^{b}
5	1.5	0	35.47 ± 0.26^{a}	9.23 ± 0.08^{c}	3.95 ± 0.14^{c}
6	1.5	3.5	33.49 ± 0.54^{c}	9.73 ± 0.09^{ab}	4.99 ± 0.09^{a}
7	1.5	4.5	32.02 ± 0.09^{d}	9.33 ± 0.07^{bc}	4.73 ± 0.32^{b}
8	1.5	5.5	31.27 ± 0.77^{e}	9.10 ± 0.23^{cd}	4.96 ± 0.24^{ab}

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-8 ลักษณะปรากฏของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและเจลาติน

4.2.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้วิธี Texture Profile Analysis (TPA) ได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่า Hardness ค่า Adhesiveness และ ค่า Cohesiveness แสดงดังตารางที่ 4-14 พบว่า ปริมาณของแคปปา-คาราจีแนนและเจลาตินมีผลต่อค่า Hardness ค่า Adhesiveness และ ค่า Cohesiveness ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สารที่ทำให้เกิดเจล เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีสมบัติจับกับน้ำได้ โดยเมื่อนำมาละลายหรือกระจายตัวในน้ำจะทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดสูงและให้เนื้อสัมผัสกลายเป็นเจลเมื่อทิ้งไว้ให้เย็น อย่างไรก็ตามสารที่ทำให้เกิดเจลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการละลาย การเกิดเจล และมีความคงทนต่อสภาวะต่างๆ ได้ไม่เหมือนกัน (ณิชาภัทร สมบูรณ์, 2556) ในงานวิจัยนี้มีการใช้สารที่ทำให้เกิดเจล 2 ชนิด โดยในสูตรพื้นฐานเบื้องต้นมีการใช้สารที่ทำให้เกิดเจล คือ แคปปา-คาราจีแนน เนื่องจากเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลที่เป็นที่นิยมในระดับอุตสาหกรรม ทำให้ได้เจลลักษณะนุ่มและยืดหยุ่นได้ลักษณะเจลที่เอื้อต่อการเคี้ยวและกลืน อย่างไรก็ตามให้เจลที่มีลักษณะเปราะแตกง่ายและมีโอกาสเกิดการแยกตัวของน้ำ (syneresis) ระหว่างการเก็บ (สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ และคณะ, 2554) จึงมีการศึกษาการใช้สารที่ทำให้เกิดเจล คือ เจลาติน ร่วมด้วย โดยเจลาตินทำให้ได้เจลที่มีลักษณะยืดหยุ่น เนื้อสัมผัสนุ่มลื่น ช่วยให้ได้เจลที่ง่ายต่อการกลืน (สาโรจน์ รอดคืน, 2556 และสุขศรี แซ่ซือ, ม.ป.ป.)

พารามิเตอร์ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ มีความเกี่ยวข้องกับการอธิบายความด้านความเหมาะสมของเนื้อสัมผัสในด้านการเคี้ยวและการกลืนของอาหารสำหรับผู้สูงอายุ ผู้สูงอายุมีความต้องการอาหารที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสเฉพาะ เนื่องจากผู้สูงอายุมีการทำงานของต่อมน้ำลายที่ช้าลง ทำให้มีน้ำลายออกมาน้อยและมีฟันที่ไม่แข็งแรง ทำให้บดเคี้ยวอาหารได้ไม่ดีนัก ส่งผลให้กลืนอาหารค่อนข้างลำบาก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ทาให้มีการย่อยอาหารได้ช้าและดูดซึมอาหารได้ไม่ดี (นิสภา ศีตะปันย์, 2559 ; ดวงจงกล สุทธิเนียม, 2550)

ค่า Hardness หมายถึง แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกด (หน่วย คือ g) หรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก (Szczesniak, 1987) หากมีค่า Hardness มากแสดงถึงเยลลี่มีความแข็งมากต้องใช้แรงในการกดมาก อาจไม่เหมาะสมกับผู้สูงอายุที่มักมีปัญหาด้านความแข็งแรงของเหงือกและฟัน ค่า Adhesiveness หมายถึง งานที่ต้องใช้ในการดึงหัววัด ในเชิงเทคนิคการวัด หมายถึง พื้นที่ของแรงที่เป็นลบที่เกิดขึ้นจากการดึงหัววัดจากการกดครั้งแรก (หน่วย คือ g.sec) หรือเทียบได้กับความสามารถในการยึดติดของชิ้นอาหารกับฟันขณะเคี้ยว (Steffe, 1996 และสันตกิจ นิลอุดมศักดิ์, 2544) ส่วนค่า Cohesiveness หมายถึง พลังงานยึดเกาะกันภายในอาหาร หรือเทียบได้กับความสามารถในการยึดเกาะกันภายในอาหาร (Szczesniak, 1987) โดยหากมีค่าAdhesiveness และ Cohesiveness มากแสดงถึงเยลลี่มีการยึดติดกับฟันได้มากและมีเนื้อสัมผัสที่ยึดติดกันเองได้มาก อาจไม่เหมาะสมกับผู้สูงอายุที่มีมักมีปัญหามีน้ำลายออกมาน้อยขณะเคี้ยวอาหารและการกลืนอาหารลำบาก

จากตารางที่ 4-14 เมื่อพิจารณาค่า Hardness พบว่า สิ่งทดลองที่ 8 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 1.5% w/w ร่วมกับใช้เจลาติน 5.5% w/w มีค่า Hardness สูงที่สุด เท่ากับ 4030.37g

($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 0.5% w/w เพียงอย่างเดียว มีค่า Hardness ต่ำที่สุด เท่ากับ 596.16 g ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า Adhesiveness พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 0.5% w/w เพียงอย่างเดียว มีค่า Adhesiveness ต่ำที่สุด เท่ากับ -95.11 g.sec ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองอื่นๆ มีค่า Adhesiveness มากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 ค่อนข้างมาก (173.62-309.73 g.sec) ทั้งนี้เนื่องมาจากสิ่งทดลองที่ 1 ใช้สารที่ทำให้เกิดเจลปริมาณน้อยที่สุด จึงมีผลให้ลักษณะโครงสร้างของเจลแข็งแรงน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น เทียบได้กับการกดอาหารให้ติดเพดานในปาก แล้วใช้ลิ้น (แรง) ดึงอาหารออกจากเพดานปาก ถ้ามีค่า Adhesiveness ต่ำหมายถึงใช้แรงดึงน้อยให้อาหารออกจากเพดานปาก ส่งผลให้ใช้แรงน้อยในการดึงหัววัดขึ้นหลังจากการกดหัววัด ดังนั้นในสิ่งทดลองอื่นมีการใช้สารที่ทำให้เกิดเจลมากขึ้น ส่งผลให้ใช้แรงมากขึ้นในการดึงหัววัด

ค่า Cohesiveness พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.60-0.72 อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า สิ่งทดลองที่ 6 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 1.5% w/w ร่วมกับใช้เจลาติน 3.5% w/w มีค่า Cohesiveness ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.60 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 3 ใช้แคปปา-คาราจีแนน 0.5% w/w ร่วมกับใช้เจลาติน 4.5% w/w มีค่า Cohesiveness สูงที่สุด เท่ากับ 0.72 ($p<0.05$) แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าการใช้เจลาตินในปริมาณมากร่วมกับใช้แคปปา-คาราจีแนนในปริมาณต่ำ (0.5%) มีผลให้เกิดการยึดเกาะกันภายในโครงสร้างมาก สอดคล้องกับที่เมทินี ห้วยหงส์ทอง (2554) รายงานว่า ตัวอย่างกัมมี่เยลลี่มะม่วงหิมพานต์ที่ใช้ปริมาณส่วนผสมเจลาติน น้ำตาลทราย และกลูโคสไซรัป 11 19 27 และ 11 21 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณเจลาตินสูงสุดจะมีค่าการเกาะรวมตัวกันมากที่สุด เนื่องจากเจลาตินมีผลทำให้เกิดการเกาะรวมตัวกันได้ดี เมื่อใช้ปริมาณเจลาตินมากทำให้โครงสร้างเจลมีความข็งแรงขึ้นจึงเกิดการเกาะรวมตัวกันในโครงสร้างมาก (สุวรรณา สุภิมารส, 2543) จึงมีผลทำให้การเกาะรวมตัวกันเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-14 ค่า Hardness ค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและเจลาติน

สิ่งทดลอง	ปริมาณ		ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	แคปปา-คาราจีแนน (% w/w)	เจลาติน (% w/w)	Hardness (g)	Adhesiveness (g.sec)	Cohesiveness
1	0.5	0	596.16 ± 264.42^{e}	-95.11 ± 7.20^{c}	0.65 ± 0.10^{ab}
2	0.5	3.5	1012.35 ± 228.81^{d}	-241.42 ± 74.47^{ab}	0.70 ± 0.12^{ab}
3	0.5	4.5	1365.62 ± 321.81^{d}	-263.09 ± 86.10^{ab}	0.72 ± 0.09^{a}
4	0.5	5.5	2193.26 ± 308.08^{c}	-309.73 ± 110.68^{a}	0.71 ± 0.08^{ab}
5	1.5	0	2264.76 ± 230.79^{c}	-181.58 ± 36.74^{bc}	0.71 ± 0.08^{ab}
6	1.5	3.5	2014.08 ± 399.42^{c}	-241.00 ± 88.18^{ab}	0.60 ± 0.10^{b}
7	1.5	4.5	3647.75 ± 397.53^{b}	-177.82 ± 67.38^{bc}	0.66 ± 0.08^{ab}
8	1.5	5.5	4030.37 ± 404.67^{a}	-173.62 ± 38.67^{bc}	0.66 ± 0.08^{ab}

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.2.3 คะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ผลการประเมินความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) แสดงดังตารางที่ 4-15 พบว่า ปริมาณของแคปปา-คาราจีแนนและเจลาตินมีผลต่อคะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านต่อไปนี้ ได้แก่ ความเข้มสีม่วงแดง ความนิ่ม รสหวาน ความง่ายในการเคี้ยวและความง่ายในการกลืน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความเข้มรสเปรี้ยว ($p\geq0.05$)

จากตารางที่ 4-15 เมื่อพิจารณาคะแนนความเข้มสีม่วงแดง พบว่า สิ่งทดลองที่ 8 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 1.5% w/w และใช้เจลาติน 5.5% w/w ได้รับคะแนนความเข้มมากที่สุด เท่ากับ 11.83 ($p<0.05$) และสิ่งทดลองที่ 5 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 1.5% w/w เพียงอย่างเดียว ได้รับคะแนนความเข้มน้อยที่สุด เท่ากับ 8.88 ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาคะแนนความเข้มสีม่วงแดงร่วมกับค่าสี L* a* และ b* ที่วัดได้จากตารางที่ 4-13 พบว่า มีแนวโน้มสอดคล้องกับค่าสี L* โดยสิ่งทดลองที่ 5 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 1.5% w/w เพียงอย่างเดียว มีค่าสี L* สูงที่สุด ($p<0.05$) แสดงถึงมีความสว่างมากที่สุด ตัวอย่างอาจมีลักษณะผิวหน้าที่มีความใสและมันวาวมาก อาจส่งผลให้เกิดการสะท้อนของแสงมาก ผู้ทดสอบจึงเห็นสีม่วงแดงเข้มได้น้อยที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 8 มีค่าสี L* ต่ำที่สุด ($p<0.05$) แสดงถึงมีความสว่างน้อยที่สุด ตัวอย่างอาจมีลักษณะผิวหน้าที่มีความใสและมันวาวน้อย อาจส่งผลให้ ผู้ทดสอบจึงเห็นสีม่วงแดงของเยลลี่ได้ชัดเจนมากที่สุด

เมื่อพิจารณาคะแนนความนิ่ม พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 มีการใช้แคปปา-คาราจีแนน 0.5% w/w เพียงอย่างเดียว ได้รับคะแนนความนิ่มมากที่สุด เท่ากับ 13.76 ($p<0.05$) และสิ่งทดลองที่ 8 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 1.5% w/w และใช้เจลาติน 5.5% w/w ได้รับคะแนนความนิ่มน้อยที่สุด เท่ากับ 6.59 ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาคะแนนความนิ่มร่วมกับค่า Hardness ที่วัดได้จากตารางที่ 4-14 พบว่า มีแนวโน้มสอดคล้องกันที่พบว่า สิ่งทดลองที่ 8 มีค่า Hardness สูงที่สุด เท่ากับ 4030.37g ($p<0.05$) ผู้ทดสอบจึงเห็นว่าสิ่งทดลองนี้มีความนิ่มน้อยที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 มีค่า Hardness ต่ำที่สุด เท่ากับ 596.16 g ($p<0.05$) ผู้ทดสอบจึงเห็นว่าสิ่งทดลองนี้มีความนิ่มมากที่สุดนั่นเอง

เมื่อพิจารณาคะแนนความเข้มรสหวาน พบว่า สิ่งทดลองที่ 1 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 0.5% w/w เพียงอย่างเดียว ได้รับคะแนนความเข้มรสหวานมากที่สุด เท่ากับ 10.05 ($p<0.05$) และสิ่งทดลองที่ 8 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 1.5% w/w และใช้เจลาติน 4.5% w/w ได้รับคะแนนความเข้มรสหวานน้อยที่สุด เท่ากับ 6.63 ($p<0.05$) โดยพบข้อสังเกตว่าเมื่อมีการใช้ปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและเจลาตินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ได้รับคะแนนความเข้มรสหวานลดลง อาจเป็นผลจากการเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับส่วนผสม จึงทำให้รสหวานที่ได้จากน้ำตาลทรายและน้ำสับปะรดเจือจางลงจนผู้ทดสอบสามารถสัมผัสได้

เมื่อพิจารณาคะแนนความง่ายในการเคี้ยวและคะแนนความง่ายในการกลืน พบว่า มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน คือ สิ่งทดลองที่ 1 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 0.5% w/w เพียงอย่างเดียว และสิ่งทดลองที่ 5 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 1.5% w/w เพียงอย่างเดียว ได้รับคะแนนความง่ายในการเคี้ยวและคะแนนความง่ายในการกลืนมากกว่าสิ่งทดลองอื่น ($p<0.05$) โดยมีคะแนนความง่ายในการ

เคี้ยวและคะแนนความง่ายในการกลืน อยู่ในช่วง 11.08-12.05 และ 11.18-11.55 ตามลำดับ ในขณะที่สิ่งทดลองอื่นได้รับคะแนนความง่ายในการเคี้ยวและคะแนนความง่ายในการกลืนต่ำกว่า โดยอยู่ในช่วง 5.56-9.89 และ 5.21-10.21 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาร่วมกับค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness ที่วัดได้จากตารางที่ 4-13 พบว่า มีแนวโน้มสอดคล้องกันที่พบว่า สิ่งทดลองที่มีการใช้แคปปา-คาราจีแนนเพียงอย่างเดียวมีผลให้เยลลี่ที่ได้มีค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness มีค่าน้อย แสดงถึงเยลลี่มีการยึดติดกับฟันได้น้อยและมีเนื้อสัมผัสที่ยึดติดกันเองได้น้อย จึงทำให้ง่ายต่อการเคี้ยวและการกลืนมากที่สุด

ตารางที่ 4-15 คะแนนความเข้มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและเจลาติน

สิ่งทดลอง	ปริมาณ		ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	แคปปา-คาราจีแนน (% w/w)	เจลาติน (% w/w)	คะแนนความเข้มสีม่วงแดง	คะแนนความนิ่ม	คะแนนความเข้มรสหวาน
1	0.5	0	9.68 ± 0.55^{de}	13.76 ± 0.5^{a}	10.05 ± 1.09^{a}
2	0.5	3.5	10.78 ± 0.68^{bc}	9.76 ± 0.69^{c}	8.93 ± 1.19^{b}
3	0.5	4.5	10.06 ± 0.73^{cd}	10.20 ± 0.40^{c}	7.60 ± 0.68^{c}
4	0.5	5.5	10.31 ± 0.64^{cd}	8.23 ± 0.42^{d}	6.85 ± 0.84^{c}
5	1.5	0	8.88 ± 0.99^{f}	11.19 ± 1.02^{b}	8.90 ± 0.89^{b}
6	1.5	3.5	9.24 ± 0.66^{ef}	9.88 ± 0.66^{c}	8.80 ± 1.03^{b}
7	1.5	4.5	11.45 ± 0.68^{ab}	6.93 ± 0.91^{e}	7.49 ± 0.38^{c}
8	1.5	5.5	11.83 ± 0.72^{a}	6.59 ± 0.84^{e}	6.63 ± 0.89^{c}

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-15 คะแนนความเข้มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและเจลาติน (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ปริมาณ		ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	แคปปา-คาราจีแนน (% w/w)	เจลาติน (% w/w)	คะแนนความเข้มรสเปรี้ยว[ns]	คะแนนความง่ายในการเคี้ยว	คะแนนความง่ายในการกลืน
1	0.5	0	8.07 ± 0.50	11.08 ± 0.65[b]	11.55 ± 0.65[a]
2	0.5	3.5	8.05 ± 0.60	9.89 ± 1.56[c]	10.21 ± 1.16[b]
3	0.5	4.5	8.15 ± 0.90	9.60 ± 0.58[cd]	9.15 ± 0.41[c]
4	0.5	5.5	8.18 ± 0.95	7.46 ± 0.58[e]	7.93 ± 0.91[d]
5	1.5	0	8.64 ± 0.81	12.05 ± 0.76[a]	11.18 ± 1.31[a]
6	1.5	3.5	8.98 ± 0.70	9.24 ± 0.95[cd]	9.58 ± 0.45[bc]
7	1.5	4.5	8.74 ± 0.87	8.93 ± 0.98[d]	7.25 ± 0.83[d]
8	1.5	5.5	8.69 ± 0.94	5.56 ± 0.28[f]	5.21 ± 0.20[e]

[a,b...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

4.2.4 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยผู้ประเมินคือผู้สูงอายุ (อายุ 60 ปีขึ้นไป) แสดงผลดังตารางที่ 4-16 พบว่า ปริมาณของแคปปา-คาราจีแนนและเจลาตินมีผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสในด้านต่อไปนี้ ได้แก่ ความชอบกลิ่น เนื้อสัมผัส การเคี้ยว การกลืนและความชอบโดยรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบลักษณะปรากฏ สี และรสชาติ ($p\geq0.05$)

สำหรับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ พบว่า ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 6.60-7.37 คะแนนความชอบด้านสี พบว่า ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 6.87-7.67 และคะแนนความชอบด้านรสชาติ พบว่า ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 5.90-7.47 แสดงให้เห็นว่าการใช้ปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและเจลาตินต่างกัน ยังคงทำให้ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและความชอบด้านสี อยู่ในระดับชอบ (คะแนนความชอบมากกว่า 6) โดยอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง สำหรับคะแนนความชอบด้านรสชาติถึงแม้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจะไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) แต่พบว่าได้รับคะแนนความชอบอยู่ในช่วงค่อนข้างกว้าง แสดงถึงความชอบระดับเฉยๆ ถึงชอบปานกลาง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและเจลาตินต่างกันอาจส่งผลต่อการกระจายตัวของส่วนผสมซึ่งอาจมีผลต่อการคงอยู่ของรสชาติของส่วนผสมต่างๆ นอกจากนี้ปริมาณการใช้แคปปา-คาราจีแนนและเจลาตินที่มากขึ้นเป็นผลจากการเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับส่วนผสม จึงทำให้รสชาติที่ได้จากส่วนผสมต่างๆ เจือจางลงได้

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวม พบว่า สิ่งทดลองที่ 5 ที่ใช้แคปปา-คาราจีแนน 1.5% w/w เพียงอย่างเดียว ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด เท่ากับ 7.47 ($p<0.05$) แสดงถึงความชอบระดับชอบปานกลาง และยังพบว่าสิ่งทดลองที่ 5 นี้ได้รับคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสมากที่สุด เท่ากับ 7.83 ($p<0.05$) แสดงถึงความชอบระดับชอบปานกลางเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าสิ่งทดลองที่ 5 นี้ได้รับคะแนนความชอบด้านการเคี้ยว และความชอบด้านการกลืนมากที่สุดเท่ากับ 8.07 และ 8.23 ตามลำดับ ($p<0.05$) แสดงถึงความชอบระดับชอบมาก

จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้สารที่ทำให้เกิดเจล คือ แคปปา-คาราจีแนน 1.5% w/w เพียงอย่างเดียว ยังคงมีผลให้ได้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เอื้อต่อการเคี้ยวและกลืนมากที่สุด การลดปริมาณคาราจีแนนลงเป็น 0.5% ร่วมกับการใช้เจลาตินร่วมด้วย (0-5.5%) ทำให้ได้เยลลี่ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสเอื้อต่อการเคี้ยวและกลืนน้อยกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแคปปา-คาราจีแนนทำให้ได้เจลที่มีลักษณะคงตัวและค่อนข้างเปราะ แต่สามารถกัดเคี้ยวง่าย ในขณะที่เจลาตินให้ได้เจลที่มีลักษณะนุ่มและมีความยืดหยุ่น แต่การใช้เจลาตินปริมาณมากขึ้นอาจทำให้เจลมีโครงสร้างแข็งแรงมากขึ้น อาจสามารถกัดเคี้ยวและกลืนได้ยากขึ้น เนื่องจากต้องใช้พลังงานในการเคี้ยวบดอาหารมากขึ้น (Pye, 1997; เฉลิมพล ถนอมวงค์, 2552) นอกจากนี้การใช้ปริมาณคาราจีแนนลงเป็น 1.5% ร่วมกับการใช้เจลาตินร่วมด้วย (0-5.5%) ก็ทำให้ได้เยลลี่ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เอื้อต่อการเคี้ยวและกลืนน้อยกว่าเช่นกัน เนื่องจากเมื่อใช้สารที่ทำให้เกิดเจลมากขึ้นทำให้โครงสร้างแข็งแรงมากขึ้น จึงต้องใช้พลังงานในการเคี้ยวบดอาหารมากขึ้นนั่นเอง

เกวลี ปารมีมาศ และคณะ (2559) รายงานว่า ชนิดและปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ โดยพบว่าตัวอย่างเยลลี่ฟักข้าวที่ใช้อัตราส่วนผสมเจลาติน คอลลาเจน และคาราจีแนน 7.5 : 2 : 0.5 ได้รับความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสูงที่สุด (6.60) ส่วนสิ่งทดลองที่ใช้อัตราส่วนผสมเจลาติน คอลลาเจน และคาราจีแนน 8 : 1 : 1 ได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะเนื้อสัมผัสต่ำที่สุด (4.67)

ตารางที่ 4-16 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและเจลาติน

	ปริมาณ		ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
สิ่งทดลอง	แคปปา-คาราจีแนน (% w/w)	เจลาติน (% w/w)	ความชอบลักษณะปรากฏ^{ns}	ความชอบสี^{ns}	ความชอบกลิ่น	ความชอบรสชาติ^{ns}
1	0.5	0	7.10 ± 0.80	7.27 ± 0.87	6.13 ± 1.04^{de}	5.97 ± 1.30
2	0.5	3.5	6.80 ± 0.66	6.90 ± 0.96	6.60 ± 1.00^{bcd}	6.60 ± 1.00
3	0.5	4.5	6.60 ± 0.92	7.67 ± 0.92	5.83 ± 1.09^{e}	6.07 ± 1.17
4	0.5	5.5	6.60 ± 1.00	7.00 ± 0.95	6.53 ± 0.97^{cd}	6.80 ± 1.00
5	1.5	0	7.37 ± 0.93	6.87 ± 1.04	7.10 ± 0.96^{ab}	7.00 ± 0.95
6	1.5	3.5	7.13 ± 0.97	7.13 ± 0.97	7.17 ± 0.95^{a}	6.83 ± 0.87
7	1.5	4.5	7.20 ± 0.96	7.03 ± 1.16	7.23 ± 0.94^{a}	6.77 ± 1.10
8	1.5	5.5	7.33 ± 0.88	6.97 ± 0.96	6.93 ± 0.94^{abc}	5.90 ± 1.27

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-16 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนนและเจลาติน (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ปริมาณ		ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	แคปปา-คาราจีแนน (% w/w)	เจลาติน (% w/w)	ความชอบเนื้อสัมผัส	ความชอบด้านการเคี้ยว	ความชอบด้านการกลืน	ความชอบโดยรวม
1	0.5	0	5.93 ± 1.08^{cd}	6.97 ± 1.30^{bcd}	7.03 ± 0.96^{b}	7.10 ± 1.09^{ab}
2	0.5	3.5	5.57 ± 1.19^{d}	6.60 ± 1.25^{cd}	6.63 ± 1.25^{b}	6.30 ± 0.99^{cd}
3	0.5	4.5	6.27 ± 1.17^{bc}	6.47 ± 1.20^{d}	6.60 ± 1.22^{b}	6.60 ± 1.54^{bc}
4	0.5	5.5	4.43 ± 1.19^{e}	5.37 ± 0.93^{e}	5.50 ± 1.17^{c}	5.90 ± 0.84^{d}
5	1.5	0	7.83 ± 0.65^{a}	8.07 ± 0.78^{a}	8.23 ± 0.77^{a}	7.47 ± 1.11^{a}
6	1.5	3.5	6.67 ± 1.06^{b}	7.03 ± 1.00^{bc}	6.80 ± 0.96^{b}	6.90 ± 0.92^{b}
7	1.5	4.5	6.47 ± 0.96^{bc}	7.20 ± 1.06^{b}	7.07 ± 0.98^{b}	6.67 ± 0.92^{bc}
8	1.5	5.5	6.47 ± 1.01^{bc}	6.97 ± 0.93^{bcd}	6.90 ± 0.92^{b}	6.63 ± 1.07^{bc}

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.2.5 การคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด

จากเกณฑ์ในการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม คือ พิจารณาเลือกปริมาณการใช้สารที่ทำให้เกิดเจลที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้รับคะแนนความชอบจากผู้สูงอายุมากที่สุด โดยเฉพาะมีความเหมาะสมในการเคี้ยวและการกลืน รวมถึงพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์ จากผลการทดลองพิจารณาได้ว่า สิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งมีการใช้แคปปา-คาราจีแนน 1.5% w/w ร่วมกับเจลาติน 0.0% w/w มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด เท่ากับ 7.47 แสดงถึงความชอบระดับชอบปานกลาง นอกจากนี้ยังได้รับคะแนนความชอบด้านการเคี้ยวและคะแนนความชอบด้านการกลืนมากที่สุด คือ 8.07 และ 8.23 ($p<0.05$) ตามลำดับ แสดงถึงความชอบระดับชอบมาก และเมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์ พบว่า สิ่งทดลองที่ 5 นี้ยังคงมีสีออกม่วงแดง มีความสว่างมากที่สุด และมีความเป็นสีเหลืองน้อยที่สุด โดยมีค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 35.47 9.23 และ 3.95 ตามลำดับ นอกจากนี้ได้เยลลี่ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี มีความแข็งไม่น้อยหรือมากจนเกินไป มีการยึดติดกับฟันได้น้อย และมีเนื้อสัมผัสที่ยึดติดกันเองได้น้อย โดยมีค่า Hardness ค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness เท่ากับ 2264.76 -181.58 และ 0.71 ตามลำดับ โดยสิ่งทดลองที่ 5 มีส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 4-17

ตารางที่ 4-17 ส่วนผสมเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรที่เหมาะสมที่สุด

ส่วนผสม	% โดยน้ำหนัก
พิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่	28.0
พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน	11.5
น้ำสับปะรด	11.5
แคปปา-คาราจีแนน	1.5
เจลาติน	0.0
น้ำตาลทราย	7.5
น้ำ	40.0
รวม	100.0

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารเจลสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาได้

ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้และเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรพื้นฐานแสดงดังตารางที่ 4-18 พบว่าเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ซึ่งมีการใช้ส่วนผสมของเนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรด มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรพื้นฐาน ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์อาหารเจลสำหรับผู้สูงอายุต้นแบบที่พัฒนาขึ้นนี้นอกจากจะมีคุณภาพทางกายภาพ และประสาทสัมผัสที่ดีเป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภคแล้วยังมีคุณภาพทางเคมีที่ดีขึ้นกว่าสูตรพื้นฐาน

ตารางที่ 4-18 คุณภาพทางเคมีของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้และเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรพื้นฐาน

คุณภาพทางเคมี	สูตรที่พัฒนาได้	สูตรพื้นฐาน
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (% โดยน้ำหนักแห้ง)	4.25 ± 0.25[a]	0.65 ± 0.78[b]
ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (% โดยน้ำหนักแห้ง)	1.69 ± 0.52[a]	0.65 ± 0.18[b]
ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (% โดยน้ำหนักแห้ง)	2.56 ± 0.55[a]	ND
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	104.41 ± 5.33[a]	23.02 ± 2.68[b]
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)	75.82 ± 0.20[a]	73.90 ± 0.34[b]

[a,b] แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ND (Nott Detected) หมายถึง ตรวจไม่พบ

4.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเยลลี่ที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษา

จากการผลิตเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ตามสูตรที่เลือกได้ โดยบรรจุเยลลี่ในถ้วยพลาสติกและมีฝาปิด ชนิดโพลีโพรพิลีน ขนาด 1 ออนซ์ ลักษณะตัวอย่างเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ แสดงดังภาพที่ 4-9 เก็บรักษาโดยเลียนแบบสภาวะการจัดจำหน่ายจริง โดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยสุ่มตัวอย่างทุก 1 สัปดาห์ มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าTBARS ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณด้วยวิธี QDA ประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งปริมาณยีสต์และรา

ภาพที่ 4-9 ลักษณะเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้

4.3.1 ค่าสี

เมื่อสุ่มตัวอย่างเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ในระหว่างการเก็บรักษา มาวัดสีในระบบ CIE LAB แสดงผลดังตารางที่ 4-19

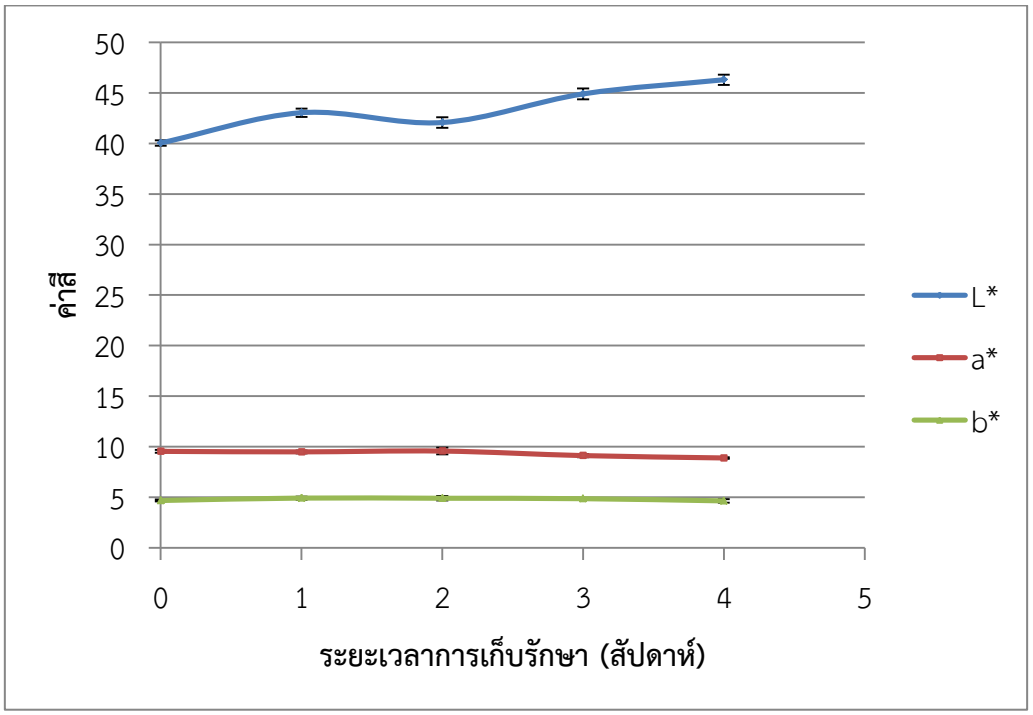
ตารางที่ 4-19 ค่าสี L* a* และ b* ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L*	a*	b* [ns]
0	40.05 ± 0.27[e]	9.54 ± 0.15 [a]	4.68 ± 0.09
1	43.04 ± 0.41[c]	9.49 ± 0.14 [a]	4.92 ± 0.16
2	42.07 ± 0.53[d]	9.57 ± 0.34 [a]	4.90 ± 0.21
3	44.90 ± 0.52[b]	9.12 ± 0.15 [b]	4.86 ± 0.04
4	46.30 ± 0.51[a]	8.89 ± 0.08 [b]	4.64 ± 0.19

[a,b...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากตารางที่ 4-19 พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าสี L* และ a* ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าสี b* ($p\geq0.05$) โดยภาพรวมค่าสี a* และ b* เป็นบวก แสดงถึง มีสีออกทางแดงและเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับสีของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มองเห็นด้วยตาเปล่าว่าตลอดการเก็บรักษาทุกสิ่งทดลองยังคงมีสีออกม่วงแดง โดยมีค่าความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 40.05-46.3 ค่าสีแดง (a*) อยู่ในช่วง 8.89-9.57 และค่าสีเหลือง (b*) อยู่ในช่วง 4.64-4.92 โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้นถึง 4 สัปดาห์ ค่าสี L* มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 46.30 ในขณะที่ค่าสี a มีค่าคงที่ระหว่างการเก็บ 2 สัปดาห์ และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 และ 4 สัปดาห์ ในขณะที่ค่าสี b* มีค่าคงที่ตลอดการเก็บรักษา โดยพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้ตามภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี L* a* และ b* กับระยะเวลาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้

สำหรับค่าสี L* พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อเวลาเก็บรักษานานขึ้นมีผลให้ประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำของเจลลดลง ทำให้น้ำที่เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีโอกาสเกิดการแยกตัวออกมากได้ สังเกตได้จากมีน้ำปริมาณเล็กน้อยเคลือบที่ผิวหน้าผลิตภัณฑ์ จึงอาจมีผลให้เกิดการสะท้อนของแสงมากขึ้นเล็กน้อยรวมทั้งสีที่บริเวณผิวหน้าถูกเจือจางด้วยน้ำที่เคลือบอยู่ จึงส่งผลให้เมื่อนำตัวอย่างมาวัดค่าสี ทำให้มีแนวโน้มค่าความสว่างเพิ่มขึ้นได้ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาร่วมกับการเปลี่ยนแปลงค่าสี a* พบว่า ค่าสี a* มีแนวโน้มลดลง แม้เริ่มลดลงเมื่อเก็บไว้ถึง 3 สัปดาห์ มีความสอดคล้องกับการที่ค่าสี L* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น กล่าวคือเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้มีสีจางลงเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นนั่นเอง

ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีรงควัตถุแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ที่ให้สีม่วงแดงเป็นองค์ประกอบหลัก (พัชราภรณ์ รัตนธรรม และคณะ, 2556) โดยรงควัตถุแอนโทไซยานินจะละลายได้ดีในน้ำ เมื่อการเก็บรักษานานขึ้นประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำของเจลลดลงทำให้น้ำที่เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เกิดการแยกตัวออกมาก แอนโทไซยานินจึงมีโอกาสละลายออกมากับน้ำบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ได้

อย่างไรก็ตามโดยภาพรวมจะเห็นว่าเยลลี่มีการเปลี่ยนแปลงสีไม่มากนัก อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์เยลลี่และสภาวะการเก็บสามารถรักษารงควัตถุแอนโทไซยานินได้ ในงานวิจัยนี้มีการใช้น้ำสับปะรดร่วมด้วยซึ่งทำให้ส่วนผสมเยลลี่มีสภาวะเป็นกรดอ่อนๆ นัยวิทย์ เฉลิมนนท์ (2538) รายงานว่า แอนโทไซยานินจะมีเสถียรภาพดีเมื่ออยู่ในสารละลายที่มีคา pH ต่ำ สามารถให้สีแดงถึงสีม่วง โดยค่าความเข้มของสี (color intensity) จะแปรผันตามค่า pH ด้วย กล่าวคือ มีความเข้มสีมากที่สุดที่ pH 1.0 และความเข้มสีลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อค่า pH เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Prodanov et al. (2004) ที่รายงานว่า สารสีแอนโทไซยานิน คงตัวได้ดีในสภาวะที่มีความเป็นกรดและมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ มีผลให้เพิ่มความคงตัวให้กับสารสีแอนโทไซยานินได้

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้วิธี Texture Profile Analysis (TPA) รายงานค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่า Hardness ค่า Adhesiveness และ ค่า Cohesiveness แสดงดังตารางที่ 4-20

ตารางที่ 4-20 ค่า Hardness ค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ค่า Hardness^{ns} (g)	ค่า Adhesiveness^{ns} (g.sec)	ค่า Cohesiveness^{ns}
0	2626.63 ± 319.39	-192.37 ± 41.23	0.19 ± 0.01
1	2697.56 ± 341.46	-183.04 ± 45.12	0.20 ± 0.02
2	2471.64 ± 158.79	-162.45 ± 41.85	0.20 ± 0.02
3	2475.84 ± 117.65	-197.54 ± 5.63	0.19 ± 0.02
4	2595.78 ± 241.13	-199.66 ± 10.03	0.19 ± 0.02

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4-20 พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า Hardness ค่า Adhesiveness และ ค่า Cohesiveness ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ไม่ได้รับผลกระทบตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ จึงสามารถยืนยันให้เห็นได้ว่าเนื้อสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังคงมีลักษณะเนื้อสัมผัสโดยเฉพาะด้านการเคี้ยวและการกลืนที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นอาหารสำหรับผู้สูงอายุได้ Kohyama et al. (2015) รายงานว่า การเตรียมเจลจากไฮโดรคอลลอยด์ที่แตกต่างกัน 9 ชนิด มีผลให้ได้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจล ได้แก่ ค่า Firmness ค่า Cutting effort ค่า Elasticity ค่า Extensibility ค่า

Adhesiveness และค่า Melting rate in the mouth แตกต่างกัน ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์กับความยากง่ายในการเคี้ยวและการกลืน ดังนั้นการตรวจวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมจะใช้อธิบายความยากง่ายในการเคี้ยวและการกลืนอาหารประเภทเจลได้

เมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ค่า Hardness มีค่าอยู่ในช่วง 2471.64-2697.56 g ค่า Adhesiveness มีค่าอยู่ในช่วง (-) 246.37- (-) 162.45 g.sec และ ค่า Cohesiveness มีค่าอยู่ในช่วง 0.19-0.20 การที่ลักษณะเนื้อสัมผัสดังกล่าวไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ตลอดการเก็บรักษา อาจเนื่องมาจากใช้สภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม เช่น การมีฝาปิด และเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น อาจช่วยลดโอกาสการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสได้ดี นอกจากนี้เจลเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ น่าจะมีโครงสร้างเจลที่แข็งแรง ทนต่อสภาวะการเก็บรักษา แม้ผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่พัฒนาได้นี้ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ คือ แคปปา-คาราจีแนนเพียงชนิดเดียว ปริมาณ 1.5% แต่ในส่วนผสมมีการใช้พิวเร่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน และน้ำสับปะรดร่วมด้วย ส่วนผสมดังกล่าวนี้มีองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยให้เจลมีความแข็งแรง เสริมการทำหน้าที่ของแคปปา-คาราจีแนนได้

4.3.3 ค่า TBARS

Lake and Scholes (1997) พบว่า น้ำมันที่มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระดับปานกลาง มีค่า TBARS เท่ากับ 6.732 มิลลิกรัมมาโลนอัลดีไฮด์/กิโลกรัม ส่วนน้ำมันที่มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระดับระดับสูง มีค่า TBARS เท่ากับ 16.913 mg มิลลิกรัมมาโลนอัลดีไฮด์/กิโลกรัม จากตารางที่ 4-21 แสดงค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ระหว่างการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาค่า TBARS ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่การเก็บ 0, 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่า เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่า TBARS เท่ากับ 2.15, 3.62, 6.85, 8.31 และ 10.98 มิลลิกรัมมาโลนอัลดีไฮด์/กิโลกรัม ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บรักษา ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ค่า TBARS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) ได้โดยมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงที่เป็นองค์ประกอบของพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา ธนิกา ปฐมวิชัยวัฒน์ (2553) รายงานว่า เนื้อมะพร้าวอ่อนมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายชนิด เช่น กรดไลโนเลอิก (linoleic acid) ชื่นจิต สีพญา และคณะ (2558) รายงานว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยพบว่ามีโอเมกา 3 ปริมาณ 25.51 mg/kg ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบสำคัญที่เป็นสาเหตุหลักทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเกิดกลิ่นหืนได้ อย่างไรก็ตาม ตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ พบว่ามีค่า TBARS อยู่ในช่วง 2.15-10.98 มิลลิกรัมมาโลนอัลดีไฮด์/กิโลกรัม จากค่า TBARS พบว่า เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระดับปานกลาง และมีแนวโน้มเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระดับระดับสูงขึ้น

ตารางที่ 4-21 ค่า TBARS ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

ระยะเวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	ค่า TBARS เฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมมาโลนอัลดีไฮด์/กิโลกรัม)
0	2.15 ± 0.02^{e}
1	3.62 ± 0.03^{d}
2	6.85 ± 0.03^{c}
3	8.31 ± 0.02^{b}
4	10.98 ± 0.08^{a}

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.3.4 คะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) แสดงผลดังตารางที่ 4-22 พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีม่วงแดง รสหวาน และความง่ายในการเคี้ยวของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนิ่ม รสเปรี้ยว และความง่ายในการกลืน ($p\geq0.05$)

จากตารางที่ 4-22 เมื่อพิจารณาความเข้มสีม่วงแดง พบว่า ได้รับคะแนนความเข้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสี L* และ a* ในตารางที่ 4-19 และเมื่อพิจารณาความเข้มรสหวาน พบว่า ได้รับคะแนนความเข้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อเวลาเก็บรักษานานขึ้นมีผลให้ประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำของเจลลดลง ทำให้น้ำที่เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีโอกาสเกิดการแยกตัวออกมากได้ จึงอาจมีผลให้สารที่ให้รสหวานต่างๆ ในส่วนผสมของเยลลี่มีโอกาสละลายออกมากับน้ำได้ จึงทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกว่าเยลลี่มีรสหวานน้อยลง และเนื่องจากเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการใช้น้ำสับปะรดร่วมด้วย 11.5% จึงทำให้เยลลี่มีรสเปรี้ยวเล็กน้อย และพบว่าตลอดการเก็บรักษาได้รับคะแนนความเข้มรสเปรี้ยวอยู่ในช่วง 0.62-1.55 ซึ่งเป็นความเข้มระดับน้อยกว่ารสหวานและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการเก็บรักษา ($p\geq0.05$)

เมื่อพิจารณาความง่ายในการเคี้ยว พบว่า คะแนนอยู่ในช่วง 12.01-13.76 ซึ่งแสดงถึงตัวอย่างเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ ยังคงมีความง่ายในการเคี้ยวค่อนข้างสูงตลอดการเก็บรักษา แม้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจะพบว่าคะแนนมีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) และเมื่อพิจารณาร่วมกับคะแนนด้านความนิ่ม และความง่ายในการกลืน พบว่า ตลอดการเก็บรักษาได้คะแนนอยู่ในช่วง 10.84-12.76 และ 12.66-13.34 ซึ่งยืนยันให้เห็นได้ว่า ตัวอย่างเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ ยังคงมีความนิ่มและความง่ายในการกลืนค่อนข้างสูงและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการเก็บรักษา ($p\geq0.05$) โดยผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าลักษณะเนื้อสัมผัส ในตารางที่ 4-19

ตารางที่ 4-22 คะแนนความเข้มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ตามระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

สัปดาห์	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ความเข้มสีม่วงแดง	ความนิ่ม^{ns}	ความเข้มรสหวาน	ความเข้มรสเปรี้ยว^{ns}	ความง่ายในการเคี้ยว	ความง่ายในการกลืน^{ns}
0	9.20 ± 0.83^{a}	12.02 ± 1.35	8.20 ± 0.52^{a}	1.26 ± 0.78	12.01 ± 1.46^{b}	12.66 ± 1.12
1	8.52 ± 0.79^{a}	10.84 ± 2.14	8.24 ± 1.34^{a}	1.20 ± 1.19	12.35 ± 1.34^{b}	12.76 ± 1.11
2	6.40 ± 1.02^{b}	11.62 ± 1.24	5.04 ± 0.87^{b}	0.68 ± 0.89	12.55 ± 0.54^{b}	12.70 ± 0.69
3	4.75 ± 0.68^{c}	12.76 ± 1.16	4.71 ± 1.08^{b}	0.62 ± 0.60	13.76 ± 0.91^{a}	13.26 ± 1.03
4	4.94 ± 0.45^{c}	12.41 ± 0.81	4.36 ± 0.83^{b}	1.55 ± 0.86	12.79 ± 0.97^{ab}	13.34 ± 0.69

$^{a,b...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

4.3.5 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยผู้ประเมินคือผู้สูงอายุ (อายุ 60 ปีขึ้นไป) แสดงผลดังตารางที่ 4-23 พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสทุกด้าน ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า แม้คุณลักษณะบางประการอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างในระหว่างการเก็บรักษา เช่น ด้านความเข้มสีแดง และด้านความเข้มรสหวาน (ตารางที่ 4-22) แต่ผู้ทดสอบยังคงยอมรับผลิตภัณฑ์เยลลี่ในคุณลักษณะทุกด้านที่ประเมิน ได้แก่ ความชอบลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส การเคี้ยว การกลืน โดยคะแนนความชอบด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 7.00-7.97 แสดงถึงความชอบระดับชอบปานกลาง และคะแนนความชอบด้านการเคี้ยวและการกลืนอยู่ในช่วง 8.00-8.30 แสดงถึงความชอบระดับชอบมาก

ตารางที่ 4-23 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ตามระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

สัปดาห์	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน							
	ความชอบลักษณะปรากฏ[ns]	ความชอบสี[ns]	ความชอบกลิ่น[ns]	ความชอบรสชาติ[ns]	ความชอบเนื้อสัมผัส[ns]	ความชอบด้านการเคี้ยว[ns]	ความชอบด้านการกลืน[ns]	ความชอบโดยรวม[ns]
0	7.37 ± 0.49	7.37 ± 0.56	7.47 ± 1.01	7.60 ± 1.00	7.80 ± 0.85	8.10 ± 0.71	8.07 ± 0.74	7.77 ± 0.63
1	7.10 ± 0.71	7.17 ± 0.70	7.43 ± 1.17	7.10 ± 1.06	7.10 ± 1.12	8.00 ± 0.83	8.13 ± 0.73	7.53 ± 0.57
2	7.30 ± 0.75	7.23 ± 0.94	7.97 ± 0.72	7.33 ± 0.99	7.50 ± 0.97	8.27 ± 0.74	8.30 ± 0.70	7.90 ± 0.61
3	7.43 ± 0.57	7.07 ± 0.87	7.77 ± 0.94	7.13 ± 1.11	7.43 ± 0.94	8.17 ± 0.59	8.20 ± 0.61	7.80 ± 0.55
4	7.17 ± 0.70	7.20 ± 0.89	7.93 ± 0.87	7.00 ± 0.87	7.10 ± 0.99	8.03 ± 0.67	8.07 ± 0.74	7.53 ± 0.51

[ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

4.3.6 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา

จากการวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่แสดงผลดังตารางที่ 4-24 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์รา เป็นดัชนีชี้วัดการกำหนดการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ โดยมีเกณฑ์กำหนดด้านความปลอดภัยสำหรับการบริโภคเยลลี่ที่กำหนดไว้ว่า จุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน $1x10^4$ CFU/g ปริมาณยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 CFU/g (ตามเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 518/2547)

จากการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา ทุก 1 สัปดาห์ พบว่า เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ $3.5x10^1$ CFU/g ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 10 est. CFU/g โดยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์รามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาวะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เยลลี่เป็นสภาวะแบคทีเรียกลุ่ม psychrophiles ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิแช่เย็นสามารถเจริญเติบโตได้ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์เยลลี่ยังมีน้ำตาลเป็นส่วนผสมซึ่งเป็นปัจจัยที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของยีสต์และราได้ด้วย ตัวอย่างเช่น ยีสต์พวก osmophilic yeast (ธิราพร จุลยุเสน, 2558) จากการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา พบว่า ตลอดการเก็บรักษามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดจึงปลอดภัยสำหรับการบริโภค

ตารางที่ 4-24 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TC) ปริมาณยีสต์และรา (YM) ของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (CFU/g)	
	TC	YM
0	<10 est.	<10 est.
1	<10 est.	<10 est.
2	<10 est.	<10 est.
3	$1.0x10^1$	<10 est.
4	$3.5x10^1$	<10 est.

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) จากการศึกษาการเติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดต่อคุณภาพของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยแปรปริมาณพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อน (10%-20%) และแปรปริมาณสับปะรด (10%-20%) จัดสิ่งทดลองแบบ CCD (Central composite design) ได้ 9 สิ่งทดลอง พบว่า ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส คะแนนความเข้มทางประสาทสัมผัส และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้าน ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่น และความชอบโดยรวมของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ และการเคี้ยวของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) การผลิตเยลลี่ที่มีการใช้พิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนปริมาณ 11.5% และน้ำสับปะรด 11.5% มีความเหมาะสมที่สุด ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมจัดอยู่ในกลุ่มมากที่สุด เท่ากับ 7.33 แสดงถึงความชอบระดับชอบปานกลาง นอกจากนี้ยังได้รับคะแนนความชอบด้านการเคี้ยวและคะแนนความชอบด้านการกลืนมากที่สุด คือ 8.03 และ 8.10 ($p<0.05$) ตามลำดับ แสดงถึงความชอบระดับชอบมาก

2) จากการศึกษาปริมาณของแคปปา-คาราจีแนนและเจลาตินต่อคุณภาพของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรด แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 ปริมาณแคปปา-คาราจีแนน 2 ระดับ (0.5% และ 1.5%) ปัจจัยที่ 2 ปริมาณเจลาติน 4 ระดับ (0.0% 3.5% 4.5% และ 5.5%) จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 2x4 ได้ 8 สิ่งทดลอง พบว่าการแปรปริมาณแคปปา-คาราจีแนน และเจลาติน มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน ($p<0.05$) ต่อค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส คะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีม่วงแดง ความนิ่ม รสหวาน ความง่ายในการเคี้ยวและความง่ายในการกลืน คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส ความชอบด้านการเคี้ยวและความชอบด้านการกลืน แต่ไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน ($p\geq0.05$) ต่อคะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านรสเปรี้ยว คะแนนความชอบของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ และความชอบโดยรวม การผลิตเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีการใช้แคปปา-คาราจีแนน 1.5% w/w เพียงอย่างเดียว มีความเหมาะสมที่สุด ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด เท่ากับ 7.47 แสดงถึงความชอบระดับชอบปานกลาง นอกจากนี้ยังได้รับคะแนนความชอบด้านการเคี้ยวและคะแนนความชอบด้านการกลืนมากที่สุด คือ 8.07 และ 8.23 ($p<0.05$) ตามลำดับ แสดงถึงความชอบระดับชอบมาก

3) เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาได้ซึ่งมีการใช้ส่วนผสมของเนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด (4.25% โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (1.69% โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (2.56% โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (104.41 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัมน้ำหนักแห้ง) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ(75.82%) มากกว่าเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรพื้นฐาน ($p<0.05$)

4) จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเยลลี่ที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษา โดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ค่าสี L* และ a* ค่า TBARS คะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มสีม่วงแดง และรสหวานของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่ค่าสี b* ลักษณะเนื้อสัมผัส คะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนิ่ม ความเข้มรสเปรี้ยว ความง่ายในการเคี้ยว และความง่ายในการกลืน คะแนนความชอบของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่พัฒนาได้ยังคงเป็นที่ยอมรับทางประสาทสัมผัส ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 7.00-7.97 แสดงถึงความชอบระดับชอบปานกลาง และคะแนนความชอบด้านการเคี้ยวและการกลืนอยู่ในช่วง 8.00-8.30 แสดงถึงความชอบระดับชอบมาก มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด แสดงถึงยังมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคตลอดการเก็บ 4 สัปดาห์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) พัฒนาสูตรอาหารเจลให้มีรสชาติหลากหลายมากขึ้นโดยการปรับชนิดของผลไม้ไทยที่ใช้

2) พัฒนาสูตรอาหารเจลโดยการใช้วัตถุดิบชนิดอื่น ที่มีสมบัติย่อยง่ายและเอื้อต่อการเคี้ยวกลืนของผู้สูงอายุ

บรรณานุกรม

กองวิทยาศาสตรชีวภาพ. (2531) เยลลี่ผลไม้ : งานถนอมอาหารและเทคโนโลยีอาหาร. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและพลังงาน.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2547). *การปลูกการเลือกสายพันธุ์และการดูแลรักษาต้นมะพร้าว*. วันที่ค้นข้อมูล 30 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.kmutt.ac.th/titec/gtz/coconut-detail-upload4.html

กอบพร จันทร์โพธิ์, สุภาวดี ดาวดี และดวงกมล ศักดิ์เลิศสกุล. (2558). ผลของสารก่อเจลและสารให้ความหวานต่อคุณลักษณะผลิตภัณฑ์เยลลี่สารสกัดมะปราง. *วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน, 11*, 290-295.

กระทรวงสาธารณสุข. (2543). *ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 213 เรื่อง แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท.*

กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา และนัทมน พุฒดวง. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่ธัญพืชเพื่อสุขภาพ. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 11*(1), 13-20.

เกวลี ปารมีกาศ, จิตนันท์ คาตั้น, จีรภา ใจวัน และพนิดา รัตนปิติกรณ์. (2559). ผลของปริมาณเจลาติน คาราจีแนน คอลลาเจน ที่มีต่อสมบัติการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เยลลี่ฟักข้าวเสริมคอลลาเจน. *FST CMU Research exercise journal*, 1-18.

จริยา เดชกุญชร. (2549). *เยลลี่ เล่ม 2* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: ทวีพริ้นท์.

จันทนี ธีรเวชเจริญชัย, กมลวรรณ แจ้งชัด, อนุวัตร แจ้งชัด, เทพกัญญา หาญศีลวัต และสินีนาถ จริยโชติเลิศ. (2558). ผลของเจลาตินและกลูโคสไซรัปต่อคุณภาพเยลลี่แครอทแผ่น. ใน *การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 52 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เล่มที่ 6 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุฑามาศ พีรพัชระ, ชนิดา ประจักษ์จิตร, ศทิญาภัช สุชาเจริญสุข และผุสดี สุชาเจริญสุข. (2554). *ความรู้เรื่องเยลลี่*. วันที่ค้นข้อมูล 14 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.clinictech.most.go.th/online/techlist/attachFile/20122141354261.pdf

จุฑามาศ รถา. (2553). *การผลิตเอนโดกลูคาเนสโดยเชื้อราที่แยกจากดิน.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาจุลชีววิทยา, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ฉัตรภา หัตถโกศล. (2549). Inulin สุดยอดของไฟเบอร์. *Insight Finding Gourmet Cuisine*, 6(6), 90-91.

เฉลิมพล ถนอมวงค์. (2552). *ผลของเจลาตินและกรดซิตริกต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกัมมี่เยลลี่รสตะไคร้*. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, พิษณุโลก.

ชื่นจิต สีพญา. (2558). *ไรซ์เบอร์รี่ข้าวดี มีประโยชน์*. สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรมวิทยาศาสตร์บริการ.

ญาณี จินดามัง และ ปิยะวิทย์ ทิพรส. (2555). *ความคงตัวของสารสีแอนโทไซยานินจากกากกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง (Hibiscus sabdariffa* Linn.*) ในผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวมูน. วารสารสุทธิปริทัศน์, 26*(80), 129-146.

ญาดา เอกสุวรรณ, พนิดา หลาบางช้าง, จุฑามาศ สุทธิรักษ์ และอินทิรา ลิจันทร์พร. (2555). ผลของคาราจีแนนต่อคุณภาพของเยลลี่ลองกอง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 43*(2), 485-488.

ณิชาภัทร สมบูรณ์. (2556). *สมบัติของเจลผสมระหว่างวุ้นกับเจลาตินปลา.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ดวงจงกล สุทธิเนียม. (2550). *การพัฒนาเครื่องดื่มสุขภาพชนิดผงจากข้าวกล้องหอมมะลิงอกสำหรับผู้บริโภคสูงอายุ*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย .

ดวงกมล ตั้งสถิตพร, ธันย์ชนก จรเสมอ, และชิดชนก เอมอมร. (ม.ป.ป.). การใช้ประโยชน์จากแกนสับปะรดและชาภูฟ้าในผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่ม. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. ฉบับพิเศษ.* 24-35.

ถนัด ไพศาขมาศ. (2545). *โรคต่างๆที่เกิดในผู้สูงอายุ*. วันที่ค้นข้อมูล 28 พฤศจิกายน 2559, เข้าถึงได้จาก http://bangkokhealth.com

ธนิกา ปฐมวิชัยวัฒน์. (2553). *น้ำมันมะพร้าวกับการลดน้ำหนัก.* วันที่ค้นข้อมูล 2 พฤษภาคม 2560, เข้าถึงได้จาก http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/

ธิราพร จุลยุเสน. (2558). *จุลินทรีย์ในอาหาร.* สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ธีรนุช ฉายศิริโชติ และสุวรรณา พิชัยยงค์วงศ์ดี. (2558). *การพัฒนาเต้าหู้นมสดเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอผง.* รายงานการวิจัย, หลักสูตรเทคโนโลยีการประกอบอาหารและการบริการและหลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูป, โรงเรียนการเรือน, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.

นราธิป ปุณเกษม. (2556). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่สมุนไพรไทยแคลอรี่ต่ำ : ขิง.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราช ภัฏสวนดุสิต.

นัยวิทย์ เฉลิมนนท์. (2538). *การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตและการใช้สีแดงธรรมชาติจากกลีบกระเจี๊ยบแดง*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร วิทยาเขตกำแพงแสน.

นิติพัฒน์ ชูกล้ากสิกรณ์. (2557). *ข้าวไรซ์เบอร์รี่*. วันที่ค้นข้อมูล 29 ตุลาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.xn--22cs9b8acu9b9a7a3hub5cc1c.net/

นิสภา ศีตะปันย์**.** (2559). *ต้นแบบนวัตกรรมอาหารเพื่อผู้สูงอายุ.* วันที่ค้นข้อมูล 10 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://oknation.nationtv.tv/mblog/entry.php?id=1009950

บรรลุ ศิริพานิช. (2557). *สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2557*. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่งจำกัด (มหาชน).

บุษกร ภู่แส. (2556, 12 กันยายน). *“โอกาส”อาหารเพื่อคนสูงวัย*. วันที่ค้นข้อมูล 4 ธันวาคม 2559, เข้าถึง ได้จาก http://www.bangkokbiznews.com/news/detail/529231

เบญจางค์ อัจฉริยะโพธา. (2558). การพัฒนาไอศกรีมเพื่อสุขภาพของผู้สูงอายุ. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, *10*(1), 107-122.

ปฏิมา พรพจมาน. (2556). *ประโยชน์ของสับปะรด*. วันที่ค้นข้อมูล 12 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://preservedphuketpineapple.blogspot.com/2013/11/blog-post_1124.html

ปรียานุช แย้มวงษ์. (2544). ทำอย่างไรให้ผู้สูงอายุรับประทานอาหารได้ดี. ในเอกสารประกอบการอบรมด้านผู้สูงอายุและความชรา พ.ศ. 2544 (หน้า 103 – 109). สมาคมพฤฒาวิทยาและเวชศาสตร์ผู้สูงอายุไทย : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปาริฉัตร หงสประภาส. (2545). *เคมีกายภาพของอาหาร คอลลอยด์ อิมัลชัน และเจล*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิยะภัทร เดชพระธรรม. (2556). ปัญหาการกลืนในผู้สูงอายุ (Dysphagia in Elderly). *บทความฟื้นฟูวิชาการ, 23*(3), 73-80.

พนิดา ปัจจักขภัติ. (2504). *การศึกษาหาตำหรับมาตรฐานในการทำเยลลี่จากผลไม้ในประเทศไทย.* คณะกสิกรรมและสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พาณิชย์ ยศปัญญา. (2544). *มะพร้าว : พืชสารพัดประโยชน์*. กรุงเทพฯ: มติชน.

พัชราภรณ์ รัตนธรรม, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และ อรพิน เกิดชูชื่น. (2556).สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องสีงอก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, *44*(2), 441-444.

เพ็ญพรรณ เวชวิทยาขลัง. (2556). โปรตีนจากมะพร้าว. *วารสารไทยไภษัชยนิพนธ์, 8*(1), 9-18.

ไพโรจน์ วงศ์พุทธิสิน, นิอร โฉมศรี, รุ่งทิพย์ กาวารี และนงคราญ พงศ์ตระกูล. (2555). *ปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์และคุณสมบัติพรีไบโอติกในลิ้นจี่ สับปะรด ลำไย และส้มเขียวหวาน.* รายงานผลการวิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 67 หน้า.

มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย. (2557). *สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2556*. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พลับชิง จำกัด.

มลศิริ วิโรทัย. (2545). *เทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ.* กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ (พว.).

เมทินี ห้วยหงส์ทอง. (2552). ผลของปริมาณเจลาติน น้ำตาลทราย และกลูโคสไซรัปต่อคุณภาพของกัมมี่เยลลี่มะม่วงหิมพานต์. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, 27*(3), 11-19.

รมณย์ ฉัตรวิรุฬห์, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา และวิชัย หฤทัยธนาสันติ์. (2555). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมะขามผสมใยอาหาร. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 50* (หน้า 308-317). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา.

วรัทยา รักอยู่ และมาริสา ขวัญเมือง. (2557). *เบต้า แคโรทีน (Beta-carotene)*. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วรรณวิมล เมฆวิมล. (2555). *ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการรับประทานอาหารของผู้สูงอายุจังหวัดสมุทรสาคราม*. รายงานการวิจัย, วิทยาลัยสหเวชศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

วาสนา วงใหญ่. (2541). *พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิมาภรณ์ มีแสง. (2546). การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่รสมะนาววิตามินซีสูง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริวรรณ ดิษาภิรมณ์ และสุทธินันท์ ตั้นชีวะวงศ์. (2554). *พันธุ์สับปะรด.* วันที่ค้นข้อมูล 14 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com

ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. (ม.ป.ป.). *ข้าวไรซ์เบอร์รี่*. วันที่ค้นข้อมูล 20 พฤศจิกายน 2550, เข้าถึงได้จาก http://dna.kps.ku.ac.th/v2016/index.php/24-news-rice-science-center/blog-news/80-riceberry-product

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2558). *ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคเหมาะกับ 5 โรคฮิตที่พบในผู้สูงอายุ*. วันที่สืบค้นข้อมูล 20 พฤศจิกายน 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.tistr.or.th/tistr/newsboard/shownews.php?Category=newsboard&No=478

สันตกิจ นิลอุดมศักดิ์. (2544). *ผลของส่วนประกอบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นปลา.* วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอาหาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุขศรี แซ่ซือ. (ม.ป.ป.). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองกึ่งแข็งกึ่งเหลวสำหรับผู้ป่วยโรงพยาบาลศรีสะเกษ.* กลุ่มงานโภชนศาสตร์ รพ.ศรีสะเกษ.

สุญาณี พงษ์ธนานิกร. (2555). *Prebiotic: Health Food*. วันที่ค้นข้อมูล 12 ธันวาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://abalonecollagengold.blogspot.com/2012/09/prebiotics.html

สุพัตรา แสงรุจิ. (2555). *อาหารผู้สูงอายุ*. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ ฝ่ายโภชนาการโรงพยาบาลศิริราช, คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล, มหาวิทยาลัยมหิดล.

สุรอรรถ ศุภจัตุรัส. (2554). *Innovation trend*. เข้าถึงได้จาก http://www.nia.or.th/innolinks/page.php?issue=201109&section=6

สุวรรณา สุภิมารส. (2543). *เทคโนโลยีการผลิตลูกกวาดและช็อกโกแลต.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์หมาวิทยาลัย.

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

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ. (ม.ป.ป.). *ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะพร้าวน้ำหอม.*

สาโรจน์ รอดคืน. (2556). สมบัติทางเคมี-กายภาพ ชีววิทยา และสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากรำข้าวอินทรีย์. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

สายสมร พลูพันธ์. (2547). *ผลของสารที่ทำให้เกิดเจลต่อคุณลักษณะผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเยลลี่รสนมผสมน้ำสตรอเบอร์รี่.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่เหลว: มผช. 518/2547.*

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่และมาร์มาเลด.* กรุงเทพฯ: วารสารสถาบันอาหาร.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2521). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแยม เยลลี่และมาร์มาเลด*. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2554). *สรุปผลที่สำคัญการสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย พ.ศ. 2554*. กรุงเทพฯ: สำนักงานสถิติแห่งชาติ.

Bacteriological analytical manual. (2002). *Chapter 3 Aerobic plate count*. USFDA. 8 pp. [Online]. Available from http://www.cfsan.fda.gov [January 2, 2017]

Bacteriological analytical manual. (2002). *Chapter 18 Yeasts Molds and Mycotoxins*. USFDA. 4 pp. [Online]. Available from http://www.cfsan.fda.gov [January 2, 2017]

Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2003). *Food Sampling/Preparation of Sample Homogenate Chapter 1.* Retrieved from http//:www.fda.moph.go.th

Box, G. E. P., Hunter, W. H., & Hunter, J. S. (1978). *Statistics for experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building*. New York: Wiley.

Buege, J. A., & Aust, S. D. (1978). Microsomal lipid peroxidation. *Methods in Enzymology, 52,* 302-310.

Chenchin, K. L., & Yamamoto, H. Y. (1978). Isolation and enzymatic hydrolysis of pineapple gum. *Journal of Food Science*, *125*, 1261-1263.

Draper, N. R. (2006). Response surface design. In S. Kotz (ed.), *Encyclopedia of Statistical Sciences* (2th ed.). New York: Wiley Press.

Funami, T., Ishihara, S., Nakauma, M., Kohyama, K., & Nishinari, K. (2012). Texture design for product using food hydrocolloids. *Food Hydrocolloids, 26*, 412-420.

Garrido, J. I., Lozano, J. E., & Genovese, D. B. (2015). Effect of formulation variables on rhrology, texture, colour, and acceptability of apple jelly: Modelling and optimization. *LWT-Food Science and Technology, 62,* 325-332.

Gibson, G. R., & Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotic. *Journal of Nutrition, 125,* 1401-1412.

Hayakawa, F., Kazami, Y., Ishihara, S., Nakao, S., Nakauma, M., Funami, T., Nishinari, K., & Kohyma, K. (2014). Characterization of eating difficulty by sensory evaluation of hydrocolloid gels. *Food Hydrocolloids, 38,* 95-103.

Hu, C. (1999). Study on rough rice fissuring during intermittent drying. *Drying Technology*, *17*, 1779-1793.

Jenkins, P. J., & Donald, A. M. (1998). Gelatinisation of starch: a combined SAXS/WAXS/DSC and SANS Study. *Carbohydrate Research, 308*(1-2)*,* 133-147.

Jonas, J. J. (1974). Gum. In *Encyclopedia of food technology*. Westport , Conn., AVi., 489-496.

Julian, M., Li, B., & Martin, B. E. (2004). Generalized partial least squares regression based on the penalized minimum norm projection. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 72*, 21-26.

Kildegaard, H., Tonning, E., & Thybo, A. (2011). Preference, liking and wanting for beverages in children aged 9–14 years: Role of sourness perception, chemical composition and background variables. *Food Quality and Preference, 22,* 620-627.

Kohyama, K., Hayakawa, F., Kazami, Y., Ishihara, S., Nakao, S., Funami, T., & Nishinari, K. (2015). Electromyographic texture characterization of hydrocolloid gels as model foods with varying mastication and swallowing difficulties. *Food Hydrocolloids, 43*, 146-152.

Lake, R. J., & Scholes, P. (1997). Quality and consumption of oxidized lipids from deepfrying fats and oils in New Zealand . *Journal of the American Oil Chemists' Society, 74*(9), 1065-1068.

Minitab Inc. (2017). *Regression Analysis: How Do I Interpret R-squared and Assess the Goodness-of-Fit?.* Retrieved from http://blog.minitab.com/blog/adventures-in-statistics-2/regression-analysis-how-do-i-interpret-r-squared-and-assess-the-goodness-of-fit [April 10, 2017]

Moskowitz, H. R. (1994). Food Concepts and Products: Just-in-Time Development. Food and Nutrition Press, Westport. CT.

Nishinari, K., Watase, M., Miyoshi, T., Takaya, T., & Oakenfull, D. (1995). Effects of sugar on the gel-sol transition of agarose and *k*-carrageenan. *Journal of Food Technology,* 90-96.

Nussinovitch, A., & Hirashima, M. (2013). *Cooking innovations*. USA: CRC Press.

Oakenfull, D. G., & Scott, A. G. (1984). Hydrophobic interaction in the gelation of high methoxyl pectins. *Journal of Food Science, 49,* 1093-1098.

Pardo, M. E. S., Cassellis, M. E. R. C., Escobedo, R. M., & García, E. J. (2014). Chemical Characterisation of the Industrial Residues of the Pineapple (*Ananas comosus*). *Journal of Agricultural Chemistry and Environment, 3*, 53-56.

Piculell, L. (1995). Gelling carageenans. In A. M. Stephen (ed.), *Food polysaccharides and their applications* (pp. 205-244). New York: Marcel Dekker, lnc.

Prodanov, M. P., Dominguez, J. A., Blazquez, I., Salinas, M. R., & Alonso, L. (2004). Some aspects of the quantitative/qualitative assessment of commercial anthocyanin–rich extracts. *Journal of Food Chemistry, 90*(4), 585-596.

Pye, J. (1997). Gelatin and Applications, In S. Maneepan (ed.). *Symposium on Confectionery Technology, Food Science and Technology Association of Thailand* (pp. 28-40). Bangkok, Thailand.

Santoso, U., Kubo, K., Ota, T., Tadokoro, T., Maekawa, A. (1996). Nutrient composition of kopyor coconuts (*Cocos nucifera* L.). *Food Chemistry, 57*(2), 299-304.

Schmidt, R. (1981). Gelation and coagulation. In J. P. Cherry (Ed.), *Protein Functionallity in Foods* (p.131). Washington D.C: ACS Series 147.

Schrieber, R. & Gareis, H. (2007). Gelatine Handbook: Theory and Industrial Practice. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Sharma, S. C. (1981). Gums and hydrocolloids in oil-water emulsions. *Food Technology, 35*(1), 59-67.

Sperling, L. H. (2006). *Introduction to Physical Polymer Science* (4th ed.). New Jersey: John Wiley & Son, Inc.

Steffe, J. F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering* (2nd ed.). USA: Freeman Press.

Suyitno, T. (2003). Health benefit of coconut milk. *Indonesian Food and Nutrition Progress, 10*(2), 106-112.

Szczesniak, A. S. (1987). Review paper: Correlating sensory with instrumental texture measurements-An overview of recent developments. *Journal of Texture Studies*, *18*, 1-15.

Tasiri, P., Suttisansanee, U., Hudthagosol, C., & Somboonpanyakul, P. (2013). Development of riceberry rice vegan jelly contains high protein and high energy for the elderly. *Journal of Agricultural Science, 46*(3), 369-372.

Thammarutwasik, P., Hongpattarakere, T., Chantachum, S., Kijroongrojana, K., Itharat, A., Reanmongkol, W., Tewtrakul, S., & Ooraikul, B. (2009). Prebiotics-A Review. *Songklanakarin Journal of Science and Technology, 31*(4), 401-408.

USDA Nutrient database (2014). USDA Food Composition Databases https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list, United States Department of Agriculture Agricultural Research Service.

Wichienchot, S., Thammarutwasik, P., Jongjareonrak, A., Chansuwan, W., Hmadhlu, P., Hongpattarakere, T., Itharat, A., & Ooraikul, B. (2011). Extraction and analysis of prebiotic from selected plants from southern Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology, 34*(5), 517-523.

Zochowska-Kujawska, J., Lachowicz, K., & Sobczak, M. (2012). Effects of fibre type and kefir, wine lemon, and pineapple marinades on texture and sensory properties of wild boar and deer longissimus muscle. *Meat Science, 92*, 675-680.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ก-1 ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) Hunterlab รุ่น MINI SCAN โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสีดังนี้

วิธีวิเคราะห์

1. ก่อนทำการวัดสีทุกครั้ง ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (Calibration) โดยการวางหัววัดทาบบนแผ่นสำหรับ Calibrate สีขาวของปุ่มกด Measure ซึ่งเครื่องวัดสีจะบันทึกข้อมูลค่าสีของแผ่นสำหรับ Calibrate ไว้

2. นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสีโดยใส่ให้เต็มภาชนะไม่ให้มีช่องที่แสงผ่านได้ขณะวัดตัวอย่าง ให้ใช้แผ่นสีดำปิดตัวอย่าง

3. ทำการวัดสีของตัวอย่างด้วยระบบ CIE ซึ่งวัดค่า L* a* และ b* ซึ่งบอกค่าดังนี้

L* คือ ความสว่าง โดยสีดำมีค่าเทากับ 0 และสีขาวมีค่าเท่ากับ 100

a* คือ ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีแดง และค่าลบแสดงความเป็นสีเขียว

b* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีเหลือง และค่าลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

ก-2 ลักษณะเนื้อสัมผัส (ดัดแปลงจากวิธีของ Hayakawa et al., 2014; ดวงกมล ตั้งสถิตพร และคณะ, ม.ป.ป.)

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง (Texture analyzer) Stablemicro system รุ่น TA.XT PLUS ทดสอบโดยใช้หัววัดสแตนเลส ทรงกระบอก No. P/50 กำหนดความเร็วของหัวกด 1 มิลลิเมตร/วินาที ใช้วิธีการทดสอบแบบ Texture Profile Analysis (TPA) โดยรายงานเป็นค่า hardness, adhesiveness และ cohesiveness แต่ละสิ่งทดลองจะทำการวัดค่าซ้ำ 3 ซ้ำ

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ข-1 การวัดค่า Thiobarbituric acid-reactive substance (TBARS) (Buege & Aust, 1978)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer) บริษัท POLYTRON
2. เครื่องเซนตริฟิวก์ (Centrifuge) บริษัท HERMLE LABORTECHNIK GMBH
3. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) บริษัท SHIMADZU
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) บริษัท HETO
5. เครื่องผสมสารละลาย (Vertex mixer) บริษัท HEIDOLPH
6. ปิเปต ขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร
7. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 10, 50 และ 500 มิลลิลิตร
8. บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. กรดไทโอบาบิทูริก (Thiobarbituric acid) บริษัท ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส.ซายน์ อุปกรณ์เคมี
2. กรดไตรคลอโรอะซิติก (Trichloroacetic acid) บริษัท ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส.ซายน์ อุปกรณ์เคมี
3. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) บริษัท ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส.ซายน์ อุปกรณ์เคมี
4. 1, 1, 3, 3-tetraethoxypropane บริษัท ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส.ซายน์ อุปกรณ์เคมี
5. เอทานอล บริษัท ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส.ซายน์ อุปกรณ์เคมี

การเตรียมสารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.25 โมลาร์

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมา 0.2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรจนได้ 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

2. สารละลาย TBARS

ผสมกรดไทโอบาบิทูริก 0.1875 กรัม กรดไตรคลอโรอะซิติก 75 กรัม และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.25 โมลาร์ 4.4 มิลลิลิตรให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรจนได้ 500 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

การทำกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารมาตรฐานมาลอนดีไฮด์ให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 และ 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดังนี้

1. ปิเปตสารมาตรฐาน 1, 1, 3, 3-tetraethoxypropane 0.5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรจนได้ 50 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล จะได้สารละลายสีเหลืองของมาลอนดีไฮด์ เข้มข้น 10 mg/ml

2. ปิเปตสารละลายมาลอนดีไฮด์ เข้มข้น 10 mg/ml มา 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรจนได้ 50 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล จะได้สารละลายมาลอนดีไฮด์ เข้มข้น 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 และ 2 mg/ml ตามลำดับ

3. ปิเปตสารละลายมาลอนดีไฮด์แต่ละความเข้มข้นมา 10 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ แล้วผสมกับสารละลาย TBARS 50 มิลลิลิตร และโฮโมจิไนส์ที่ความเร็วรอบ 12,000 rpm เป็นเวลา 2 นาที

4. นำสารละลายที่ได้ไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95 – 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู

5. ทำให้เย็นโดยนำบีกเกอร์แช่ในน้ำเป็นเวลา 2 นาที

6. นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ 532 นาโนเมตร

7. พลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของมาลอนดีไฮด์ (แกน X) และค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y)

การวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ลงในบีกเกอร์ แล้วผสมกับสารละลาย TBARS 50 มิลลิลิตร และโฮโมจิไนส์ที่ความเร็วรอบ 12,000 rpm เป็นเวลา 2 นาที

2. นำตัวอย่างไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95 – 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู

3. ทำให้เย็นโดยนำบีกเกอร์แช่ในน้ำเป็นเวลา 2 นาที

4. นำตัวอย่างไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็วรอบ 3600 xg ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

5. นำสารละลายใสที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ 532 นาโนเมตร ทำการทดลอง 3 ครั้ง

6. คำนวณหาปริมาณมาลอนดีไฮด์ได้จากการแทนค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดจากตัวอย่าง (ค่า Y) ในสมการเส้นตรงที่ได้ จะได้ปริมาณมาลอนดีไฮด์ (ค่า X) จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณมาลอนดีไฮด์ รายงานในรูปของ mg malondehyde/kg sample

ข-2 การวิเคราะห์ปริมาณฟินอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธี Hun et al., 2003)

อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. กรวยกรองพร้อมกระดาษกรองสาร No.2
5. ปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร
6. ไมโครปิเปต
7. หลอด vival
8. เครื่องปั่นผสม (Vortex mixture Heidolph รุ่น REAX 2000 ประเทศเยอรมนี)

9.เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectronic รุ่น Genesys 20 ประเทศอเมริกา)

สารเคมี

1. เอทานอล (Ethanol : CH_3CH_2OH) 95% บริษัท Lascan ประเทศไทย
2. โฟลิน ซีโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-ciocalteu reagent)(Garlo ERBA) (Sigma; USA)
3. เมทานอล (methanol) AR grade 99.8 %
4. กรดแกลลิก (Gillic acid : $C_7H_6O_5$) 95% (Fluka, Switzerland)
5. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous : Na_2Co_3) (Ajax Finechem, Australia)

การเตรียมสารเคมี

1. เตรียมโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 20% โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 20 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

2. เตรียมสารโฟลิน ซีโอแคลทู โดยปิเปตโฟลิน ซีโอแคลทู 2 มิลลิลิตร ผสมน้ำ 20 มิลลิลิตร จากนั้นเก็บในขวดสีชา

การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างปริมาณ 40 กรัม มาให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 95±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เพื่อลดปริมาณความชื้นออก ได้เป็นตัวอย่างเหลวเข้มข้น (สารเหนียว) นำสารเหนียวมาเตรียมให้ได้ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งตัวอย่างสารเหนียว 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเมทานอล AR grade 80 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง No.2 จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเมทานอล

การทำกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

1. เตรียมกรดแกลลิก 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งกรดแกลลิก 0.01 กรัม ละลายด้วยเอทานอล (ใส่เอทานอลแค่ละลายกรดให้หมด) เติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกโดยผสมกรดแกลลิกและน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 8 ระดับ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 35 ไมโครกรัม/มิลลิลิตรโดยเตรียมจากสารละลายกรดแกลลิกในข้อ 1) ซึ่งเจือจางโดยใช้สูตร $C_1V_1 = C_2V_2$ เตรียม 25 มิลลิลิตร

3. ปิเปตตัวอย่างสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก แต่ละความเข้มข้นมา 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 7 มิลลิลิตร เติม โฟลิน ซีโอแคลทู 0.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

4. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 20% ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม และตั้งทิ้งไว้อีก 2 ชั่วโมง โดยสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

6. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิก(แกน X) และค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y) ค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิก

การวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างที่เตรียมไว้มา 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 7 มิลลิลิตร เติม โฟลิน ซีโอแคลทู 0.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

2. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 20% ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม และตั้งทิ้งไว้อีก 2 ชั่วโมง โดยสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4. คำนวณหาปริมสารประกอบฟินอลิกทั้งหมดจากการแทนค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดตัวอย่าง (ค่า Y) ในสมการเส้นตรงที่ได้ จะได้ปริมาณฟินอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก (ค่า X) จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมด

ข-3 การวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozleret al., 2008 และวิธีของ Hun et al, 2003)

อุปกรณ์

1. ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด 1 มิลลิลิตร
2. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. หลอดทดลอง
4. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYSTH 5, USA)

สารเคมี

1. ดีพีพีเอช (2-diphenyl-1picrylhydrazyl: $C_{18}H_{12}N_5O_6$) 90% บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
2. เอทานอล (Ethanol:CH_3CH_2OH) บริษัท Labscanประเทศไทย

การเตรียมสารเคมี

เตรียมสารละลาย DPPH ทันทีก่อนใช้ให้มีความเข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยชั่ง DPPH 0.004 กรัม ละลายในเอทานอล 95 % แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล เก็บในภาชนะปิดสนิทป้องกันแสงจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์

1. เตรียมสารสกัดเส้นใยเหมือนกับที่วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยนำชั่งตัวอย่างสารสกัดเส้นใยกากขิงผง 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเมทานอล AR grade 80 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง NO.2 จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย AR grade

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 3 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมล 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ในที่มืดประมาณ 30 นาที สำหรับตัวอย่าง blank โดยทำเช่นเดียวกัน แต่ใช้เอทานอล 95 % แทนสารละลายตัวอย่าง

3. นำหลอดทดลองที่เป็นสารละลายตัวอย่างและ blank ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การคำนวณ

% Inhibition = $[(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$

กำหนดให้ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ blank

A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

ข-4 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าสำหรับงานวิเคราะห์ (Electronic analytical balance)
2. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH-meter)
3. โถดูดความชื้น
4. เตาเผาไฟฟ้า
5. ตู้อบลมร้อนไฟฟ้า
6. อ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า
7. ชุดกรอง suction flask
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. บีกเกอร์ ขนาด 250 และ 1000 ml.
10. แท่งแก้วคนสาร
11. ช้อนตักสาร
12. กรวยแยก
13. อลูมิเนียมฟอยด์
14. Hot plate
15. เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic Stirrer)
16. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Bar)
17. Moisture can
18. ไมโครปิเปต
19. ช้อนตักสาร
20. ปิเปต
21. กระดาษลิตมัส
22. กระดาษกรองเบอร์ 1

สารเคมีและเอนไซม์

1. สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95%
2. อะซิโตน
3. สารละลายทริสบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.05 M pH 8.2
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.561 M
5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 M
6. สารละลาย Tris (hydroxymethyl) aminomethane ความเข้มข้น 0.1 M

7. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5%
8. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5%
9. เอนไซม์อัลฟาอะมัยเลส (Megazyme International Ireland)
10 เอนไซม์โปรตีเอส (Megazyme International Ireland)
11 เอนไซม์อะมัยโลกูโคซิเดส

การเตรียมกระดาษกรอง

นำกระดาษกรองมาเก็บในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 5 นาที และชั่งน้ำหนัก

การเตรียมสารละลาย

การเตรียมสารละลายสารละลายทริสไฮโดรคลอไรด์บัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.05 M pH 8.2 โดยผสม 500 มิลลิลิตร ของ 0.1 M Tris กับ 220.9 มิลลิลิตรของ 0.1 M HCl แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ตรวจวัดพีเอชด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดด่าง

วิธีวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

1. ชั่งตัว 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ โดยน้ำหนักตัวอย่างของแต่ละบีกเกอร์ควรต่างกันไม่เกิน 20 มิลลิกรัม (ในการวิเคราะห์ให้ทำ blank ควบคู่กับการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วย)

2. เติมสารละลายทริสไฮโดรคลอไรด์บัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.06 M pH 8.2 จำนวน 40 มิลลิลิตร ลงในแต่ละบีกเกอร์ใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร และคนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารละลาย จนละลาย

3. เติมเอนไซม์อัลฟาอะมัยเลสจำนวน 50 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ลงในแต่ละบีกเกอร์ ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 98-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าบีกเกอร์เบาๆตลอดเวลา จากนั้นทำให้สารละลายเย็นจนถึงอุณหภูมิ 60°C ขูดตัวอย่างที่ติดตามขอบบีกเกอร์ด้วยช้อนตักสาร แล้วล้างน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

4. เติมเอนไซม์โปรตีเอส จำนวน 100 มิลลิลิตร ด้วยไมโครปิเปต ลงในแต่ละบีกเกอร์ ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าบีกเกอร์เบาๆตลอดเวลา แล้ววัดและปรับพีเอชด้วยกระดาษลิตมัสให้ได้ 4.5 โดยเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.561 M จำนวน 5 มิลลิลิตร ปรับพีเอชต่อด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5% และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% จนได้พีเอช 4.5 หรือประมาณ 4.1-4.8

5. เติมเอนไซม์อะมัยโลกลูโคซิเดส จำนวน 200 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ลงในแต่ละบีกเกอร์ ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าบีกเกอร์เบาๆตลอดเวลา

6. นำสารละลายในบีกเกอร์มากรองด้วยกระดาษกรองโดยชุดกรอง suction flask จากนั้นล้าง residue ด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 2 ครั้ง ครั้งละ 10 มิลลิลิตรจากนั้นเก็บส่วนของเหลวใน suction flask ไว้เพื่อนำมาวิเคราะห์เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำต่อ

7. ล้างส่วนของ residue ต่อด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95% จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 10 มิลลิลิตร และล้างด้วยอะซิโตน จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 10 มิลลิลิตร

8. นำกระดาษกรองที่มี residue ไปอบในตู้อบลมร้อนไฟฟ้าอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนัก residue

9. ขูด residue จากกระดาษกรองเพื่อนำไปหาปริมาณโปรตีน และปริมาณเถ้า

วิธีคำนวณ

$$\%IDF = [(\text{weight residue}_{IDF} - P_{IDF} - A_{IDF}) / \text{weight sample})] \times 100$$

เมื่อ IDF = เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

$\text{weight residue}_{IDF}$ = น้ำหนักตะกอนเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

weight sample = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

A_{IDF} = ปริมาณเถ้าในตะกอนเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

P_{IDF} = ปริมาณโปรตีนในตะกอนเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

* กรณีการรายงานโดยเทียบกับน้ำหนักฐานแห้ง โดยคิด

weight sample = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น - น้ำหนักของน้ำในตัวอย่าง

วิธีวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

1. ทำตามวิธีวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำในขั้นตอนที่ 1-6

2. นำส่วนของเหลวที่อยู่ใน suction flask เทใส่บีกเกอร์ แล้วเติมสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95% อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล ปริมาณในอัตราส่วน 4:1 ของปริมาณของเหลวที่ได้ จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. นำสารละลายในบีกเกอร์มากรองด้วยกระดาษกรองโดยชุดกรอง suction flask

4. นำกระดาษกรองที่มี residue ไปอบในตู้อบลมร้อนไฟฟ้าอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนัก residue

5. นำ residue จากกระดาษกรองเพื่อนำไปหาปริมาณโปรตีน และปริมาณเถ้า

วิธีคำนวณ

$$\%SDF = [(\text{weight residue}_{SDF} - P_{SDF} - A_{SDF}) / \text{weight sample})] \times 100$$

เมื่อ SDF = เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

$\text{weight residue}_{SDF}$ = น้ำหนักตะกอนเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

weight sample = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

A_{SDF} = ปริมาณเถ้าในตะกอนเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

P_{SDF} = ปริมาณโปรตีนในตะกอนเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

วิธีวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

การหาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดหาได้จากผลรวมระหว่างปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

$$\%TDF = \%IDF + \%SDF$$

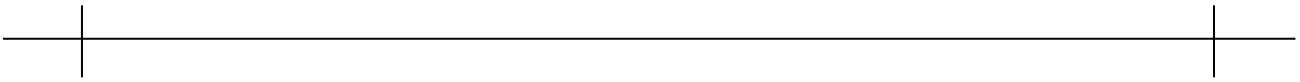
ภาคผนวก ค
การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ค-1 แบบประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA)

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมายเส้นตรงตามขวางตั้งฉากกับเส้นสเกลแนวนอนที่ให้ไว้ (I) เพื่อแสดงตำแหน่งความเข้มของคุณลักษณะตามที่ท่านคิดว่าเหมาะสมที่สุด กรุณาเขียนชื่อรหัสของตัวอย่างแต่ละตัวอย่างบนเครื่องหมายเส้นตรงที่ท่านเขียนด้วย

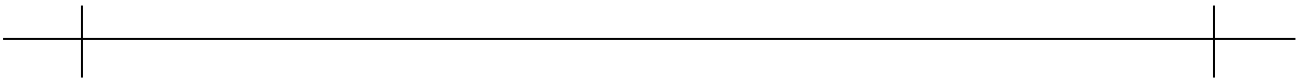
....

1.....



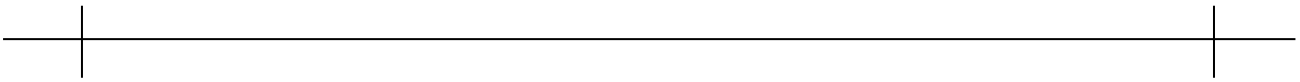
....

2.....



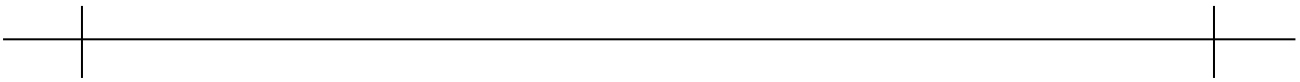
....

3.....



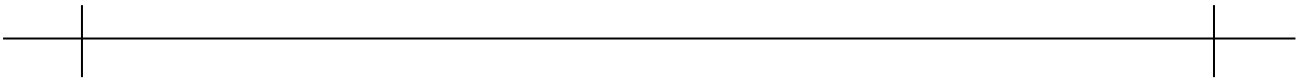
....

4.....



....

5.....



....

ค-2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส วิธี 9-point hedonic scale

ลำดับที่..... วันที่ทดสอบ.....

<u>คำชี้แจง</u> กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวา และให้คะแนนในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แล้วให้คะแนนตามคะเกณฑ์คะแนนดังนี้

กำหนดให้	9= ชอบมากที่สุด	8= ชอบมาก	7= ชอบปานกลาง
	6= ชอบเล็กน้อย	5= เฉยๆ	4= ไม่ชอบเล็กน้อย
	3= ไม่ชอบปานกลาง	2= ไม่ชอบมาก	1= ไม่ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....
กลิ่น	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....
ความชอบด้านการเคี้ยว	.....	.....	.....
ความชอบด้านการกลืน	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

ง-1 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธีนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (BAM, 2003)

วัสดุและสารเคมี

1. อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปตรวจเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Compact Dry TC, Nissui Pharmaceutical, Japan)

2. เปปโตน วอเตอร์ (Peptone Water, Merck Darmstadt, Germany)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องตีผสม (Stomacher, Stomacher 400, Seaward Medacai Limited, England)

2. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, INE 300 39L, Memmert, England)

3. อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์จุลินทรีย์

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ลงในถุงพลาสติกที่ปลอดเชื้อ แล้วเติม Peptone Water 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีผสมนาน 1 นาที จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-1}

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 1. มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่บรรจุสารละลาย Peptone Water 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-2}

3. เจือจางสารละลายตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2. จนได้ความเจือจาง 10^{-3}

4. ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ความเจือจาง 10^{-1} มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป แล้วรีบปิดฝาถาดอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป

5. ทำเช่นเดียวกับข้อที่ 4. จนครบสารละลายตัวอย่างที่ความเจือจาง 10^{-2} และ 10^{-3}

6. นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

7. การตรวจนับจำนวนโคโลนีจากถาดอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยนับจำนวนโคโลนีสีแดงทั้งหมด แล้วหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละความเจือจาง และรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ที่ความเจือจางต่ำที่สุด (Yousef & Carlstrom, 2003) ได้ตามสูตร ดังนี้

โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (CFU/ 1 g) = n x df

เมื่อ n คือ จำนวนโคโลนีเฉลี่ยที่ความเจือจางต่ำที่สุด

df คือ Dilution Factor หรือ ส่วนกลับของความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะเชื้อในถาดที่หาค่า n ได้

7.1 หากทุกความเจือจางมีจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 1-15 โคโลนี ให้รายงานผลการตรวจนับโคโลนีที่ความเจือจางต่ำที่สุด ในรูปของโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และให้เขียนคำว่า est. ต่อท้าย

7.2 หากไม่ตรวจพบจำนวนโคโลนีเลยในจำนวน 3 ซ้ำ ให้รายงานว่า <1.0 x (dilution ที่ความเจือจางต่ำที่สุด)

7.3 หากจำนวนโคโลนีเกิน 300 โคโลนีไม่มากนัก ให้นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุด คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบคทีเรียทั้งหมด

ถ้าตรวจพบจำนวนโคโลนีมากกว่า 300 โคโลนี เกิน 10 โคโลนีต่อพื้นที่ 1 เซนติเมตร ให้นับจำนวนโคโลนีที่พบใน 1 ตารางเซนติเมตร (โดยแบ่งเป็นช่องขนาด 1 ตารางเซนติเมตร แล้วนับจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่องนั้นจำนวน 13 ช่อง แบบสุ่ม) รวมจำนวนโคโลนีโดยประมาณ (โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม) ของตัวอย่างนั้น

ถ้าจำนวนโคโลนีเกิน 300 โคโลนี มากจนไม่สามารถนับได้ ให้รายงานว่า “TNTC” (Too Numerous To Count) และต้องเตรียมตัวอย่างให้มีระดับความเจือจางที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ครั้งต่อไป

ง-2 การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา โดยวิธีนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (BAM, 2003)

วัสดุและสารเคมี

1. อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปตรวจเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Compact Dry YM, Nissui Pharmaceutical, Japan)
2. เปปโตน วอเตอร์ (Peptone Water, Merck Darmstadt, Germany)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องตีผสม (Stomacher, Stomacher 400, Seaward Medacai Limited, England)
2. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, INE 300 39L, Memmert, England)
3. อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์จุลินทรีย์

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

1. ทำวิธีเดียวกันกับภาคผนวก ค-1 ในข้อที่ 1-5
2. นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน
3. การตรวจนับจำนวนโคโลนีจากถาดอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยนับจำนวนโคโลนีสีฟ้าเขียวอ่อน (Light Bluish Green) ทั้งหมดแล้วหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละความเจือจางและรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ที่ความเจือจางต่ำที่สุด เช่นเดียวกันกับภาคผนวก ค-1 ยกเว้นกรณี หากจำนวนโคโลนีเกิน 150 โคโลนีไม่มากนัก ให้นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุด คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบคทีเรียทั้งหมด

ถ้าตรวจพบจำนวนโคโลนีมากกว่า 150 โคโลนี เกิน 10 โคโลนีต่อพื้นที่ 1 เซนติเมตร ให้นับจำนวนโคโลนีที่พบใน 1 ตารางเซนติเมตร (โดยแบ่งเป็นช่องขนาด 1 ตารางเซนติเมตร แล้วนับจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่องนั้นจำนวน 13 ช่อง แบบสุ่ม) รวมจำนวนโคโลนีโดยประมาณ (โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม) ของตัวอย่างนั้น

ถ้าจำนวนโคโลนีเกิน 150 โคโลนี มากจนไม่สามารถนับได้ ให้รายงานว่า “TNTC” (Too Numerous To Count) และต้องเตรียมตัวอย่างให้มีระดับความเจือจางที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ครั้งต่อไป