สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

เจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ

Low Calories Jelly with Nata de Coco

โดย

นางสาววิภารัตน์ เพชรชู

วพ.
ว 664ก
2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 36240
วัน, เดือน, ปี 20 ก.ค. 2543

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ
ปีการศึกษา 2542

เรื่อง	เจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ
	Low Calories Jelly with Nata de Coco
ชื่อ – นามสกุล	นางสาววิภารัตน์ เพชรชู
สาขาวิชา	อุตสาหกรรมเกษตร **ภาควิชา** ครุศาสตร์เกษตร
คณะ	ครุศาสตร์อุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ปนิดา ประวิตรวงศ์

บทคัดย่อ

เจลลี่ (Jelly) เป็นขนมหวานที่นิยมบริโภคกันทั่วไป โดยส่วนมากมักจะทำจากน้ำหวานที่ปรุงแต่งกลิ่น สี และใช้คาราจีแนนซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้เกิดการคงตัวในกลุ่มของกัม (Gum) ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์ ทำให้เจลลี่มีปริมาณแคลอรีสูง เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมปริมาณแคลอรีหรือมีปัญหาในการบริโภคน้ำตาล เช่น ผู้ป่วยโรคเบาหวาน จึงได้ศึกษาการทำเจลลี่ที่มีปริมาณแคลอรีต่ำโดยใช้สารให้ความหวานชนิดสังเคราะห์แทนน้ำตาลและเพิ่มกากใยอาหารโดยใช้วุ้นน้ำมะพร้าวเสริมลงไปได้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่คือ เจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ เริ่มจากการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) ต่อความเข้มข้นของสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม, น้ำตาลทราย) พบว่าคาราจีแนนเกิดเจลที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ต่อความเข้มข้นของแอสพาร์เทมร้อยละ 1.0 และเกิดเจลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ต่อความเข้มข้นของน้ำตาลทรายร้อยละ 13.0 จากนั้นหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ โดยแปรความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1.0, 1.5 และ 2.0 แปรความเข้มข้นของสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม) 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1.5, 2.0 และ 2.5 นำผลิตภัณฑ์ไปทดสอบหาการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัส พบว่าคาราจีแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 ต่อความเข้มข้นของแอสพาร์เทมร้อยละ 2.5 ได้รับคะแนนเฉลี่ยการยอมรับจากผู้บริโภคสูงสุดและจากผลวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าการใช้คาราจีแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ต่อความเข้มข้นของแอสพาร์เทมร้อยละ 2.5 สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ เนื่องจากไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงลงด้วยความช่วยเหลือจากหลายฝ่ายด้วยกัน โดยเฉพาะอาจารย์ปนิดา ประวิตรวงศ์ ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา แนะนำแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยดีตลอดระยะเวลาในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ นอกจากนี้ยังได้รับการอำนวยความสะดวกต่าง ๆ จากเจ้าหน้าที่ธุรการและเจ้าหน้าที่ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร รวมทั้งความช่วยเหลือของเพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในการทำการทดลอง ซึ่งเป็นผลให้เกิดความสมบูรณ์ของปัญหาพิเศษเรื่องนี้ จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่กล่าวมา ณ โอกาสนี้

ความดีของปัญหาพิเศษเล่มนี้ ขอมอบให้กับบิดา มารดา พี่ ๆ ซึ่งให้การสนับสนุนด้านทุนทรัพย์และกำลังใจ รวมทั้งครูอาจารย์ที่ประสิทธิประสาทวิชาและผู้มีพระคุณทุกท่าน

วิภารัตน์ เพชรชู

มีนาคม 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญตารางภาคผนวก	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	2
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตของปัญหา	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2. การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เจล	5
2.2 สารให้ความหวานสังเคราะห์	20
2.3 กรดซิตริก	25
2.4 กลิ่นรส	27
2.5 น้ำ	30
2.6 วุ้นน้ำมะพร้าว	31
2.7 อาหารบำบัดโรค	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่	
3. อุปกรณ์และวิธีการ	54
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	54
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง	55
3.3 สถานที่ทำการวิจัย	57
3.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย	57
4. ผลการวิจัยและวิจารณ์	58
4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) ต่อความเข้มข้นของสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม, น้ำตาลทราย)	58
4.2 ผลการหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ	60
4.3 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัส	62
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	64
5.1 สรุปผลการทดลอง	64
5.2 ข้อเสนอแนะ	65
บรรณานุกรม	66
ภาคผนวก ก	70
ภาคผนวก ข	72
ภาคผนวก ค	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความหนืดของสารโพลีแซคคาไรด์ชนิดต่าง ๆ เมื่อมีความเข้มข้นร้อยละ 1 ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่ 24 ^{o}C	10
2	การเกิดเจลและลักษณะของสารโพลีแซคคาไรด์ชนิดต่าง ๆ	11
3	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของวุ้นน้ำมะพร้าว	32
4	ผลผลิตวุ้นน้ำมะพร้าว เมื่อใช้ปริมาณเชื้อ (inoculum) ต่าง ๆ กัน หลังจากหมักไว้ 2 สัปดาห์	39
5	ผลผลิตของวุ้นน้ำมะพร้าว เมื่อใช้น้ำมะพร้าวที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน หลังจากหมักไว้ 2 สัปดาห์	40
6	ผลผลิตของวุ้นน้ำมะพร้าว เมื่อใช้น้ำตาลความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ภายหลังการหมัก 2 สัปดาห์	42
7	ผลผลิตของวุ้นน้ำมะพร้าว ที่ใส่สารประกอบไนโตรเจนต่าง ๆ กัน เมื่อหมักไว้ 15 วัน ที่อุณหภูมิ 28 – 31 ^{o}C	43
8	เกณฑ์ในการวินิจฉัยโรคเบาหวาน	50
9	น้ำหนักร่างกายที่เหมาะสมสำหรับความสูงของผู้หญิงและชายอายุสูงกว่า 25 ปีขึ้นไป	52
10	ลักษณะเจลลี่จากการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) ต่อความเข้มข้นของสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม, น้ำตาลทราย)	59
11	ลักษณะของเจลจากการหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ	61
12	การวิเคราะห์ทางสถิติจากค่าเฉลี่ยคะแนนการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสของเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวก		หน้า
ก	ผลคะแนนจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมของเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ	73
ข	การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance)	74
ค	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมของเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ	78
ง	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีของเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ	82
จ	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ	82
ฉ	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติของเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ	83
ช	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเกิดเจลของกัม	6
2	โครงสร้างของคาราจีแนน	12
3	ขั้นตอนการเกิดเจลของสารโพลีแซคคาร์ไรด์	13
4	การเกิดเจลของคาราจีแนน	13
5	การสานตัวกันของอนุภาคเพื่อให้เกิดเจล	17
6	การจับตัวกันของโมเลกุลภายในเจล	18
7	การจัดเรียงตัวกันของโมเลกุลแบบต่าง ๆ ณ จุดที่จับตัวกันโดยมีแรงจับจากมากไปหาน้อย ตามลำดับ	19
8	ส่วนของโมเลกุลของเซลลูโลส	33
9	(a) ย่านที่เป็นผลึกซึ่งเป็นระเบียบในเส้นใยเซลลูโลส (b) พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลส เพื่อให้เกิดย่านที่เป็นระเบียบขึ้น	34
10	แผนผังแสดงการผลิตและการแปรรูปวุ้นน้ำมะพร้าว	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

เจล (Gels) หมายถึงการทำให้สารละลายหรือโซลแข็งตัว เนื่องจากสารละลายหรือโซลหลายชนิดสามารถเปลี่ยนไปเป็นเจลได้ถ้ามีอุณหภูมิ ความเข้มข้น และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ที่เหมาะสม สารละลาย (Solution) เป็นสารเนื้อเดียวที่ประกอบไปด้วยการรวมตัวระหว่างตัวทำละลาย (Solvent) กับตัวถูกละลาย (Solute) เป็นไปอย่างสมบูรณ์ทำให้ทุกส่วนมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเหมือนกันทุกประการ ส่วนโซล (Sols) หมายถึงของผสมที่มีตัวถูกละลายเป็นของแข็ง ส่วนตัวทำละลายอาจเป็นของเหลว ของแข็ง หรือแก๊สก็ได้ สารละลายและโซลเป็นของเหลวโดยมีโมเลกุลหรืออนุภาคเล็ก ๆ กระจายอยู่ในตัวทำละลาย (น้ำ) สามารถเปลี่ยนรูปได้ตามลักษณะของภาชนะบรรจุ ส่วนเจลโดยปกติจะไม่เปลี่ยนรูปได้ง่าย เนื่องจากมีลักษณะกึ่งแข็งเป็นวุ้นเป็นของแข็งที่เกิดจากการสานตัวกันระหว่างโมเลกุลหรืออนุภาค แต่เจลหลายชนิดก็มีลักษณะทางกายภาพไม่แตกต่างจากของเหลว สามารถไหลหรือเปลี่ยนรูปได้ตามลักษณะของภาชนะบรรจุ ฉะนั้นการที่จะพิจารณาว่าของเหลวเป็นเจลหรือไม่จึงต้องมีหลักเกณฑ์ และหลักเกณฑ์ที่ใช้พิจารณามีอยู่ 2 ประการ คือ

ประการแรก เจลจะต้องมีส่วนผสมอย่างน้อย 2 ส่วน ส่วนหนึ่งเป็นของเหลวและอีกส่วนหนึ่งเป็นของแข็ง

ประการที่สอง เจลจะต้องมีคุณสมบัติเป็นของแข็ง เป็นลักษณะที่ทราบได้โดยการตรวจดูค่าแรงดันไหล เจลทุกชนิดจะมีค่าแรงดันไหล (Yield value) ไม่มากก็น้อย

เจลมี 2 ชนิด คือชนิดที่เป็นตะกอนเบา (gelatinous precipitates) และชนิดที่เป็นเจลลี่ (Jelly) เจลแบบตะกอนเบาเกิดจากสารอนินทรีย์ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้นจะเกิดเจลเร็วขึ้นและทำให้น้ำแยกตัวออกมา อย่างไรก็ตามอาจทำให้เกิดเป็นเจลลี่ได้ ถ้าความอิ่มตัวยิ่งยวดสูงมากพอ และมีการควบคุมอัตราการตกตะกอนให้ช้าลง ส่วนเจลแบบที่สองเตรียมได้จากสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์เป็นเจลที่มีตัวถูกละลายและตัวทำละลายอยู่ทั่วไปทั้งระบบ เมื่อนำไปทำให้แห้งความหยุ่นตัวยังคงมีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจลลี่ที่เกิดจากสารอินทรีย์พบมากที่สุดในอาหาร สารที่ให้เจลแบบนี้ได้แก่ เจลาติน วุ้น แป้ง เพคติน ฯลฯ อนุภาคที่เกิดเจลอาจมีรูปร่างยาว กลม หรือรูปร่างแบบอื่น ๆ ก็ได้ เหมือนกับเจลแบบตะกอนเบาซึ่งจะมีทั้งที่เป็นผลึกและอสัญฐาน ในธรรมชาติเจลแบบนี้มีโครงสร้างที่ซับซ้อนมีทั้งเจลเนื้อเดียว เจลเนื้อผสมและเจลที่มีเนื้ออื่นผสม (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538 : 155 - 156)

วุ้นน้ำมะพร้าว หรือวุ้นสวรรค์เป็นเนื้อเยื่อของตัวเซลล์และสายของโมเลกุลน้ำตาลลักษณะเป็นแผ่นหนามีสีขาวหรือครีม ไม่ละลายน้ำ เป็นแผ่นวุ้นที่เซลล์*Acetobacter xylinum* สร้างขึ้นที่ผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วยกรด น้ำตาล เอทิลแอลกอฮอล์ และสารอาหารอื่น ๆ ลักษณะของวุ้นน้ำมะพร้าวคล้ายวุ้นที่ใช้ทำขนมแต่เหนียวกว่า มีองค์ประกอบทางเคมีและคุณลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน โดยวุ้นธรรมดาประกอบด้วยน้ำตาลกาแล็กโตส และ 3, 6 – anhydrogalactosc ต่อกันด้วยพันธะ β (1 - 4) ไกลโคซิดิก หลอมเหลวที่อุณหภูมิ 85 ^{o}C และแข็งตัวที่อุณหภูมิ 40 ^{o}C แต่วุ้นน้ำมะพร้าวมีองค์ประกอบเป็นพวกเซลลูโลส (Cellulose) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสเป็นส่วนใหญ่ต่อกันด้วยพันธะ β (1 - 4) ไกลโคซิดิก มีคุณสมบัติทางเคมีอื่น ๆ เหมือนเซลลูโลสที่ได้จากฝ้าย เช่น เมื่อต้มที่อุณหภูมิ 100 ^{o}C ก็ไม่สามารถละลายน้ำได้ จากการทดสอบทางเคมีโดยทั่วไปและทางกายภาพภายในเชิงคุณภาพพบว่าวุ้นน้ำมะพร้าวคือเซลลูโลสธรรมชาตินั่นเอง (จุฑารัตน์ อนิวรรตพงษ์ และมาลัย พูลนิเวทย์, 2539 : 3 - 4)

สารให้ความหวานสังเคราะห์ มีสารให้ความหวานหลายชนิดที่ไม่ได้จากธรรมชาติแต่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีทางวิทยาศาสตร์ สารดังกล่าวไม่ใช่น้ำตาลคือเมื่อย่อยแล้วไม่ได้กลูโคสซึ่งจะให้ประโยชน์แก่ร่างกาย มีการนำมาใช้แทนน้ำตาลกันอย่างมาก เช่น

เอสพาร์เทม (Aspartame) คือสารสังเคราะห์พวกกรดอะมิโน (amino acid) เป็นสารให้ความหวานที่มีคุณค่าทางโภชนาการเท่าน้ำตาล มีความหวานมากกว่าน้ำตาล 250 เท่า ดังนั้นปริมาณที่ใช้จึงน้อยมาก จึงได้มีการนำมาใช้แทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ขนมหวานชนิดต่าง ๆ และเอสพาร์เทมนี้เป็นสารให้ความหวานที่ Codex Alimentarius Commission ได้ยอมรับแล้วว่าปลอดภัยในการบริโภค

ผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้สารให้ความหวานสังเคราะห์แทนน้ำตาลนั้นคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไป จึงต้องมีการแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพคล้ายผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำตาลเป็นสารให้ความหวาน ตัวอย่างเช่น ในผลิตภัณฑ์แยมและเจลลี่นั้นจะไม่มีการเกิดเจลเนื่องจากไม่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงต้องมีการเติมสารที่ช่วยให้มีการเกิดเจลในผลิตภัณฑ์ เช่น คาราจีแนน เป็นต้น นอกจากนี้ความเป็นกรด - ด่างก็จัดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เช่นกัน จึงต้องมีการปรับความเป็นกรด – ด่างให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมด้วย (ศิวาพร ศิวเวชช, 2535 : 83)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาราจีแนน (Carrageenan) ได้จากสาหร่ายสีแดงหลายชนิด โดยเฉพาะพวก *Chondrus crispus* หรือที่เรียกว่า Irish moss มีโครงสร้างคล้ายวุ้นมาก เป็นซัลเฟตเอสเทอร์ของกาแลคตาน แต่มีกลุ่มซัลเฟตน้อยกว่า คาราจีแนนแบ่งออกเป็น 5 ชนิดตามปริมาณของกลุ่มซัลเฟตที่มีอยู่ แต่ที่มีความสำคัญมีเพียง 3 ชนิด คือ แลมด้าคาราจีแนน ไอโอต้าคาราจีแนน และแคปป้าคาราจีแนน โดยมีปริมาณซัลเฟตร้อยละ 25, 32 และ 35 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีปริมาณ 3, 6 – anhydrogalactose ไม่เท่ากัน คาราจีแนนทั้ง 3 ชนิดละลายน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิ 80°C โดยแคปป้าคาราจีแนนให้เจลลี่แข็งมาก มีน้ำแยกออกมาเล็กน้อย โมเลกุลจะม้วนตัวเป็นเกลียวเมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมหรือโปแตสเซียม ทำให้เกิดการจับกลุ่มเป็นเจล ซึ่งมีลักษณะหดตัว กรอบและขุ่น ถ้ามีน้ำตาลอยู่ด้วยเจลจะใส ไอโอต้าคาราจีแนนให้เจลลี่ที่มีความหยุ่นสูง โมเลกุลจะม้วนตัวเป็นเกลียวเมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมเช่นกัน จับตัวกันเป็นกลุ่ม อาจมีน้ำแยกออกมาบ้าง เจลมีลักษณะใสและคงทนต่อการแช่แข็งเป็นอย่างดี ส่วนแลมด้าคาราจีแนนจะไม่เกิดเจลแต่ให้ความหนืดสูงมาก คาราจีแนนที่มีจำหน่ายในท้องตลาดเป็นของผสมระหว่างคาราจีแนนทั้ง 3 ชนิดดังกล่าว การละลายขึ้นอยู่กับปริมาณกลุ่มซัลเฟตที่มีอยู่ในโมเลกุล มีคุณสมบัติที่สำคัญคือสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนได้เมื่อละลายในน้ำร้อนแล้วปล่อยให้เย็นตัว มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตแยมและเจลลี่แคลอรีต่ำ มักใช้ร่วมกับสารไฮโดรคอลลอยอื่น ๆ เพื่อทำให้อาหารข้นและอยู่ตัว (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538 : 58)

ในปัจจุบันนี้ผู้บริโภคส่วนใหญ่จะให้ความสนใจกับการเลือกบริโภคอาหารเพื่อให้ร่างกายมีสุขภาพดี ผลิตภัณฑ์เจลลี่เป็นขนมหวานที่นิยมบริโภคกันทั่วไป แต่เจลลี่ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดนี้มักผลิตจากน้ำหวานที่ปรุงแต่ง กลิ่น สี รสชาติ และใช้คาราจีแนนทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์ มีเป็นส่วนน้อยมากที่จะผลิตจากวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์เจลลี่ขนมหวานที่มีจำหน่ายทั่วไปให้เป็นเจลลี่แคลอรี่ต่ำ โดยการเสริมไฟเบอร์ธรรมชาติ คือ วุ้นน้ำมะพร้าว ซึ่งภายในชิ้นวุ้นทั้งหมดจะประกอบด้วยเซลลูโลสทั้งชิ้น ใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาล คือ เอสพาร์เทม (Aspartame) และใช้น้ำสกัดจากสาหร่ายทะเล (Carrageenan) ทำให้เกิดเจลได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกอีกทางของผู้บริโภค เนื่องจากการรับประทานน้ำตาลมากเกินไปอาจทำให้เป็นโรคเบาหวานได้ เพราะจะมีกลูโคสสะสมอยู่ในเลือดมากเกินไปจนตับไม่สามารถเปลี่ยนกลูโคสให้เป็นไกลโคเจนได้เพราะฮอร์โมนอินซูลิน (Insulin) จากตับอ่อนผลิตออกมาไม่เพียงพอ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ใหม่นี้จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายใด ๆ ต่อกลุ่มผู้บริโภคที่ป่วยเป็นโรคเบาหวาน (สโรช รัตนากร, 2540 : 107)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์เจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ
2. เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคโดยการทดลองทางประสาทสัมผัส

1.3 ขอบเขตของปัญหา

ทดลองสูตรที่เหมาะสมในการเกิดเจลโดยแปรปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลและความหวานที่เหมาะสมโดยการแปรปริมาณสารให้ความหวานในการผลิตเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัส

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่อาหารเพื่อสุขภาพเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ
2. เพิ่มความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์
3. เพิ่มมูลค่าให้แก่สินค้าเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 เจล (Gels)

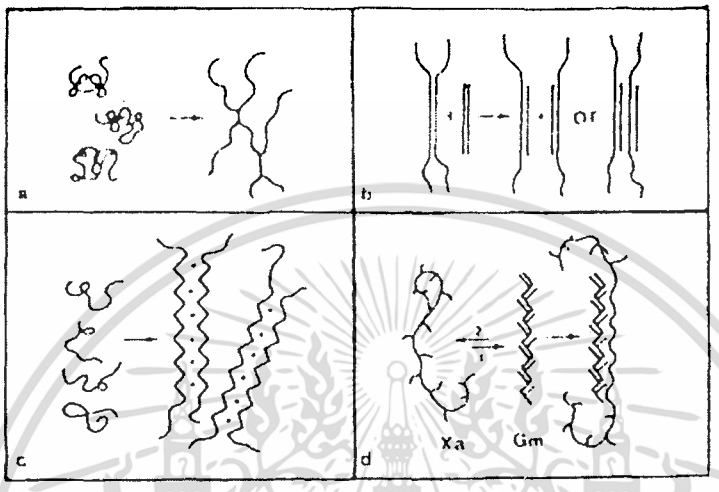
เจลมาจากภาษาละติน gelare แปลว่าแช่แข็ง เจลเป็นลักษณะหนึ่งของคอลลอยด์ (Colloids) เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูจะเห็นได้ว่า โครงสร้างของเจลนั้นมีลักษณะคล้ายรวงผึ้งที่ละเอียดซึ่งอุ้มน้ำอยู่ (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2525 : 109)

นักวิทยาศาสตร์การอาหารให้ความหมายของเจลว่า มีลักษณะคล้ายของแข็งและคงรูปร่างอยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เจลประกอบด้วยน้ำซึ่งยังคงคุณสมบัติการเป็นของเหลวหลาย ๆ อย่างเอาไว้แต่จะไม่มีการไหล เมื่อเจลอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เป็นของเหลว ตัวถูกละลายมีมวลโมเลกุลน้อยสามารถแพร่เข้าหรือออกจากเจลจนกระทั่งเกิดสมดุลได้ บางครั้งเป็นการยากที่จะแยกเจลออกจากของเหลว จึงมีชื่อเรียกว่า fluid gels (เบ็ญจรัก วายุภาพ, 2543 : 64) มีอาหารหลายชนิดมีลักษณะเหมือนเจล แต่ส่วนที่เป็นของเหลวได้ระเหยออกไปเหลือแต่ของแข็งและมีเนื้อแน่นมาก ในกรณีเช่นนี้จะไม่เรียกว่าเจล แต่มีคุณสมบัติสัมพันธ์กับเจลอย่างใกล้ชิด กล่าวคือสามารถดูดตัวทำละลายพองตัว และเปลี่ยนเป็นเจลได้ในที่สุด เรียกกันว่า " ซีโรเจล " (Zerogel) เช่น เจลาตินแห้ง เป็นต้นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติหลายชนิด เช่น เส้นใยเซลลูโลส แป้ง และหนังสัตว์แห้งสามารถดูดน้ำและพองตัวได้จึงอาจจัดอยู่ในกลุ่มของซีโรเจลได้ สำหรับเจลที่ปราศจากของเหลวและไม่สามารถดูดของเหลวหรือพองตัว จะไม่เรียกว่าซีโรเจล แต่เรียกว่า " เรซิน หรือ กลาส " (resin or macromolecular glass) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสาร macromolecules (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538 : 155)

การเกิดเจล (Gel Forming) เกิดจากการจับตัวกันของ 2 โมเลกุลและยังมีโมเลกุลที่สามมาจับกับโมเลกุลที่สอง โมเลกุลที่สี่มาจับกับโมเลกุลที่สามและเรื่อยไปโดยตำแหน่งที่จับตัวกันนั้นจะแตกต่างกันไป ด้วยเหตุนี้แต่ละโมเลกุลจึงจับกับโมเลกุลอื่น ๆ มากกว่า 1 ตำแหน่ง ทำให้เกิดโครงสร้างเหมือนร่างแหใน 3 ทิศทาง โดยมีน้ำแทรกอยู่ทั่วไป ความแข็งแรงของเจลขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของส่วนที่จับตัวกัน ถ้าส่วนที่จับตัวกันมีระยะสั้นมากการจับตัวกันจะไม่แข็งแรงมากนักเจลจะถูกทำลายได้ง่ายเพียงกวนเบา ๆ หรือใช้ความร้อนเพียงเล็กน้อย ในทางตรงกันข้ามถ้าส่วนที่จับตัวกันมีระยะยาวมากการจับตัวกันจะแข็งแรงมาก เจลจะทนความร้อนได้ดี ปริมาณน้ำจะเป็นตัวกำหนดความนุ่มของเจล ถ้ามีปริมาณน้ำมากเจลจะนุ่ม (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538 : 69)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีทั่ว ๆ ไปในการเกิดเจล คือทำสารละลายที่ร้อนให้เย็นลง สารทำให้เกิดเจล ยกเว้นอัลจิเนตและเพคตินที่มีกลุ่มเมทอกซิล (- OCH_3) น้อย (low – methoxyl pectin) จะเกิดเจลโดยการลดอิออนในสารละลาย ซึ่งจะชักนำให้เกิดการเชื่อมระหว่างสายโซ่ภายในโดยไม่จำเป็นต้องให้ความร้อน (เบ็ญจรัก วายุภาพ, 2543 : 64)



ภาพที่ 1 การเกิดเจลของกัม

a) การเกิดเจลของแป้ง

b) การเกิดเจลของคาราจีแนน

c) การเกิดเจลของอัลจิเนตและเพคตินที่มีแคลเซียมอิออนเป็นตัวเชื่อม (จุดดำ)

d) การเกิดเจลร่วมระหว่างแซนแทน (Xa) และ กาแลคโตแมนแนน (Gm)

ที่มา : เบ็ญจรัก วายุภาพ, 2543 : 64

2.1.1 ชนิดของเจล (Types of Gel) (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538 : 155 - 156)

เจลแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1) แบบตะกอนเบา

เจลชนิดนี้เกิดจากสารอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถดูดซับน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น เฟอริกอ็อกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ เป็นต้น ตะกอนมีความหนืด (Viscosity) หรือมีลักษณะปั้นได้ ประกอบด้วยผลึกเล็ก ๆ จำนวนมาก ผลึกหรืออนุภาคที่สามารถเกิดเจลได้อาจมีรูปยาวและบอบบางจะงอตัวได้การสานตัวกันจะทำได้ดี แต่ถ้าอนุภาคมีรูปร่างกลมหรือรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่างแบบอื่น ๆ จะมีลักษณะแข็งงอตัวได้ยากการสานตัวจะทำได้ลำบากถึงแม้จะมีโมเลกุลน้ำเกาะติดอยู่ก็ตามการเกิดเจลจะทำได้ยากนอกจากอนุภาคเหล่านั้นจะมีวิธีการจับตัวกันเป็นเส้นตรงยาวได้เป็นสาย อนุภาคที่งอได้จะทำให้เกิดการสานตัวกันใน 3 ทิศทางเจลที่เกิดขึ้นจึงมีความนุ่มซึ่งเป็นลักษณะของเจลที่แท้จริง อนุภาคที่ประกอบกันเป็นเจลนั้นถ้าดูดน้ำได้ไม่มากพร้อมทั้งสานตัวกันก็ทำได้ไม่ดีนัก ตะกอนเบาจะเกิดขึ้นได้เมื่อใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น เช่น ในกรณีของเกลือแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น เจลแบบตะกอนเบาจะไม่หยุ่นตัวเมื่อนำไปทำให้แห้ง เจลแบบตะกอนเบาจะพบในอาหารบ้างแต่ไม่มากนัก เช่น พบในหม้อทำไอน้ำเมื่อใส่สารเคมีจำพวกเกลือฟอสเฟตลงไปเพื่อกำจัดความกระด้างทำให้เกิดตะกอนเบาของเกลือแคลเซียมฟอสเฟต หรือพบในกรณีของการผสมน้ำเกลือกับน้ำปูนใสเพื่อเตรียมน้ำเกลือสำหรับดองผลไม้เป็นตะกอนของเกลือแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เป็นต้น การเกิดตะกอนเบาในอาหารเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ แต่จะมีประโยชน์ในการกำจัดสารบางชนิดก่อนนำน้ำไปใช้

2) เจลลี่

เตรียมได้จากสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์ เป็นเจลที่มีตัวถูกละลายและตัวทำละลายอยู่ทั่วไปทั้งระบบ โดยแต่ละองค์ประกอบมีการเชื่อมต่อกันในสามทิศทางอย่างไม่ขาดตอน เมื่อนำไปทำให้แห้งความหยุ่นตัวยังคงมีอยู่

เจลลี่ที่เตรียมได้จากสารอนินทรีย์จะพบน้อยมากในอาหาร เป็นเจลที่เกิดจากอนุภาคที่ดูดน้ำได้ดีโดยการสานตัวกันใน 3 ทิศทาง มีลักษณะคล้ายกับฟองน้ำและดูดน้ำทั้งหมดไว้ เจลชนิดนี้จะเกิดขึ้นกับเกลือบางชนิดเท่านั้น สารอนินทรีย์ที่ให้เจลแบบตะกอนเบาก็อาจเกิดเจลลี่ได้ถ้าสภาวะเหมาะสม ส่วนเจลลี่ที่เกิดจากสารอินทรีย์พบมากที่สุดในอาหาร สารที่ให้เจลแบบนี้ได้แก่ เจลาติน (Jelatin) วุ้น (Agars) แป้ง (Starch) เพคติน (Pectin) ฯลฯ อนุภาคที่เกิดเจลอาจมีรูปร่างยาว กลม หรือรูปร่างแบบอื่น ๆ ก็ได้ เหมือนกับเจลแบบตะกอนเบา ซึ่งจะมีทั้งที่เป็นผลึกและอสัญฐาน ในธรรมชาติเจลแบบนี้มีโครงสร้างที่ซับซ้อนมีทั้งเจลเนื้อเดียว (Single – Component Gel) เจลเนื้อผสม (Mixed Gel) และเจลที่มีเนื้ออื่นผสม (Filled Gel หรือ Composite Gel) เจลลี่หลายชนิดมีลักษณะไม่แตกต่างไปจากโซลถ้าตรวจดูด้วยสายตา ตัวอย่างเช่น โซลของเจลาตินที่เจือจางมีลักษณะไม่แตกต่างจากเจลลี่ที่เกิดขึ้นหลังจากที่ทำให้โซลเย็นตัวในขณะที่โซลเข้มข้นเกิดเจลอย่างเห็นได้ชัดเจน เจลที่เกิดขึ้นทั้งสองกรณีมีลักษณะใส โซลเจลาตินที่มีความเข้มข้นต่ำสามารถเทได้เหมือนของเหลว แต่เมื่อตรวจดูด้วยเครื่องมือที่มีความไวสูงก็พบว่าโซลของเจลาตินที่มีความเข้มข้นต่ำให้ค่าแรงดันไหลซึ่งเป็นลักษณะของเจล แสดงว่าจุดที่โมเลกุลจับตัวกันใช้แรงต่ำมาก สามารถแตกออกจากกันได้ง่าย เมื่อตั้งทิ้งไว้จะจับตัวกันใหม่เป็นคุณสมบัติที่เรียกว่า thixotropic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 คุณสมบัติของเจล (Gel Properties) (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538 : 161 - 162)

1) การเคลื่อนที่ของอนุภาคบางชนิดในเจล

สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์หลายชนิดสามารถเคลื่อนที่ได้ในเจลถ้าเจลนั้นเจือจางมาก การเคลื่อนที่จะมีความเร็วใกล้เคียงกับการเคลื่อนที่ในน้ำ แต่ถ้าเจลนั้นมีความเข้มข้นมากการเคลื่อนที่จะช้าลง คุณสมบัติของเจลเช่นนี้ได้นำไปใช้ประโยชน์ในการเตรียมผลึกของสารบางชนิดและใช้ในการแยกสารบางชนิดออกจากกัน ในการเตรียมผลึกในเจลนั้นจะเริ่มด้วยการใส่สารอิเล็คโตรไลต์ (Electrolyte) ชนิดหนึ่งลงในเจลขณะทำการเตรียม หลังจากเกิดเจลแล้วจึงเติมสารอิเล็คโตรไลต์อีกชนิดหนึ่งลงไป ปล่อยให้แพร่กระจายออกไปสัมผัสกับสารอิเล็คโตรไลต์ชนิดแรกถ้าสารประกอบที่ได้จากปฏิกิริยามีการตกผลึก จะได้ผลึกขนาดใหญ่กว่าผลึกที่เกิดจากการผสมสารอิเล็คโตรไลต์ทั้งสองเข้าด้วยกันโดยตรง อธิบายได้ว่าเจลป้องกันมิให้สารอิเล็คโตรไลต์ทั้งสองเคลื่อนที่เข้าหากันเร็วเกินไปซึ่งจะทำให้ตกตะกอนเป็นไปอย่างช้า และตะกอนมีลักษณะเป็นผลึกมิใช่เป็นแบบอสัญฐานผลึกที่ได้จึงมีขนาดใหญ่

2) ความหยุ่น

ความหยุ่น (Elasticity) เป็นคุณสมบัติของเจลที่มีการศึกษากันมาก ความหยุ่นเกิดจากโมเลกุลของเจลที่มีลักษณะบอบบางและเป็นเส้นตรงยาว นอกจากนี้ยังเกิดจากการจับตัวกันน้อย ถ้านำมาระเหยน้ำไปบางส่วนความหยุ่น (ระยะยืดออกหรือระยะกดเข้า) จะมีค่าน้อยลง เนื่องจากโมเลกุลมีการจับตัวกันมากจุดยิ่งขึ้น ความหยุ่นของเจลอาจวัดได้ด้วยค่า “ มอดูลัสของความหยุ่น ” (modulus of elasticity) ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของแรงเค้นต่อแรงเครียด เจลที่มีค่ามอดูลัสความหยุ่นต่ำแสดงว่ายืดออกหรือกดเข้าได้ง่าย (มีความหยุ่นมาก) ในทางตรงกันข้าม ถ้าเจลให้ค่ามอดูลัสความหยุ่นสูงแสดงว่ายืดออกหรือกดเข้าได้ยาก (มีความหยุ่นน้อย)

3) Thixotropy

เจลบางชนิดจะเปลี่ยนเป็นของเหลวเมื่อมีการกวนและจะเปลี่ยนเป็นเจลอีกเมื่อหยุดกวน เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ Thixotropy ” เป็นคำที่มาจากภาษากรีก thixis และ tropos ซึ่งแปลว่า สัมผัสและเปลี่ยนแปลง ตามลำดับ หมายความว่ามีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการสัมผัส การเปลี่ยนแปลงของเจลเช่นนี้ เกิดจากอนุภาคของเจลมีการจับตัวกันมากพอที่จะให้ค่าแรงดันไหลได้ แต่ไม่มากพอที่จะคงรูปอยู่ได้เมื่อมีการกวน อาจกล่าวได้ว่าแรงที่อนุภาคจับตัวกันนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก การทำลายแรงด้วยการกวนจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันเจลจึงเปลี่ยนเป็นของเหลว แต่ถ้าแรงที่อนุภาคจับตัวกันนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันมากการกวนจะทำให้เกิดการแตกตัวในส่วนที่มีการจับตัวกันด้วยแรงน้อย ๆ เท่านั้น การแตกตัวจะมีลักษณะเป็นก้อนเล็ก ๆ และไม่จับตัวกันใหม่เมื่อหยุดกวน หรือมีการจับตัวกันบ้างและให้ค่าแรงดันไหลต่ำมาก เจลของพวก macromolecules จะมีแรงจับตัวกันระหว่างอนุภาคที่จุดต่าง ๆ แตกต่างกันมาก การเปลี่ยนกลับไปกลับมาระหว่างโซลกับเจลจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีความเข้มข้นต่ำหรือเจลที่เตรียมใหม่ ๆ เท่านั้น ในสภาวะเช่นนี้แรงที่จับตัวกันระหว่างอนุภาคจะมีค่าใกล้เคียงกัน

4) Rheopexy

โซลที่มีอนุภาคเป็นเส้นยาวหรือเป็นแผ่นจะแข็งตัวเป็นเจลได้ช้า ๆ แต่ถ้ามีการเขย่าหรือหมุนเบา ๆ จะเกิดเจลได้เร็วขึ้น การเขย่าหรือการกวนจะทำให้อนุภาคสามารถจัดตัวกันได้เร็วขึ้นปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า " Rheopexy " เป็นคำที่มาจากภาษากรีก แปลว่าหยุดการไหลหรือแข็งตัวเมื่อมีการเคลื่อนไหว

2.1.3 วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตเจล

1) สารที่ทำให้เกิดเจล : คาราจีแนน (Carrageenan)

ในการทดลองครั้งนี้ใช้สารที่ทำให้เกิดเจลคือ คาราจีแนน คาราจีแนนเป็นกัม (Gums) ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง ซึ่งกัมเป็นโพลิแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) หรือ สเตอบิไลเซอร์ (Sterbilizer) (เบ็ญจรัก วายุภาพ, 2543 : 63) สาเหตุที่เรียกว่าไฮโดรคอลลอยด์ เนื่องจากเป็นสารที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และกระจายอยู่ในสารละลายเป็นคอลลอยด์ (Colloids) ไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประโยชน์ประกอบด้วยคุณสมบัติต่อไปนี้ คือละลายน้ำได้ สามารถเพิ่มความหนืดและในบางกรณีสามารถเกิดเจลได้ ความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ประมาณ 2 % หรือน้อยกว่านี้ เพราะมีการกระจายตัวที่จำกัด ประสิทธิภาพของการเกิดคอลลอยด์จะขึ้นโดยตรงกับความสามารถที่จะเพิ่มความหนืด (รัชนี ตัณฑะพานิช, 2537 : 379)

สารโพลิแซคคาไรด์เป็นโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์ต่อกันด้วยพันธะ α, β ของ 1 -> 4 หรือ 1 -> 6 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2,000 – 35,000 ในธรรมชาติพบทั้งในพืชและสัตว์ ในพืชสารโพลีแซคคาไรด์อยู่ในรูปของแป้ง เซลลูโลส น้ำสกัดจากสาหร่ายทะเล (อัลจิเนต คาราจีแนน วุ้น และเฟอเซลลาราน) น้ำยางจากพืช (อาราบิก คารายา และทรากาคานต์) กัมจากเมล็ดพืช (โลกัสบีนกัมกัวกัม) น้ำสกัดจากพืช (เพคติน) ในสัตว์สารโพลีแซคคาไรด์อยู่ในรูปของกัมจากจุลินทรีย์ (แซนแทนกัม) ไคติน และไกลโคเจน เมื่อละลายสารโพลีแซคคาไรด์ในน้ำสารละลายที่ได้จะมีความหนืดสูง (ตารางที่ 1) สารโพลีแซคคาไรด์แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละชนิดจะให้ความหนืดต่าง ๆ กัน กัมอาราบิกจะให้ความหนืดสูงมากถ้าสารละลายมีความเข้มข้นร้อยละ 10 – 20 ในขณะที่สารโพลีแซคคาไรด์อื่น ๆ ให้ความหนืดเท่ากันเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นเพียงร้อยละ 1 เท่านั้น

ตารางที่ 1 ความหนืดของสารโพลีแซคคาไรด์ชนิดต่าง ๆ เมื่อมีความเข้มข้นร้อยละ 1 ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่ 24 °C

สารโพลีแซคคาไรด์	ความหนืด, cps
ทรากาคานต์ (Tragacanth gum)	3,400
โลกัสบีนกัม (Locust bean gum)	3,200
กัวกัม (Gua gum)	3,200
คารายากัม (Karaya gum)	3,000
โซเดียมอัลจิเนต (Sodium Alginates)	1,700
แซนแทนกัม (Xanthan gum)	1,600
คาราจีแนนกัม (Carrageenan gum)	1,400
คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (Carboxyl Methylcellulose)	1,300
โพลีไกลคอลอัลจิเนต (Polyglycol Alginates)	1,100
กัตติกัม (Ghatti gum)	700
อาราบิกกัม (Arabic gum)	100

ที่มา : ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538 : 64

โดยความหนืดของสารโพลีแซคคาไรด์จะขึ้นอยู่กับชนิดของสาร อุณหภูมิ ความเข้มข้น และสารอื่น ๆ ที่อยู่ในสารละลาย

การเกิดเจล (Gel Forming) มีสารโพลีแซคคาไรด์บางชนิดที่เกิดเจลได้ เป็นเจลที่มีเนื้อแข็ง และไม่ไหล สารโพลีแซคคาไรด์ที่นำมาทำเป็นเจลในอาหาร คือ โซเดียมอัลจิเนต คาราจีแนน และเฟอเซลลาราน (Furcellaran) การทำเจลจากสารเหล่านี้และลักษณะของเจลที่ได้แตกต่างกันมาก (ตารางที่ 2) จึงไม่สามารถใช้แทนกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 การเกิดเจลและลักษณะของสารโพลีแซคคาไรด์ชนิดต่าง ๆ

สารโพลีแซคคาไรด์	วิธีการทำให้เกิดเจล		สภาวะพิเศษที่ต้องการให้เกิดเจล	ลักษณะของเจล
	ความร้อน	ปฏิกิริยาเคมี		
วุ้น	X			ใส แข็ง กรอบ
แคปป้าคาราจีแนน	X		ต้องการอนุมูลโปแตสเซียม	ใส กรอบ
คาราจีแนนผสมกับโลกัสบีนกัม	X		"	ขุ่น หยุ่น
ไอโอต้าคาราจีแนน	X		"	ใส นุ่ม และหยุ่น
เฟอเซลลาราน	X		"	ใส และกรอบ (ถ้าเป็นเจลที่ใช้น้ำ) ใส และนุ่ม (ถ้าเป็นเจลที่ใช้นม)
โซเดียมอัลจิเนต		X	"	ใส และกรอบ
เพคติน (มีกลุ่มเมทอกซิลต่ำ)		X	"	ใส และกรอบ
กัมอาราบิก	X			ใส นุ่ม และทนเคี้ยว
แซนแทนกัมผสมโลกัสบีนกัม	X		จะเกิดเจลได้เมื่อใช้สารทั้งสองผสมกัน	ขุ่น หยุ่น และเหนียวเหมือนยาง

ที่มา : ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538 : 65

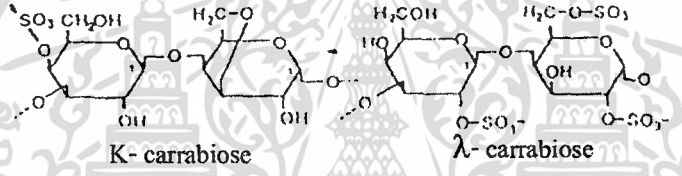
โดยหลักการแล้วสารโพลีแซคคาร์ไรด์ที่มีโมเลกุลยาวเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีส่วนหนึ่งของโมเลกุลจับตัวกับโมเลกุลอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้กันและปล่อยโมเลกุลน้ำที่เคยจับอยู่ให้หลุดออกไปการจับตัวกันนั้นอาจแข็งแรงมากพอที่จะไม่ทำให้แตกตัวออกจากกันเมื่ออยู่ที่อุณหภูมิห้อง โดยเฉพาะโมเลกุลที่มีการจับตัวกันมากกว่า 2 ตำแหน่งจะแข็งแรงมาก

การเกิดเจลอาจใช้วิธีครอสลิงค์ให้โมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นตาข่าย ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งถ้าสูงมากพอจะทำให้เกิดเจลได้ ตัวอย่างเช่น การผสมโลกัสบีนกัมกับคาราจีแนนทำให้เกิดเจลขึ้น เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่สารโพลีแซคคาร์ไรด์สองชนิดสามารถร่วมกันเกิดเจลได้แสดงว่ามีโครงสร้างที่เข้ากันได้ดีทำให้โมเลกุลทั้งสองจับตัวกันได้ สารแต่ละชนิดจะไม่เกิดเจลด้วยตนเอง การทำให้เกิดเจลโดยใช้สารโพลีแซคคาร์ไรด์ 2 ชนิดพบมากในอาหาร

คาราจีแนนเป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง *Chondrus crispus*, *Iridaea*, *Grateloupia*, *Gigartina* และ *Eucheuma* (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2534 : 381) แบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ แคปป้า ไอโอต้าและแลมด้า (ภาพที่ 2) แตกต่างจากโครงสร้างกัมชนิดอื่นตรงที่ประกอบด้วยเอสเทอร์ซัลเฟต (Sulfate ester) และ 3, 6 anhydrogalactose โดยที่ 3, 6 anhydrogalactose เป็นโครงสร้างหลักในการเกิดเจล และปริมาณซัลเฟตจะเป็นตัวควบคุมเนื้อสัมผัสของเจล แคปป้าจะสร้างเจลโดยที่โมเลกุลจะม้วนตัวบิดเป็นเกลียวคู่เมื่อทำปฏิกิริยากับโปรแตสเซียมอิออน สำหรับไอโอต้าเจลจะมีความหยุ่นสูงโมเลกุลจะม้วนตัวบิดเป็นเกลียวคู่เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมอิออน ส่วนแลมด้าจะไม่เกิดเจลแต่ให้ความหนืดสูง (เบ็ญจรัก วายุภาพ, 2543 : 66)

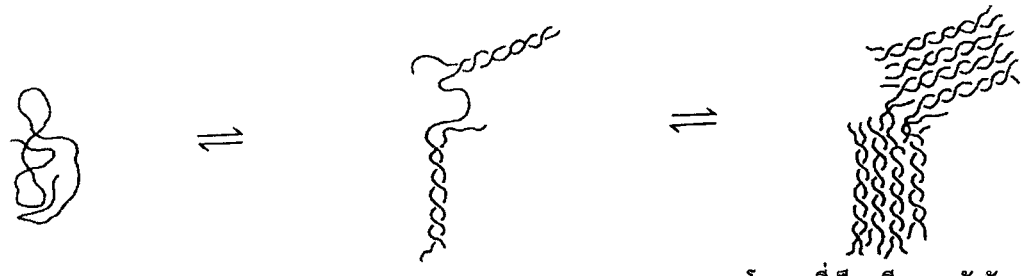


ภาพที่ 2 โครงสร้างของคาราจีแนน

ที่มา : เบ็ญจรัก วายุภาพ, 2543 : 66

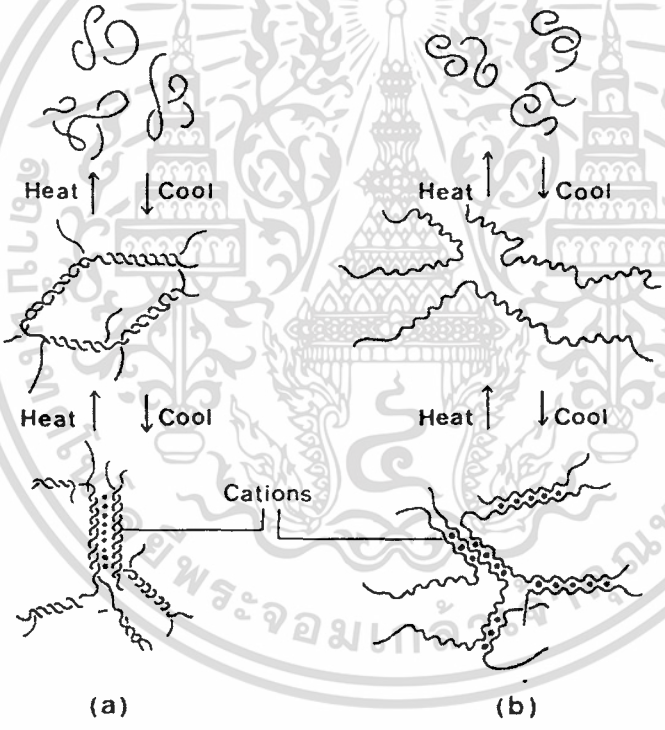
การเกิดเจลของคาราจีแนน การเกิดเจลจะเริ่มด้วยโมเลกุลจะม้วนตัวเป็นแบบ 1 เกลียว (Intramolecular Helix) หรือแบบ 2 เกลียว (Intermolecular Helix) ก็ได้ (ภาพที่ 3) หลังจากนั้นเกลียวที่เกิดขึ้นแล้วจะรวมตัวกันเป็นกลุ่ม โดยมีพันธะระหว่างกันหรือเชื่อมต่อกันด้วยอนุมูลแคลเซียม (ภาพที่ 4) การรวมตัวกันแบบใดก็ตามมักจะเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ เนื่องจากโมเลกุลไม่ราบเรียบการรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์จะทำให้ตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการเกิดเจลของสารโพลีแซคคาร์ไรด์ (คาราจีแนน)

ที่มา : ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538 : 69



ภาพที่ 4 การเกิดเจลของคาราจีแนน

(a) การเกิดเจลโดยการม้วนตัวเป็น 2 เกลียว

(b) การเกิดเจลโดยการม้วนตัวเป็น 1 เกลียว

ที่มา : ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538 : 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจับตัวกับสารอนินทรีย์ คาราจีแนนที่มีกลุ่มซัลเฟตอยู่ด้วยจะตกตะกอนกับ Quaternary Ammonium Compounds

2) สารที่ทำให้เกิดเจล : อื่น ๆ

นอกจากคาราจีแนนแล้วยังมีสารที่ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ อีก ตัวอย่างเช่น

เพคติน (Pectin)

โครงสร้างพื้นฐาน (Primary Structure) ของเพคตินประกอบด้วยกรดแอนไฮโดร – ดี – กาแลกทูโรนิค (Anhydro – D – Galacturonic acid) มาเชื่อมต่อกันเป็นโซ่ตรงโดยพันธะ α- (1 —>4) – ไกลโคซิดิก [α - (1—> 4) - Glycosidic Linkages] หมู่คาร์บอกซิลบางส่วนถูกเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ และหมู่คาร์บอกซิลอิสระที่เหลือบางส่วนอยู่ในรูปของเกลือหรือกรดอิสระ สารประกอบจำพวกเพคติดบางชนิดประกอบด้วยหมู่อะซิติกเอสเทอร์ (Acetic Ester Groups) ที่ C – 2 และ C – 3 สารจำพวกเพคติดยังประกอบด้วยน้ำตาลที่เป็นกลางมาเชื่อมต่อโดยพันธะโคเวเลนต์เป็นโซ่ข้างเคียง (side chains) น้ำตาลเหล่านี้ส่วนใหญ่ ได้แก่ อะราบิโนส และกาแลกโตส และส่วนน้อยเป็นน้ำตาลกลูโคสไซโลส และแรมโนส (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2536 :)

เพคตินแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือเพคตินที่มีกลุ่มเมทอกซิลมาก (High Methoxyl, HM) และเพคตินที่มีกลุ่มเมทอกซิลน้อย (Low Methoxyl, LM) จุดที่แตกต่างของทั้ง 2 ชนิด คือปริมาณของเมทอกซิลแตกต่างกันประมาณ 50 % เพคตินที่มีกลุ่มเมทอกซิลมากจะเกิดเจลได้เร็ว ถึงแม้ว่าจะมีกรดเพียงเล็กน้อยและเพคตินที่มีกลุ่มเมทอกซิลน้อยจะเกิดเจลได้ช้าและต้องการความเป็นกรด – ด่างต่ำและจะเกิดเจลได้ง่ายขึ้นเมื่อมีแคลเซียมอิออนอยู่ด้วย (เบ็ญจรัก วายุภาพ, 2543 : 66)

ในผลไม้จะมีสารพวกเพคตินอยู่มากในชั้นในตอนกลาง ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารยึดเหนี่ยวและอยู่ตรงผนังเซลล์ โดยทั่วไปเพคตินจะอยู่ตรงส่วนเนื้อผลไม้มิใช่น้ำผลไม้ อย่างไรก็ตามน้ำผลไม้บางอย่างอาจมีเพคตินในปริมาณมากและบางอย่าง เช่น แอปเปิล จะมีเพคตินมากที่แกนและเปลือก ในผลไม้จำพวกส้มจะมีเพคตินอยู่มากในส่วนเนื้อเยื่อสีขาวถัดจากเปลือก (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2525 : 112)

เจลาติน (Gelatin)

บางครั้งไม่จัดอยู่ในจำพวกกัม เนื่องจากมีลักษณะคล้ายโปรตีนมากกว่าโพลีแซคคาไรด์ ได้จากหนังและกระดูกสัตว์ การสกัดแยกด้วยกรดจะทำให้เจลาตินมี isoelectric point ระหว่าง 7 – 9 ถ้าสกัดด้วยด่างเจลาตินจะมี isoelectric point ระหว่าง 4.5 – 6 ธรรมชาติของเจลาตินขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อค่า isoelectric point ถ้าสารละลายมีค่าความเป็นกรด – ด่างเหนือจุด isoelectric point เจลาตินจะมีประจุสุทธิของโมเลกุลเป็นลบ แต่ถ้าค่าความเป็นกรด – ด่างใต้จุด isoelectric point ประจุสุทธิของโมเลกุลจะเป็นบวก เจลาตินเกิดเจลได้โดยนำมาละลายในน้ำร้อนเริ่มต้นโดยเจลาตินจะดูดน้ำเข้าไปและเกิดการพองตัว เมื่อสารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิต่ำจะเกิดเป็นเจล และเจลจะหลอมละลายได้ที่อุณหภูมิ 30 ^{o}C นำมาใช้ในอาหารหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์ลูกกวาด ผลิตภัณฑ์นม เจลลี่ และเนื้อ (เบ็ญจรัก วายุภาพ, 2543 : 66)

อะการ์ (Agar)

อะการ์เป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดงหลายชนิด เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนของโพลีการแลคโตส ซัลฟูริค แอซิดเอสเทอร์ (Polygalactose Sulfuric acid Ester) ประกอบด้วย อะกาโรส และอะกาโรเพคติน อะการ์จะละลายได้ดีในน้ำร้อน เมื่อปล่อยให้เย็นจะเกิดเจลขุ่นที่คงรูปร่างแข็งแต่เปราะ อะการ์นิยมใช้กันมากในแถบตะวันออกไกล เช่น ประเทศญี่ปุ่นจะใช้เป็นอาหารโดยตรงมากกว่าเป็นวัตถุเจือปนในอาหาร (เบ็ญจรัก วายุภาพ, 2543 : 66) ญี่ปุ่นนิยมสกัดอะการ์จาก *Gelidium amansii* สหรัฐอเมริกาใช้ *G. cartilageneum* ออสเตรเลียใช้ *Gracilaria* sp. แต่อะการ์ที่มีคุณภาพดีผลิตได้จาก *Gelidium* sp. (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2534 : 381)

อัลจิเนต (Alginate)

อัลจิเนตพบในสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล *Macrocystis pyrifera* โมเลกุลประกอบด้วยกรด D – mannuronic และกรด L – glucuronic มีบางส่วนของโมเลกุลเป็นโซ่ของกรดชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น การละลายขึ้นอยู่กับสัดส่วนของกรดทั้งสอง เป็นสารที่เกิดเจลได้ทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อนเจลที่เตรียมจากอัลจิเนตที่มีกรดกลูคูโรนิคมากจะแข็ง และไม่หยุ่นจัดว่าเป็นพวกไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากสาหร่ายสีน้ำตาลมีการใช้ในอุตสาหกรรมมานานอัลจิเนตเป็นโพลิเมอร์เส้นตรงประกอบด้วยกรดแมนนูโรนิคและกรดกลูคูโรนิค อัลจิเนตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในอาหาร เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมเพียงเล็กน้อยจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นจึงมีการใช้อัลจิเนตเป็นสารข้นหนืด และเมื่อเติมแคลเซียมมากขึ้นอีกจะเกิดเป็นเจล การสร้างเจลจะเกิดได้ที่อุณหภูมิห้องโดยการควบคุมปริมาณแคลเซียมอิออน เนื่องจากอัลจิเนตสามารถสร้างเจลได้ แต่จะตกตะกอนในกรดจึงไม่สามารถใช้ในอาหารบางชนิดได้ ดังนั้นโพรไพลีนไกลคอลอัลจิเนต ซึ่งถูกออกแบบให้คงตัวในกรดจึงนำมาใช้มากในเครื่องดื่ม น้ำสลัด และเบียร์ (เบ็ญจรัก วายุภาพ, 2543 : 66 - 67)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจลแลน (Gellan)

เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่จุลินทรีย์ปล่อยออกมา จุลินทรีย์ที่ให้สารชนิดนี้คือ *Pseudomonas elodea* สารชนิดนี้ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชุดและไม่มีกิ่ง แต่ละชุดมีน้ำตาล 4 หน่วยเกาะเรียงตัวกันตามลำดับ คือ น้ำตาลกลูโคส กรดกลูคูโรนิค น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลแรมโนส โดยมีกลุ่มกลีเซอริล (Glyceryl) และกลุ่มอาเซทิล (Acetyl) เกาะอยู่ตำแหน่ง C – 2 และ C – 6 ของน้ำตาลกลูโคส 1 หน่วยในแต่ละชุด เมื่อนำไปละลายน้ำที่อุณหภูมิสูงแล้วปล่อยให้เย็นตัวจะให้เจลลี่หยุ่นเกาะตัวกันดีเหมือนกับเจลที่ได้จากการผสมแซนแทนกัมกับโลกัสบีนกัม ถ้าเจลแลนมีกลุ่มกลีเซอริลและกลุ่มอาเซทิลน้อยหรือไม่มีจะให้เจลที่ใส แข็ง และกรอบมาก อยู่ตัว ทนกรดได้ดี สามารถหลอมเหลวได้ เมื่อได้รับความร้อนอาหารจะมีกลิ่นดีขึ้น เจลชนิดนี้ใช้กันมากในอาหารญี่ปุ่น (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538 : 62)

เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ผลิตโดยแบคทีเรีย ใช้ในอาหารครั้งแรกเมื่อปี 1988 ในประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันมีการใช้ในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา และฮ่องกง แต่ยังไม่แพร่หลายมากนัก เจลแลนเป็นตลาดใหม่การประยุกต์ใช้ยังไม่ได้รับการพัฒนา สามารถนำมาใช้ในแยมที่มีน้ำตาลต่ำ พุดดิ้ง และลูกกวาด ที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้เนื่องจากทำเป็นแผ่นฟิล์มได้ และเกิดเจลกับโซเดียมอิออน ซึ่งเป็นเกลือที่รู้จักกันดี หาง่าย เกิดเจลได้ในสภาวะปกติ เนื้อสัมผัสและรูปร่างเหมือนของเหลว เจลใส ทนกรด ซึ่งเป็นลักษณะเด่นที่จะนำมาใช้

เจลแลนคล้ายอะการ์ คาราจีแนน และอัลจิเนต บางครั้งนำมาใช้ร่วมกับแป้ง และเจลาติน เพื่อเพิ่มผลกำไรทางการค้า การสร้างเจลจะเกิดการเชื่อมระหว่างสายโซ่ภายในและบิดเป็นเกลียวคู่เมื่อโดนความเย็นและถูกกระตุ้นด้วยอิออน และไนโตรเจนจากกรดในสารละลาย (เบ็ญจรัก วายุภาพ, 2543 : 67)

2.1.4 กรรมวิธีการผลิตเจล

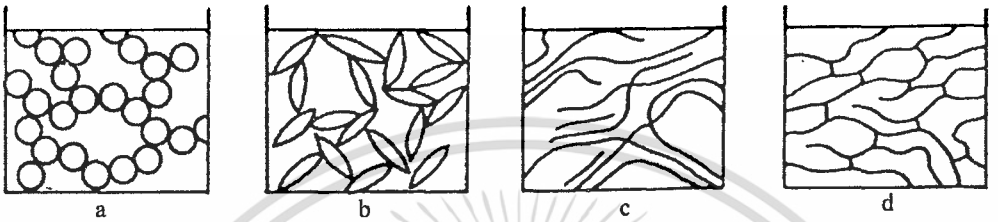
การเตรียมเจล (Preparation of gel) (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538 : 157 - 159)

ลักษณะการสานตัวกันอาจเกิดขึ้นได้ 4 รูปแบบ (ภาพที่ 5) เมื่ออนุภาคมีลักษณะกลม การสานตัวกันเกิดจากการเคลื่อนที่เข้าหากันและเกาะตัวกันเป็นเส้นยาว (ภาพที่ 5 a) เมื่ออนุภาคมีรูปร่างยาวรี การสานตัวกันจะเกิดจากปลายแหลมเข้าไปเกาะกับส่วนหนึ่งส่วนใดของอนุภาคอื่น ๆ (ภาพที่ 5 b) เมื่ออนุภาคมีลักษณะเป็นเส้นยาวแบบ macromolecules การสานตัวกันจะเกิดจากการเรียงตัวกันของส่วนหนึ่งส่วนใดของเส้น ทำให้ส่วนนั้นเกิดเป็นผลึกขึ้น (ภาพที่ 5 c) หรือเกิดจากปฏิกิริยาเคมีแบบครอสลิงค์ (ภาพที่ 5 d) แรงที่อนุภาคจับกันนั้นมีทั้งแบบ van der Waals force และแรงประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

(polar forces) นอกจากนี้แล้วยังมีโมเลกุลหรืออนุภาคอื่น ๆ เข้ามาเกาะเกี่ยวด้วยโดยจะเข้าไปเกาะอนุภาคที่เกิดเจล เช่น น้ำ เป็นต้น การสานตัวกันนั้นจะเกิดขึ้นทั้งระบบหรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ความเข้มข้น และวิธีการเตรียม ถ้าสารละลายมีความเข้มข้นต่ำเกินไปจะเกิดเพียงตะกอนขุ่นเท่านั้น อย่างไรก็ตามความเข้มข้นที่เปลี่ยนจากตะกอนขุ่นมาเป็นเจลลี่ของสารแต่ละชนิดไม่แน่นอนนัก เนื่องจากขึ้นอยู่กับสภาวะการเตรียม



ภาพที่ 5 การสานตัวกันของอนุภาคเพื่อให้เกิดเจล
ที่มา : ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538 : 157

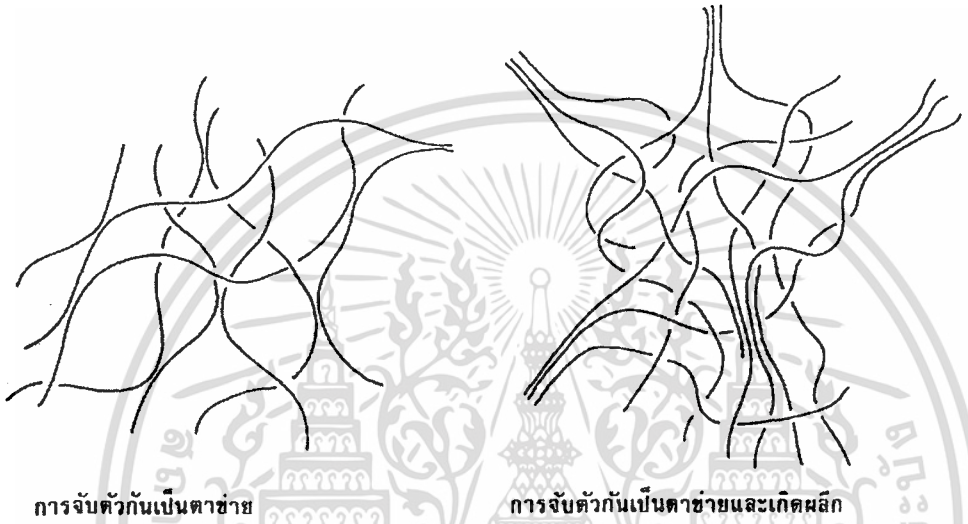
ถ้าสารชนิดนั้นดูดซับน้ำจะเกิดเจลลี่ ในทางตรงกันข้ามถ้าสารชนิดนั้นดูดซับน้ำได้น้อยจะเกิดเจลแบบตะกอนเบา ถ้าผสมสารละลายเข้าด้วยกันแล้วเกิดตะกอนทันทีจะให้ตะกอนแบบตะกอนหนักและตะกอนเบาไม่สม่ำเสมอซึ่งเป็นปัญหาการผลิต เนื่องด้วยการผสมในระยะแรกเมื่อเทส่วนผสมลงไปส่วนหนึ่งจะเกิดเจลอย่างรวดเร็วให้เจลที่มีเนื้อแข็ง และเมื่อผสมอีกส่วนหนึ่งลงไปจะเกิดเจลอีกเป็นเจลที่มีลักษณะเบา เจลที่ได้จึงมีทั้งหนักและเบา ถ้ามีการกวนระหว่างการผสมจะทำให้โครงสร้างของเจลถูกทำลายไป แต่ถ้าสามารถทำให้อัตราการตกตะกอนต่ำลงโดยไม่ทำให้ความเข้มข้นที่จุดหนึ่งจุดใดสูงเกินไปจะให้เจลลี่ เช่น การใส่สารละลายตัวหนึ่งตัวใดลงไปทีละน้อยในขณะทำการกวนให้เข้ากัน เป็นต้น การลดอุณหภูมิให้ต่ำลงในขณะทำการผสมก็ทำให้อัตราการตกตะกอนช้าลง และ ช่วยให้เกิดเจลลี่ได้ดีขึ้น

การที่จะทำให้ผลึกเกิดขึ้นได้นั้นจะต้องลดการละลายของสารให้ต่ำลง เช่น การลดอุณหภูมิ การใส่สารบางชนิดลงไปเพื่อลดการละลาย การทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของตัวละลาย เป็นต้น เมื่อการละลายลดลงถึงระดับหนึ่งความอิ่มตัวจะเกิดขึ้น โมเลกุลของสารละลายจะจับตัวกันเอง เนื่องจากโมเลกุลมีความยาวมากการจับตัวกันจึงเกิดขึ้นหลายจุดและหลายโมเลกุลทำให้เกิดตาข่ายขึ้น (ภาพที่ 6) ถ้าจุดที่จับตัวกันมีโมเลกุลเข้าเกี่ยวข้องน้อย เจลที่เกิดขึ้นยังคงมีลักษณะเป็นของเหลว ถ้าจุดที่จับตัวกันนั้นมีโมเลกุลเข้าเกี่ยวข้องมากจะทำให้เกิดผลึกขึ้น ณ จุดนั้น แต่จะมีโมเลกุลเข้าเกี่ยวข้องจำนวนเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับความอิ่มตัวยิ่งยวดและจำนวนผลึกที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน การเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

36240

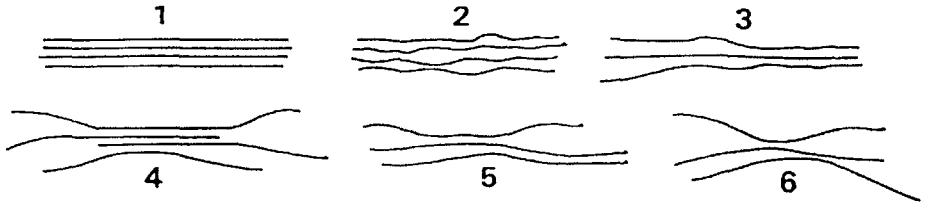
ผลึกแบบนี้ทำให้โมเลกุลจับตัวกันอย่างแน่นหนาและแยกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นของแข็งและส่วนที่เป็นของเหลวซึ่งเป็นลักษณะของเจลอย่างแท้จริง เมื่อตั้งทิ้งไว้นานการจับตัวกันที่จุดใหม่ ๆ จะเกิดขึ้นอีกพร้อมทั้งผลึกที่เกิดขึ้นก่อนแล้วจะมีขนาดใหญ่ขึ้นแต่ก็ยังไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ การที่ของเหลวเปลี่ยนไปเป็นของแข็งผสมกับของเหลวจะตรวจสอบได้ด้วยวิธี x – ray diffraction ถ้าผลึกมีขนาดใหญ่จนถึงระดับหนึ่งจะปรากฏให้เห็นเป็นจุดที่เรียกว่า interference spot



ภาพที่ 6 การจับตัวกันของโมเลกุลภายในเจล
ที่มา : ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538 : 158

ขนาดของผลึกขึ้นอยู่กับสภาวะของการเกิดผลึกและ อายุของเจล ถ้าทำให้เกิดเจลอย่างรวดเร็วจะให้ผลึกที่มีลักษณะแตกต่างไปจากผลึกที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ อายุของเจล อุณหภูมิที่เก็บและการใส่สารบางชนิดลงไปก็จะมีผลให้เกิดผลึกแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามจุดที่โมเลกุลจับตัวกันนั้นอาจมีขนาดเล็กไม่อยู่ในเกณฑ์ที่เรียกว่า ผลึก แต่ก็มีความสำคัญมากต่อโครงสร้าง และคุณสมบัติของเจล สำหรับโมเลกุลที่จับตัวกันนั้นมีแรงจับ (พลังงาน) ไม่เท่ากัน ถ้าส่วนของโมเลกุลมีการเรียงตัวกันได้อย่างแนบสนิทจะเกิดแรงจับตัวกันสูงสุดมีความเหนียวแน่นมาก แต่ถ้าโมเลกุลเรียงตัวกันได้ไม่แนบสนิทมากนักแรงจับตัวกันจะลดลง (ภาพที่ 7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



<u>ภาพที่ 7</u> การจัดเรียงตัวกันของโมเลกุลแบบต่าง ๆ ณ จุดที่จับตัวกันโดยมีแรงจับจากมากไปหาน้อยตามลำดับ

ที่มา : ณรงค์ นิยมวิทย์,2538 : 159

ลักษณะของเจลลี่ที่ดี คือใส สีน่ารับประทาน อยู่ตัว และทรงตัวได้ดี ไม่เหนียวหนืดเป็นประกาย ลื่น นุ่ม มีความไหวตัวได้ แต่ไม่ไหลไปมา อ่อนนุ่ม สามารถตัดออกได้ง่ายด้วยช้อน และรอยตัดนั้นจะไม่เปลี่ยนรูป (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2525 : 109)

เอื้องฟ้า (2542 : 193) กล่าวว่าเจลลี่ที่ดีจะต้องมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลวพอเหมาะ ต้องใส แสงผ่านได้ ต้องเป็นประกายลื่น อ่อนนุ่ม สามารถตัดออกได้ง่าย และรอยตัดนั้นยังคงรูปอยู่เหมือนเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สารให้ความหวาน

มีสารหลายตัวที่ให้ความหวาน ที่รู้จักกันมากได้แก่

1) น้ำตาล เช่น ซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส

2) โพลีออลส์ เช่น ซอร์บิทอล และแมนนิทอล

3) กรดอะมิโน เช่น ไกลซีน

4) สารสังเคราะห์ทางเคมี เช่น ไซคลาเมท และแซคคาริน

สารให้ความหวานต่าง ๆ เหล่านี้มีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกันไปเป็นผลให้สารดังกล่าวมีคุณสมบัติทางเทคนิคแตกต่างกันออกไปเป็นกลุ่ม ๆ แต่ก็มีข้อควรคำนึงในทางปฏิบัติที่มีผลจำกัดการใช้สารเคมีเหล่านี้ในจุดประสงค์เพื่อให้ความหวาน ปัจจุบันมีรายงานออกมาบ่อย ๆ เกี่ยวกับสารเคมีสังเคราะห์ใหม่ ๆ ที่สามารถให้ความหวานได้ ในการที่จะพิจารณาใช้สารให้ความหวานใหม่ ๆ ดังกล่าวอย่างมีศักยภาพ มีความจำเป็นที่จะต้องทราบถึงข้อกำหนดในทางปฏิบัติในการใช้สารเหล่านี้ เหตุผลที่มีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีให้ความหวานชนิดสังเคราะห์ซึ่งไม่ให้สารอาหารคือ

1) เพื่อให้ความหวานโดยไม่จำเป็นต้องมีข้อกำหนดทางอินซูลินในผู้ป่วยด้วยโรคเบาหวาน

2) เพื่อให้ได้รับความหวานโดยไม่ได้รับแคลอรี เพื่อใช้ในสูตรอาหารที่ให้แคลอรีต่ำ เพื่อผู้ป่วยที่จำเป็นต้องกินอาหารจำกัดแคลอรี

2.2.1 คุณสมบัติของสารให้ความหวานชนิดสังเคราะห์ (มนตรี ไกรวณิช และธีราวดี ถี่ถ้วน, 2539 : 22)

1) คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส น้ำตาลที่เราใช้ในอาหารนั้นให้ความหวานและคนเราก็มีความเคยชินกับความหวานเฉพาะตัวของน้ำตาล ในการใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาลในอาหารเพื่อให้แน่ใจว่าผู้บริโภคจะยอมรับได้ดี สารนั้นจำเป็นต้องมีเค้าโครงความหวาน (Sweetness Profile) ที่คล้ายคลึงกับเค้าโครงของน้ำตาลพอสมควรและจะต้องให้เฉพาะรสหวาน นั่นก็คือ ต้องปราศจากรสขมหรือรสอื่น ๆ จะเป็นการดีที่สุดถ้าสารนั้นจะทำให้เรารู้สึกในรสหวานได้ภายใน 2 – 3 วินาที และจะคงความหวานนั้นได้นานประมาณ 30 วินาที

สารเคมีที่ให้ “ รสปร่า ” (Off Tastes) ออกไป หรือให้ “ รสติดลิ้น ” (After Tastes) จะทำให้เกิดปัญหา และถ้ารสหวานนั้นคงความรู้สึกได้นานก็จะทำให้เกิด “ รสทะแม่ง ๆ ” (Funny Tastes) โดยทั่วไปยิ่งสารใดให้ความหวานคล้ายคลึงกับน้ำตาลทรายมากเพียงใด ก็ยิ่งจะทำให้เรานำสารนั้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในสูตรอาหารและเครื่องมือได้มากขึ้นเพียงนั้น มีสารเคมีสังเคราะห์ที่ให้ความหวานหลายตัวที่ให้รสอื่นหรือให้เค้าโครงหวานที่แปลกออกไป ซึ่งจะเป็นจุดอ่อนในการที่จะนำสารนั้นมาใช้

2) คุณสมบัติทางเคมี เนื่องจากการใช้น้ำตาลทรายหรือสารให้ความหวานในอาหารนั้นเป็นการใช้รสหวานของมันผสมผสานกันไปกับรสอื่น เกิดเป็นระบบกลิ่นรสที่สลับซับซ้อน ในขณะเดียวกันก็เป็นการใช้ร่วมกันไปกับกลิ่นรส (ธรรมชาติหรือเทียม) และสีด้วย ดังนั้นสารให้ความหวานสังเคราะห์จึงจำเป็นต้องเข้ากันได้ดีกับสารเคมีต่าง ๆ เหล่านั้น และเพื่อให้มีอายุการเก็บนานพอสารให้ความหวานจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีได้ง่าย หรือเฉื่อยต่อส่วนประกอบธรรมชาติและสารปรุงแต่งทางเคมีทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้นั้น ๆ

3) คุณสมบัติทางกายภาพ สารให้ความหวานสังเคราะห์จำเป็นต้องมีความคงทนต่ออุณหภูมิ เนื่องจากว่าการแปรรูปอาหารนั้นมักจะเกี่ยวข้องกับการทำให้สุก ดังนั้นสารดังกล่าวจำเป็นต้องคงทนต่อการต้ม การอบ และการใช้หม้ออัดความดัน และในทำนองเดียวกันมันจะต้องคงทนต่อการแปรรูปโดยใช้อุณหภูมิต่ำ เช่น การแช่เข็งอย่างเร็ว และการทำแบบ Freeze – Drying

เนื่องจากอาหารจะต้องผ่านการเก็บ การขนส่ง และต่อมาก็การสต็อคไว้บนหิ้งตามร้านขายของชำ ดังนั้นสารให้ความหวานจำเป็นต้องคงทนต่อสภาวะการเก็บต่าง ๆ ดังกล่าว อายุการเก็บจะนานเท่าใดนั้นย่อมขึ้นกับว่าเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใด แต่ผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดจำเป็นต้องมีอายุการเก็บถึง 2 ปี โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปมักต้องมีอายุการเก็บ 6 เดือนเป็นอย่างน้อย

อาหารหลายชนิดเป็นของเหลว มีปริมาณความชื้นสูงหรือบางชนิดก็จะเกิดเปลี่ยนลักษณะเป็นของเหลวในขณะที่ผ่านการแปรรูป ความคงทนของสารให้ความหวานในสารละลายเป็นสิ่งสำคัญ pH ของอาหารและเครื่องดื่มจะอยู่ในช่วงจาก 2.5 ถึง 8.0 ดังนั้นสารให้ความหวานที่สามารถคงทนต่อช่วง pH ดังกล่าว จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้มันใช้งานได้อย่างกว้างขวาง

อาหารหลายชนิดประกอบด้วยน้ำตาลที่เข้มข้นร้อยละ 15 หรือน้อยกว่าแต่ผลิตภัณฑ์อาหารพวกเจลลี่ และน้ำเชื่อมอาจจะมีความเข้มข้นของน้ำตาลมากกว่าร้อยละ 50 ดังนั้นเพื่อให้ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง สารให้ความหวานสังเคราะห์จำเป็นต้องละลายได้อย่างดี เพื่อจะใช้แทนความหวานของน้ำเชื่อมธรรมดา ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลทรายถึงร้อยละ 70

4) คุณสมบัติทางความปลอดภัย การที่กำหนดให้ต้องมีการพิสูจน์ความปลอดภัยในการใช้สารปรุงแต่งอาหารใหม่ ๆ นั้นเป็นปัญหาใหญ่ในการใช้สารให้ความหวาน เนื่องจากจะต้องมีการทดลองใช้เลี้ยงสัตว์ทดลองในปริมาณที่สูงพอที่จะทำให้เกิดผลร้ายต่อสัตว์ทดลองนั้น จะต้องมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษา เพื่อจะหาระดับความปลอดผลร้ายสูงสุด จะต้องมีการศึกษาในระบบเมตาบอลิซึม และระบบขับถ่าย และแยกการศึกษาให้ทดลองกินร่วมกับเมตาบอไลท์อื่น ๆ

ในการทดลองครั้งนี้ใช้สารให้ความหวานสังเคราะห์แอสพาร์เทม ในผลิตภัณฑ์เจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

แอสพาร์เทม (Aspartame)

แอสพาร์เทมมีชื่อทางการค้าว่า NutraSweet เป็นสารสังเคราะห์ Methyl Ester ของ Dipeptide ซึ่งประกอบด้วย L – Aspartic acid กับ L – Phenylalanine (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2540 : 408) แอสพาร์เทมมีลักษณะเป็นผงผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น ความสามารถในการละลายจะขึ้นอยู่กับ pH และอุณหภูมิโดยจะละลายได้มากที่สุดที่ pH 2.2 และละลายในน้ำได้ที่จุด Isoelectric point ที่ pH 5.2 ซึ่งมีแอสพาร์เทมมีสูตรทางเคมีคือ $C_{14}H_{18}N_2O_5$ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 294.3

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวและการใช้งานได้ดีของแอสพาร์เทม ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ pH และเวลา โดยในช่วง pH 3 – 5 จะมีความเสถียรมากที่สุด ซึ่งจะเป็นลักษณะของอาหารส่วนใหญ่และ pH ที่เหมาะสมคือ 4.3 ถ้าสูงหรือต่ำกว่านี้ Dipeptide จะเกิดการย่อยสลายและถ้า pH สูงกว่า 5 จะเกิดการจับเป็นวงได้เป็น Diketopiperazien (DKP) ซึ่งจะทำให้ความหวานสลายไปทำให้ไม่มีความหวานเลย

การเผาผลาญของแอสพาร์เทม จะถูกเผาผลาญในกระบวนการเดียวกันกับโปรตีน ซึ่งจะให้ Phenylalanine, Aspatic acid และ Methanol ออกมา ซึ่ง Phenylalanine ที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาผลาญจะเกี่ยวข้องกับสาร PhenylKetonurea (PKU) การทดสอบจะมีหลักฐานแสดงว่าแอสพาร์เทมไม่มีอันตรายและบริโภคได้ปลอดภัยเหมือนโปรตีนอื่น ๆ ในปี ค.ศ. 1974 ได้มีการปิดฉลากเพื่อแสดงว่าประกอบด้วยโปรตีน ซึ่งเดือนกรกฎาคม ค.ศ. 1985 ทาง American Medical Association Council on Scientific Affairs ได้ยืนยันว่าคนปกติจะบริโภคแอสพาร์เทมได้อย่างปลอดภัยและไม่มีอันตรายร้ายแรงต่อสุขภาพด้วย (มนตรี ไกรวณิช และธีราวดี ถี่ถ้วน, 2539 : 16 - 17)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของแอสพาร์เทม (มนตรี ไกรวณิช และธีราวดี ถี่ถ้วน, 2539 : 17)

1) ให้ความหวาน ซึ่งความหวานของแอสพาร์เทมเป็นชนิดไม่มีรสปร่า (Off Flavor)

2) เสริมกลิ่นรสอื่นให้เด่นขึ้น ทั้งยังสามารถทำให้รสหวาน เช่น ในหมากฝรั่งอยู่ติดลิ้นได้นานขึ้น แอสพาร์เทมสามารถช่วยลดความขมของกาแฟเกรดดำได้ด้วย ทั้งยังสามารถทำให้กลิ่นรสของผลไม้แรงขึ้นและอยู่ได้นานมากขึ้น เช่น กลิ่นมะนาว และกลิ่นส้มในอาหาร ความหวานของแอสพาร์เทมนั้นจะแตกต่างกันบ้างขึ้นอยู่กับว่าใช้ในระบบอาหารชนิดใด

3) แอมพาร์เทมจะให้พลังงาน 4 แคลอรีต่อกรัม อย่างไรก็ตามเนื่องจากความหวานสูงจึงใช้ปริมาณน้อยมาก จึงมีผลในทางการลดแคลอรีในอาหารได้ดี

4) ไม่ทำให้เกิดฟันผุซึ่งศึกษาโดย American Dental Association

นอกจากนี้สารให้ความหวานอื่น ๆ ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่

ซอร์บิทอล (Sorbitol)

ซอร์บิทอล มีจำนวนคาร์บอนอะตอมอยู่ 6 อะตอม สกัดได้จากน้ำในผลของต้น Muutain Ash Tree ในปัจจุบันได้มีรายงานว่า พบในผลไม้อื่นอีกหลายชนิด เช่น Pears, Apples, Cherries เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบในสาหร่ายสีแดง ซอร์บิทอลมีความหวานประมาณ 0.5 – 0.6 เท่าของน้ำตาลซูโครส

เนื่องจากเมื่อเติมซอร์บิทอลลงในอาหารหรือเครื่องดื่มแม้เพียงเล็กน้อย จะเป็นการช่วยเพิ่ม body ให้กับอาหาร สารละลายของซอร์บิทอลจะให้ความหนืดสูงมาก วิธีที่ดีที่สุดในการใช้ซอร์บิทอลช่วยเพิ่มความหนืดของอาหารคือ ใส่ของผสมของ Glycerine, Sorbitol และน้ำตาลลงไปด้วยกัน เมื่อเติมซอร์บิทอลลงไป พบว่าเมื่อเติมในปริมาณที่พอเหมาะจะช่วยยืดอายุในการเก็บและลดการ Hardening ลง (มนตรี ไกรวณิช และธีราวดี ถี่ถ้วน, 2539 : 17)

มอลติทอล (Maltitol)

มอลติทอลเป็นผลผลิตจากน้ำตาลมอลโตสที่มีความบริสุทธิ์สูง ผ่านกระบวนการรีดักชั่นทางเคมีแล้วทำให้บริสุทธิ์จนเป็น Maltitol Syrup มีความหวาน 40 – 80 เท่าของน้ำตาลซูโครส ซึ่งมอลติทอลจะมีความเข้มข้นและคุณสมบัติแตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แซ็คคารีน

แซ็คคารีนให้ความหวาน 300 – 400 เท่าของน้ำตาลซูโครส แซ็คคารีนมีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่น่าพอใจ เนื่องจากเข้ากันได้ดีกับสิ่งอื่น การละลายดี และความคงทนดี แต่แซ็คคารีนก็ให้รสขมติดลิ้นแก่บางคน ซึ่งนับว่าเป็นข้อจำกัดของการใช้สารนี้ อย่างไรก็ตามแซ็คคารีนสามารถทำหน้าที่เป็นสารร่วมให้ความหวานได้ดี ซึ่งสารให้ความหวานสังเคราะห์ที่ใช้ร่วมนั้นสามารถจะกลบรสติดลิ้นของแซ็คคารีน (มนตรี ไกรวณิช และธีราวดี ถิ่ถ้วน, 2539 : 19) นิยมใช้แซ็คคารีนในรูปของเกลือโซเดียมหรือแคลเซียม (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2540 : 408)

ไกลซีไรซีน

ไกลซีไรซีนไม่ได้เป็นสารเคมีสังเคราะห์ แต่เป็นสารให้ความหวานที่ปลอดจากคุณค่าทางโภชนาการ สารตัวนี้เป็นสารสกัดที่ได้จากต้นชะเอม มีความหวาน 50 – 100 เท่าของน้ำตาลทราย มีการอนุญาตให้ใช้สารนี้ได้ในอาหาร แต่การที่สารตัวนี้ให้รสชะเอมซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัวอย่างแรงก็เป็นการจำกัดการใช้สารนี้ในผลิตภัณฑ์อาหารบางอย่าง

ไดไฮโดรแคลโคนส์

สารให้ความหวานกลุ่มนี้ได้มาจาก Citrus Bioflavonoids มีอยู่ 2 ตัวที่น่าสนใจคือ Naringin Dihydrochalcone และ Neohesperidne Dihydrochalcone สารอนุพันธ์ของ Naringin มีข้อเสียเปรียบในเรื่องการละลาย ส่วนลักษณะของรสเฉพาะตัวเป็นข้อจำกัดของสารทั้งสองตัว สารเหล่านี้ออกรสหวานช้า และรสหวานจะคงอยู่นานหลายนาที นอกจากนี้สารทั้งสองตัวนี้ยังให้รสติดลิ้นซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัว สำหรับในเรื่องความปลอดภัยยังมีการศึกษากันอยู่ อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้ได้สารนี้คงจะใช้ในอาหารประเภทลูกกวาด ขนมหวาน และยา

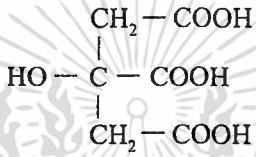
Sucralose

Sucralose ให้ความหวาน 600 เท่าของน้ำตาลทราย ได้จากการรวมตัวของซูโครสและคลอรีน มีความคงตัวสูง ปัจจุบันกำลังรอรับอนุญาตจาก FDA ให้มีการใช้ได้ในผลิตภัณฑ์อาหาร (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2540 : 409)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กรดซิตริก (Citric acid)

ในปี 1784 Scheele แยกกรดซิตริกได้เป็นครั้งแรกจากน้ำมะนาว และพบว่ากรดนี้เป็นสารประกอบในผลไม้หลายชนิด (กำเนิด สุภัณวงษ์, 2534 : 256) กรดซิตริกมีชื่อทางเคมีว่า β - Hydroxy Tricarboxylic acid หรือ α - Hydroxy – 1.2.3. – Propane Tricarboxylic acid เมื่ออยู่ในรูปของอันไฮดรัส ($C_6H_8O_7$) จะมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 153°C และเมื่ออยู่ในรูปโมโนไฮเดรต ($C_6H_8O_7 . H_2O$) จะมีจุดหลอมเหลวคือ 100°C ความสามารถในการละลายน้ำของกรดนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิ โดยถ้าอุณหภูมิยิ่งสูงก็จะละลายน้ำได้ดียิ่งขึ้น มีสูตรโครงสร้างดังนี้



กรดซิตริกที่พบตามธรรมชาติโดยเป็นสารประกอบของผลไม้หลายชนิด เช่น ส้ม มะนาว ดังนั้นเริ่มแรกจึงมีการผลิตกรดมะนาวเป็นการค้าโดยสกัดจากผลไม้เรียกว่า Natural Citric acid ต่อมามีการนำผลไม้ไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น ๆ เช่น ทำน้ำผลไม้คั้น ประกอบกับปริมาณความต้องการของกรดชนิดนี้มีมากขึ้น จึงทำให้ Natural Citric acid มีราคาสูงขึ้น ต่อมาพบว่ามีจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดชนิดนี้ได้โดยเฉพาะเชื้อรา จึงมีการศึกษากันมากในที่สุดก็มีการผลิตกรดชนิดนี้จากเชื้อราเป็นการค้า ต่อมาการผลิตกรดชนิดนี้จะใช้วิธีการหมักจากเชื้อราเป็นส่วนใหญ่ มีน้อยกว่าร้อยละ 1 ผลิตจากผลไม้พวกส้ม ซึ่งระยะหลังก็มีการสนใจเชื้อยีสต์ด้วย ในปัจจุบันยังไม่มีการสังเคราะห์ทางเคมีที่จะมาแข่งขันกับการหมักจากเชื้อรา แม้ว่าจะมีกรดอินทรีย์อื่น ๆ ที่สามารถผลิตได้โดยวิธีการทางเคมี (ดวงพร คันธโชติ, 2530 : 164)

สารตั้งต้นในการผลิตกรดซิตริกได้แก่ น้ำตาลหลายชนิดโดยทั่วไปใช้กากน้ำตาล อาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต สารประกอบอินทรีย์ ไนโตรเจน และเกลืออนินทรีย์ อาหารที่ฆ่าเชื้อแล้วจะใส่ไว้ในภาชนะตื้น ๆ ที่มีพื้นที่ผิวมาก เนื่องจากต้องเลี้ยงในแบบที่ใช้ออกซิเจน จากนั้นใส่สปอร์ของราลงไป

วิธีการเลี้ยงอาจใช้ซับเมิจคัลเจอร์ (Submerged Culture) คือเลี้ยงในอาหารเหลวในถังขนาดใหญ่และอัดอากาศที่ปราศจากเชื้อใด ๆ ลงไป ปริมาณผลผลิตของกรดซิตริกที่จะได้จะขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายพันธุ์ของเชื้อราที่ใช้ องค์ประกอบของอาหาร ลักษณะการให้อากาศ อุณหภูมิใการบ่มเชื้อ (นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณพินิจ, 2541 : 629)

ปริมาณการผลิตต่อปีเฉพาะที่สหรัฐอเมริกาและยุโรปผลิตประมาณ 210 ล้านปอนด์ ญี่ปุ่นผลิตประมาณ 10 ล้านปอนด์ และในบราซิล อิสราเอล แม็กซิโก โคลัมเบีย และอาร์เจนตินาผลิตประมาณ 20 ล้านปอนด์ (ดวงพร คันธโชติ, 2530 : 165)

2.3.1 การผลิตกรดซิตริกโดยเชื้อรา

ได้แก่ *Aspergillus niger*, *A. clavatus*, *Penicillium luteum*, *P. citrinum*, *Paecilomyces divaricatum*, *Mucor piriformis* และ *Ustulina vulgaris* แต่ *A.niger* เท่านั้นที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตกรดซิตริก เพราะให้กรดในปริมาณสูงและใช้ระยะเวลาสั้น (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2532 : 314) ข้อดีของการใช้ *A.niger* ในการผลิตกรดซิตริกสรุปได้ดังนี้

1) ควบคุมได้ง่าย
2) สามารถใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูกในการผลิต
3) ให้ผลผลิตสูง และคงที่

2.3.2 การผลิตกรดซิตริกโดยยีสต์

ยีสต์ที่ใช้ผลิตกรดซิตริกได้แก่ *Candida* sp., *Hensenula* sp., *Pichia* sp., *Debaryomyces* sp., *Torulopsis* sp., *Kloeckera* sp., *Trichosporon* sp., *Torula* sp., *Rhodotorula* sp., *Sporobolomyces* sp., *Endomyces* sp., *Nocardia* sp., *Nematospora* sp., *Saccharomyces* sp. และ *Zygosaccharomyces* sp.

สารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตกรดซิตริกโดยยีสต์ได้แก่ Glucose, Acetate, Hydrocarbons, Molasses, Alcohols, Fatty acids และ Natural Oils (กำเนิด สุภัณวงษ์, 2534 : 270)

2.3.3 การผลิตกรดซิตริกโดยแบคทีเรีย

แบคทีเรียบางชนิด เช่น *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis* และ *Brevibacterium flavum* สามารถผลิตกรดซิตริกจาก Glucose, Isocitric acid หรือ Hydrocarbons ได้ *Klebsiella* sp., *Aerobacter* sp., *Pseudomonas* sp., *Micrococcus* sp., *Bacillus* sp., *Brevibacterium* sp., *Corynebacterium* sp. และ *Arthrobacter* sp. เป็นต้น (กำเนิด สุภัณวงษ์, 2534 : 274)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ประโยชน์ของกรดซิตริก (ดวงพร คันธโชติ, 2530 : 176)

มีการนำกรดซิตริกไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ จะเห็นได้จากปริมาณการผลิตของตลาดโลก ประมาณ 200 ล้านกิโลกรัมต่อปี โดยเกือบครึ่งหนึ่งจะอยู่ในยุโรป ในการผลิตจะผลิตทั้งในรูปอันไฮดรัสและโมโนไฮเดรต ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร

1) อุตสาหกรรมอาหาร โดยเป็นตัวให้กรด ใช้มากกับเครื่องดื่มอย่างอ่อน น้ำหวาน น้ำอัดลม เจลลี่ แยม ตลอดจนอาหารกระป๋อง และการทำชีส โดยกรดซิตริกช่วยเพิ่มกลิ่นรส ลดความฝาด ควบคุมความเป็นกรด และป้องกันการขุ่นของเครื่องดื่มที่ทำจากผลไม้ได้ และใช้เป็นตัวปรับให้มีรสชาติที่ดีในการผลิตซอส ไซรับ ลูกอม ลูกกวาด และยังมีคุณสมบัติช่วยในการเก็บรักษาอาหารด้วย

2) อุตสาหกรรมเภสัชกรรม การทำยาจะใช้เป็นส่วนผสมในการทำยาบางชนิด เพื่อควบคุมความเป็นกรด ผสมในยาจะเป็นตัวเกิดฟองฟูในน้ำดื่ม การใช้ผสมจะใช้ในรูปของเกลือหรือเอสเทอร์ของกรดซิตริก

3) อุตสาหกรรมทำเครื่องสำอาง เช่น ใช้เป็นส่วนผสมของครีมนวดผม น้ำยาเซทผม และโลชั่นทาผิว โดยกรดซิตริกจะเป็นตัวควบคุมระดับ pH ของผลิตภัณฑ์ และทำให้เกิดความแวววาว ความอ่อนนุ่มของผลิตภัณฑ์ยิ่งขึ้น

4) อุตสาหกรรมอื่น ๆ ใช้ผสมทำความสะอาด Boiler ทำความสะอาดโลหะ ล้างสนิม หมึกพิมพ์ น้ำหมึก สี และเป็น Blood Anticoagulant ในรูปของเกลือโซเดียมซิเตรท และเอสเทอร์ของกรดชนิดนี้ใช้เป็น Plasticizer

2.4 กลิ่นรส (Flavor)

กลิ่นรส (Flavor) เป็นลักษณะเฉพาะตัวที่สำคัญมากอย่างหนึ่งของอาหารและผลิตภัณฑ์อาหาร และสามารถใช้เป็นมาตรฐานในการตัดสินคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งแสดงถึงการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภค คำว่า " กลิ่นรส " เป็นการรวมความรู้สึก 2 อย่าง คือ ความรู้สึกต่อรส (Taste) และความรู้สึกต่อกลิ่น (odor) ของสาร ในปากและคอหอย (Pharynx) ที่ต่อมรับรส (Taste buds) เป็นจำนวนมากสามารถรับรสหวาน รสเปรี้ยว รสเค็ม และรสขมส่วนในจมูกก็มีปลายประสาทรับกลิ่น (Olfactory nerve endings) ซึ่งสามารถรับกลิ่นต่าง ๆ ได้อาหารไม่ว่าจะลื่นหรือหนืด นุ่มหรือแข็ง เมื่อสัมผัสกับลิ้นและเพดานปากและผ่านเข้าสู่ลำคอสามารถทำให้เกิดความรู้สึกต่อรสชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอาหารนั้นได้ ความรู้สึกหลังลิ้มรส (Aftertaste) จะยังคงมีอยู่หลังจากกลืนอาหารแล้ว เพราะอาหารบางส่วนที่เหนียวและมันยังคงติดที่ปากและฟันอยู่ (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2536 : 97)

2.4.1 กลิ่น (Odor)

ปลายประสาทรับกลิ่น (Olfactory nerve endings) สามารถรับกลิ่นต่าง ๆ ของสารประกอบจำนวนนับไม่ถ้วน เมื่อสารที่ระเหยได้ในรูปของก๊าซผ่านเข้ามาในช่องจมูกจะกระตุ้นอวัยวะรับกลิ่นในช่องจมูกและส่งรหัสไปยังสมองซึ่งจะแปลเป็นความรู้สึกต่อกลิ่นนั้นออกมาประสาทรับกลิ่นมีความไวมากสามารถรับกลิ่นที่มีความเข้มข้นเพียง 10^{-18} โมลาร์ เนื่องจากความรู้สึกต่อกลิ่นมีความไวมากกว่าความรู้สึกต่อรส จึงทำให้เรารู้สึกได้กลิ่นก่อนได้รส ความไวต่อกลิ่นขึ้นกับแต่ละบุคคล อายุ และความแตกต่างของการทำงานของเยื่อเมือกของจมูก (nasal muous membane) ในเพศหญิงและชาย คนที่เป็นหวัดจะทำให้อวัยวะประสาทสัมผัสทำงานไม่เป็นปกติจึงไม่สามารถรู้สึกต่อกลิ่นได้ดังปกติ ในคนความไวต่อกลิ่นจะลดลงตามอายุ (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2536 : 105 - 106)

2.4.2 รส (Taste)

รส (Taste) คือความรู้สึกเมื่อต่อมรับรสบนลิ้นได้สัมผัสกับสารละลายอาหารที่เข้าไปในปาก การที่จะรู้รสอาหารได้นั้น อาหารนั้นจะต้องอยู่ในรูปสารละลายหรือสามารถละลายได้ในน้ำลาย ภายในปากมีต่อมรับรสอยู่ที่ลิ้น, เพดานปาก (soft palate), คอหอย, ฝาปิดกล่องเสียง(epiglottis) และหนึ่งในสามส่วนแรกของหลอดอาหาร (esophageus)

ต่อมรับรสประกอบด้วยปลายประสาทยื่นออกตามผิวของลิ้นเพื่อรับสัมผัสกับอาหารที่เข้ามาในปาก ประสาทของต่อมรับรสจะตอบสนองได้เมื่อปลายประสาทถูกกระตุ้น และจะส่งรหัสไปตามเส้นประสาทไปสู่สมอง ซึ่งจะแปลรหัสเหล่านี้ออกมาเป็นความรู้สึกต่อรส

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อรส สารจะแสดงรสออกมาเมื่อมันละลายน้ำแม้ว่าความแก่อ่อนของรสจะไม่ขึ้นกับการละลายมากน้อยของสารในน้ำก็ตาม การศึกษาสารที่ให้รสส่วนใหญ่พบว่า คนปกติสามารถบอกระดับความเข้มข้นของรส ซึ่งแตกต่างกันได้มากถึง 20 – 30 ระดับ และสามารถบอกคุณภาพของรสที่แตกต่างกันได้ประมาณ 5×10^3 ชนิด

การข่มกันของรส รสอย่างหนึ่งอาจลดความเข้มของรสอีกอย่างหนึ่งได้ อาหารที่มีรสเปรี้ยวและหวานคละกันจะมีรสดีกว่าอาหารที่มีเฉพาะรสเปรี้ยวหรือรสหวานเท่านั้น (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2536 : 97 - 103)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกลิ่นรสของอาหาร

ความรู้สึกต่อกลิ่นรสของอาหารของผู้บริโภคจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ความเคยชิน ประสบการณ์ นิสัยใจคอและขนบธรรมเนียมประเพณี อุณหภูมิและลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคสามารถสัมผัสได้ด้วยมือ ลิ้น หรือฟัน บริเวณผิวของใบหน้า ลิ้นและฟันมีปลายประสาทรับความรู้สึก เรียกว่า trigeminal nerve ทำให้ผู้บริโภครู้สึกถึงความร้อน เย็น ความแน่น (firmness) ความนุ่ม (softness) ความฉ่ำ (juiciness) เนื้อละเอียดหรือหยาบของอาหาร

การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของอาหารหรือความหนืดของอาหาร อาจเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของอาหารได้ เช่น การเติมสารที่ทำให้ข้น (thickener) ที่เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydocolloid) ทำให้กรดซิตริกมีความเปรี้ยวลดลง

ลักษณะภายนอกของอาหาร เช่น สีและรูปของอาหารมีส่วนสำคัญที่ทำให้ผู้บริโภคยอมรับในอาหารนั้น และอาจหลอกความรู้สึกของผู้บริโภคเกี่ยวกับกลิ่นรสของอาหารในทางใดทางหนึ่ง อาหารโดยทั่วไปมิได้มีกลิ่นเฉพาะกลิ่นรสใดรสหนึ่งเท่านั้น แต่มักมีกลิ่นรสหลายชนิดผสมกันอยู่ ทำให้เกิดกลิ่นรสที่กลมกล่อมถูกปากผู้บริโภค คำว่า " blend flavour " หมายถึงกลิ่นรสผสมหลายชนิดซึ่งเป็นที่ถูกปากของผู้บริโภค (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2536 : 107 - 108)

2.4.4 กลิ่นรสสกัด (Flavoring extracts)

" กลิ่นรสสกัด " มีคำจำกัดความตามที่บัญญัติโดยกองอาหารและยา (The Food and Drug Administration หรือ FDA) แห่งสหรัฐอเมริกาคือ " เป็นสารละลายในเอธิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมของกลิ่นรสที่อนุพันธ์จากพืชที่มีกลิ่นหอม หรือ ส่วนใดส่วนหนึ่งของพืชอาจผสมสีหรือไม่ก็ได้ ให้ระบุพืชที่ใช้เตรียมกลิ่นรสนั้น " ถ้ามีการเติมสี หรือ กลิ่นสังเคราะห์จะต้องระบุชัดเจนในฉลาก กลิ่นรสสกัดเตรียมได้จากการละลายน้ำมันหอมระเหย (Essential oil) ในแอลกอฮอล์ หรือในน้ำผสมแอลกอฮอล์ หรือโดยการบดพืช หรือส่วนของพืชในตัวทำละลายผสมระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำ และแยกเอาส่วนที่ละลายออกไป

องค์ประกอบของกลิ่นรสในกลิ่นรสสกัดมักจะถูกทำให้เจือจางลงโดยแอลกอฮอล์ และในบางกรณีมีกลิ่นที่ไม่แรงเลย เพื่อชดเชยกลิ่นที่อ่อนอาจเติมกลิ่นรสสกัดที่เรียกว่า WONF (with other natural flavor ซึ่งแปลว่าการรวมกับกลิ่นรสธรรมชาติอื่น ๆ) กลิ่นรส WNOF เป็นกลิ่นรสสกัดซึ่งมี 51 % เป็นกลิ่นรสแท้ที่สกัดได้จากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ (natural products) และที่เหลือเป็นกลิ่นรสที่ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลิ่นรสอื่นในธรรมชาติมาผสมเข้าด้วยกัน WNOF ไม่ใช่กลิ่นรสที่เป็นสารเคมีสังเคราะห์จึงไม่เรียกว่ากลิ่นรสเทียมหรือกลิ่นรสสังเคราะห์ (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล. 2536 : 116 - 117)

2.5 น้ำ (Water)

2.5.1 หน้าที่ของน้ำในการเตรียมอาหาร

น้ำเป็นตัวกลางสำคัญสำหรับการถ่ายเทความร้อน จากแหล่งที่ให้ความร้อนไปสู่อาหาร ถ้าใส่อาหารโดยไม่ใส่น้ำในกะทะและตั้งบนเตาไฟโดยตรง กระทะและอาหารในกระทะจะร้อนขึ้นเรื่อย ๆ และอาหารส่วนที่สัมผัสกับกระทะจะไหม้เกรียมเสียก่อนที่มันจะร้อนทั่วทั้งหมด แต่ถ้าใส่น้ำในกระทะด้วย น้ำจะดูดความร้อนและช่วยกระจายความร้อนไปทั่วทุกส่วนของอาหาร น้ำเป็นตัวนำความร้อนที่ดีและมันจะถ่ายเทความร้อนไปสู่อาหารที่สัมผัสกับมัน

น้ำเป็นตัวกระจายองค์ประกอบของอาหาร ในบางกรณีน้ำทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายโดยจะละลายตัวถูกละลาย (Solutes) ซึ่งอาจเป็นโมเลกุลหรือไอออนเกิดเป็นสารละลาย

องค์ประกอบหลายชนิดในอาหารจะถูกแพร่กระจายในน้ำเกิดเป็นคอลลอยด์ โปรตีนส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลใหญ่และมีพื้นที่ผิวมาก อนุภาคไม่ว่าจะเป็นโมเลกุลหรือหมู่ธาตุที่มีขนาด 0.001 ถึง 0.1 ไมโครเมตร ไม่สามารถเกิดสารละลาย แต่จะเกิดเป็นคอลลอยด์แพร่กระจายมาห้อมล้อมผิวของอนุภาคคอลลอยด์ และการเกิดแรงผลักกันระหว่างประจุ ที่เหมือนกันของอนุภาคซึ่งจะทำให้มันแยกห่างจากกัน

องค์ประกอบของอาหารอาจรวมกับโมเลกุลของน้ำโดยพันธะไฮโดรเจน นั่นคือ มันถูกเติมน้ำ (hydrated) และจะไม่แพร่กระจาย (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2536 : 21 - 22)

โมเลกุลของน้ำประกอบด้วยไฮโดรเจน 2 อะตอมต่อกับออกซิเจนหนึ่งอะตอม (H_2O) ที่ต่อกันแบบไม่เป็นเส้นตรง มีลักษณะที่มีขั้วบวกและขั้วลบ ซึ่งสามารถดึงดูดสารอื่นให้เป็นสารละลายได้ดี จึงมีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวเคมีที่เหมาะสมสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิดเป็นตัวทำละลายที่ดี มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูงกว่าของเหลวอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่า ๆ กัน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชีวเคมีที่สำคัญ และเป็นตัวกลางในระบบชีวเคมีของร่างกายที่ดี เพราะสามารถทำปฏิกิริยาได้ทั้งกับกรดและเบส (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2540 : 16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วุ้นน้ำมะพร้าว

วุ้นน้ำมะพร้าวมีชื่อเรียกหลายอย่าง เช่น วุ้นสวรรค์, วุ้นน้ำส้ม, ลูกพร้าว, หรือเห็ดรัสเซียหาก ผลิตจากน้ำมะพร้าว ภาษาฟิลิปปินส์ เรียกว่า " Nata de Coco " แต่หากผลิตจากสับปะรดเรียกว่า " Nata de pina " และถ้าเป็นน้ำทิ้งจากโรงงานเต้าหู้ เรียกว่า " Nata de Soya " โดยคำว่า Nata เป็นคำในภาษาสเปน ที่ถ่ายทอดมาจากคำในภาษาละตินคือ Natare ซึ่งหมายถึง ลักษณะที่ลอยได้ ส่วนใน Encyclopedia Universal Ilustrada ได้ให้ความหมายของ Nata ว่า เป็นวัตถุหนาจากบางส่วนของเหลวโดยจะลอยอยู่เหนือของเหลวนั้น ดังนั้นจึงนำคำว่า Nata มาใช้เรียกแผ่นของกลุ่มวุ้นที่เกาะอยู่บริเวณผิวหน้าของสารละลายที่มีน้ำตาล โดยเฉพาะน้ำตาลทรายหรือน้ำตาลอ้อย (จุฑารัตน์ อนิวรรตพงษ์ และมาลัย พูลธิเวทย์, 2539 : 3) ต่อมา Mendoza (1961) ได้ให้ความหมายของ Nata นี้ในอีกแง่หนึ่ง คือเป็นเนื้อเยื่อของตัวเซลล์ และ สายของโมเลกุลน้ำตาลลักษณะเป็นแผ่นหนามีสีขาวหรือครีม ไม่ละลายน้ำ เป็นแผ่นวุ้นที่เซลล์ *Acetobacter xylinum* สร้างขึ้นที่ผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วยกรด น้ำตาล เอทิลแอลกอฮอล์ และสารอาหารอื่น ๆ

การผลิตวุ้นน้ำมะพร้าว พบว่าน้ำมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นจะต้องเป็นน้ำมะพร้าวแก่ที่สดและใหม่ มีไขมันน้อยในปริมาณร้อยละ 10 - 20 (โดยปริมาตร) ปรับสภาวะให้มีค่าความเป็นกรด 4 - 5 โดยใช้กรดอะซิติก และมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ มีการเติมน้ำตาล และสารประกอบไนโตรเจน โดยน้ำตาลได้แก่ กาแลคโตส เด็กซ์โตส แลคโตส และมอลโทส ใส่ในปริมาณร้อยละ 5 - 8 น้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อเป็นแหล่งของคาร์บอนให้เชื้อใช้ในการเจริญเติบโตส่วนสารประกอบไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต แอมโมเนียมซัลเฟต ใส่ในปริมาณร้อยละ 0.5 - 0.6 น้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อเร่งให้เชื้อผลิตแผ่นวุ้นเซลลูโลสได้หนาในระยะเวลาอันสั้น ถ้าใส่ในปริมาณมากจะทำให้ผลผลิตลดลง

ปริมาณเซลลูโลสในวุ้นน้ำมะพร้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการหมักเพิ่มขึ้น แต่จะเริ่มคงที่เมื่อเวลาในการหมัก 10 วันโดยมีปริมาณเซลลูโลสในแผ่นวุ้นเซลลูโลสเป็นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนัก และความหนาของแผ่นวุ้นเซลลูโลสเป็น 10 มิลลิเมตร

ส่วนประกอบของวุ้นน้ำมะพร้าว จากการศึกษาถึงส่วนประกอบของวุ้นน้ำมะพร้าวจากเชื้อ *A. xylinum* (ตารางที่ 3) พบว่าสารประกอบส่วนใหญ่เป็นพวกคาร์โบไฮเดรต และเมื่อนำมาวิเคราะห์ถึงชนิดของคาร์โบไฮเดรตพบว่าเป็นเซลลูโลส คิดเป็นองค์ประกอบร้อยละ 95 – 97 ของของแข็งทั้งหมด เซลลูโลสในวุ้นน้ำมะพร้าวมีโครงสร้างแบบเดียวกับเซลลูโลสในพืชแต่เส้นใยจะมีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละเอียด (Microfibril) ไม่มีลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเพคตินปะปนทำให้สามารถแยกเซลลูโลสบริสุทธิ์ออกจากวุ้นน้ำมะพร้าวได้ง่าย

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของวุ้นน้ำมะพร้าว

	ผลการวิเคราะห์โดย			
	Araceli	วิทยาศาสตร์บริการ	กองเกษตรเคมี	
น้ำ	67.7	94.4	94.6	เปอร์เซ็นต์
ไขมัน	0.2	0.05	0.06	”
ไฟเบอร์	-	1.10	1.15	”
โปรตีน	nil	0.68	0.84	”
เถ้า	-	0.77	0.10	”
คาร์โบไฮเดรต	-	3.00	3.20	”
แคลเซียม	12	3.45	5.20	มิลลิกรัม / 100 กรัม
เหล็ก	5	0.02	-	”
ฟอสฟอรัส	2	22.0	5.70	”
วิตามินบี 1	Trace	0.01	-	”
วิตามินบี 2	0.01	0.02	-	”
ไนอาซีน	-	0.22	0.22	”

ที่มา : สมคิด ธรรมรัตน์, 2529 : 250

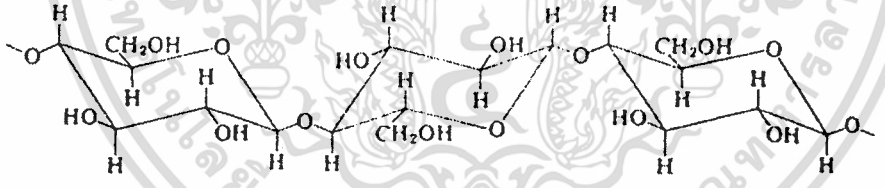
คุณค่าทางโภชนาการของวุ้นน้ำมะพร้าวจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการยืดอายุด้วยวิตามิน และเกลือแร่บางชนิด : (มิลลิกรัม / 100 กรัม) ไนอะซิน 7.522 ไรโบฟลาวิน 0.3682 ไทอะมีน 0.6443 กรดแอสคอร์บิก 27.67 แคลเซียม 62.86 ฟอสฟอรัส 9.14 สารอาหารที่ช่วยยืดอายุนี้จะทำให้สามารถเก็บวุ้นนี้ได้ที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิตู้เย็น (เชิดชัย ตั้งอมรสุขสันต์, นฤมลชูวัฒนะเดช และอินทิรา ปรุงเลิศบัวทอง, 2535 : 16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสได้จากผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เช่น พืชที่ได้จากไม้เนื้ออ่อน (Softwood) หรือไม้ใยยาว เช่น สน 2 ใบ สน 3 ใบ ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) หรือไม้ใยสั้น เช่น ยูคาลิปตัสและพืชที่ไม่ใช่ไม้ (Nonwood) เช่น ฝ้าย ปอ ชานอ้อย เป็นต้น นอกจากนี้ อะมีบา ราเมือก สาหร่ายทะเล และเชื้อ Acetobacter ก็สามารถผลิตเซลลูโลสจำนวนมากได้เช่นกัน แหล่งเซลลูโลสที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ได้จากพืช แต่ปัจจุบันพบว่าได้มีการนำเซลลูโลสจากเชื้อมาใช้ประโยชน์กันมากขึ้นไมโครไฟบริลของเซลลูโลสที่พบจากแหล่งต่าง ๆ มีขนาดที่แตกต่างกันไมโครไฟบริลของเซลลูโลสที่ได้จากพืช หรือจากเชื้อมีขนาดประมาณ 10 นาโนเมตร ส่วนเซลลูโลสที่พบจากสาหร่ายทะเลมีขนาด 25 - 30 นาโนเมตร

เซลลูโลสเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) หรือน้ำตาลหลายชั้น ประกอบด้วยหน่วยโมโนเมอร์ (Monomer Units) คือกลูโคส (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2536 : 183) มีสูตรโมเลกุลเป็น $(C_6H_{10}O_5)$ มีชื่อทางเคมีว่า 1, 4 β - D – Polyanhydroglucopyranose โครงสร้างของเซลลูโลสจะประกอบด้วยกลูโคสตั้งแต่ 15 ถึง 40,000 หน่วย ต่อกันเป็นสายด้วยพันธะ β - (1, 4) glycosidic และมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาซึ่งประมาณ 1,500,000 ดาลตันโดยเฉลี่ย



ภาพที่ 8 ส่วนของโมเลกุลของเซลลูโลส

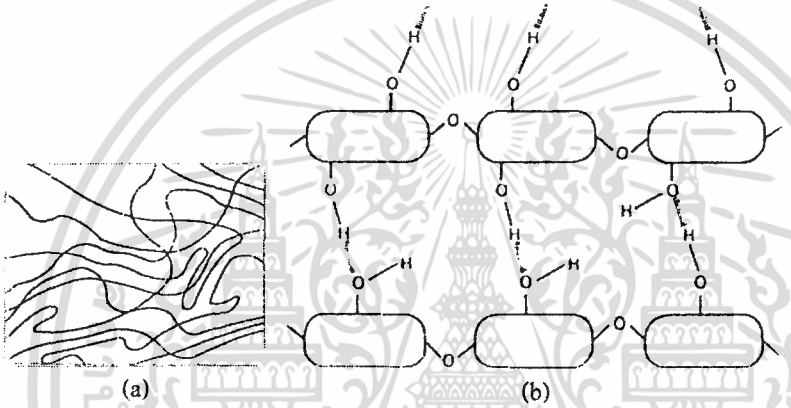
ที่มา : รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2536 : 184

จากการศึกษาโดยเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน พบว่าเส้นใยของเซลลูโลสประกอบด้วยบริเวณที่เป็นผลึกซึ่งเป็นระเบียบ และบริเวณที่ไม่เป็นระเบียบ สำหรับบริเวณที่เป็นผลึกในเส้นใยของเซลลูโลสโมเลกุลจะจัดตัวขนานซึ่งกันและกัน และยึดติดกันอย่างมีระเบียบโดยพันธะไฮโดรเจน (ภาพที่ 9) แต่สำหรับบริเวณที่ไม่เป็นระเบียบมีจำนวนของหมู่ OH อิสระอยู่มากกว่าส่วนที่เป็นระเบียบดังนี้ บริเวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ไม่เป็นระเบียบจึงดูดน้ำได้มากกว่า โดยน้ำจะก่อพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ OH อิสระเหล่านี้ เชื่อกันว่าบริเวณที่เป็นผลึก หรือเป็นระเบียบเป็นบริเวณที่ให้ความแข็งแรง และบริเวณที่ไม่เป็นระเบียบเป็นบริเวณที่ให้ความยืดหยุ่น (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2536 : 184)

พันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลทำให้เซลลูโลสในธรรมชาติสามารถคงรูปอยู่ได้ และทำให้สายโซ่โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวในลักษณะขนาน (parallel) จนกลายเป็นผลึก การจัดเรียงตัวทำให้เกิดโครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลสในระดับ Supermolecular Structure โดยส่วนที่เป็น Crystalline Micelles มีการจัดเรียงโมเลกุลของเซลลูโลสอย่างเป็นระเบียบล้อมรอบอยู่ในตาข่ายของส่วนที่เป็นอสัญฐานซึ่งมีการจัดเรียงโมเลกุลไม่เป็นระเบียบ



ภาพที่ 9 (a) บริเวณที่เป็นผลึกซึ่งเป็นระเบียบในเส้นใยเซลลูโลส
(b) พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสเพื่อให้เกิดบริเวณที่เป็นระเบียบขึ้น

ที่มา : รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2536 : 184

สำหรับการนำเอาเซลลูโลสมาใช้ในอาหารนั้นส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารอนุพันธ์ เช่น Carboxymethyl Cellulose (CMC), Methyl Cellulose (MC), Hydroxy Propyl Methyl Cellulose (HPMC) และ MicroCrytalene Cellulose (MCC) (Pomeranz, 1991 : 569) ประจุลบของหมู่คาร์บอกซิล และลักษณะของหมู่แทนที่ จะมีผลต่อการละลายของโมเลกุลเซลลูโลส การใช้ CMC มีวัตถุประสงค์หลายอย่าง เช่น เป็นสารข้นหนืด และใช้ทำให้สารละลายใส นอกจากนั้นยังมีความสามารถในการล้อมรอบน้ำและเพิ่มความหนืดอย่างรวดเร็ว ความหนืดของ CMC ส่วนหนึ่งเกิดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงผลักระหว่างประจุลบดังนั้นภายใต้สภาวะซึ่งประจุถูกทำให้เป็นกลางในรูปของเกลือ และกรดจะไม่ได้รับการยอมรับเพราะทำให้ความหนืดลดลง อนุพันธ์ของเซลลูโลสบางครั้งใช้เป็นสารข้นหนืด แต่ก็มีความสามารถในการสร้างเจลเมื่อโดนความร้อน จากคุณสมบัตินี้จะถูกนำไปใช้ในเนย และใช้ห่อหุ้มเพื่อลดการดูดซับไขมันขณะทอด CMC ถูกนำมาใช้ในอตุสาหกรรมอาหารมาหลายปี สาเหตุเริ่มต้นที่ทำให้ได้รับความนิยม เนื่องจากนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น (เบ็ญจรัก วายุภาพ, 2543 : 65)

ณรงค์ นิยมวิทย์ (2538 : 56 – 57) กล่าวว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีหลายรูปแบบมีน้ำหนักโมเลกุลและกลุ่มที่เกาะติดแตกต่างกัน เมื่อละลายน้ำจะให้สารละลายแบบ non–Newtonian มีความหนืดลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และอยู่ตัวดีเมื่อมี pH ระหว่าง 5 – 10 โดยจะอยู่ตัวดีที่สุดที่pH 7 – 9 ทำปฏิกิริยากับอนุมูลบวกที่มีประจุเดียวให้เกลือที่ละลายน้ำได้ แต่จะขุ่นเมื่อทำปฏิกิริยากับอนุมูลบวกที่มีประจุเท่ากับสอง และจะเกิดเจลหรือตกตะกอนเมื่อทำปฏิกิริยากับอนุมูลบวกที่มีประจุเท่ากับสาม เมื่ออยู่ในอาหารจะช่วยให้โปรตีนละลายน้ำได้ดีขึ้นซึ่งมีผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น

สำหรับเซลลูโลสที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยเชื้อ *A. xylinum* พบการสร้างเซลลูโลสของเชื้อมี 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนแรกกลูโคสในรูปของโมเลกุลอิสระจะเข้าไปภายในเซลล์ และรวมตัวกันเป็นสารตั้งต้น คือโพลีกลูโคแซน สารนี้ถูกส่งผ่านออกมาภายนอกเซลล์ ขั้นที่สองโพลีเมอร์เหล่านี้รวมตัวกันเป็นเส้นใยเซลลูโลสขนาดเล็ก (Microfibril) ซึ่งมีความแข็งมากขึ้นเซลลูโลสที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นเมือก และเป็นแผ่นฝ้าที่ผิวหน้าของอาหารเหลว

2.6.2 ลักษณะทางเคมีและคุณสมบัติของวุ้นเซลลูโลส

ในปี 1886 Brown ได้อธิบายถึงแบคทีเรียชนิดหนึ่งซึ่งสร้างเยื่อที่มีความแข็งเมื่อเลี้ยงให้เจริญในอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตอยู่มาก เขาพบว่าเยื่อเหนียวสามารถละลายได้ใน Ammoniacal Copper Hydroxide และให้น้ำตาลรีดิวซ์เมื่อถูกย่อยด้วยกรดซัลฟูริก และเนื่องจากเขามาพบว่าในฝ้ายก็สามารถเกิดสารเหล่านี้เช่นกัน เขาจึงเรียกจุลินทรีย์นี้ว่า *Acetobacter xylinum*

เมื่อมองผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนพบว่าเซลลูโลสที่สร้างจาก *A. xylinum* จะสร้างมาจากเส้นใยไฟเบอร์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเหมือนกับเส้นใยเซลลูโลสที่มาจากผนังเซลล์พืชชนิดอื่น ๆ สำหรับ *A. xylinum* สายพันธุ์นี้จะทำการสังเคราะห์อยู่นอกเซลล์ ซึ่งการสังเกตเซลล์เหล่านี้จะกระทำได้โดยการมองผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสังเคราะห์เซลลูโลส แบคทีเรียจะเริ่มจากการปล่อยสารเมือกที่มีโครงสร้างเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นอีกไม่นานก็จะก่อกันขึ้นเป็นเส้นใยเซลลูโลส โดยจะมีการต่อกันเป็นโซ่ยาวต่อไปภายนอกเซลล์ โดยมีการสันนิษฐานว่ามีเอนไซม์เข้ามาช่วยภายในชิ้นวุ้นที่เห็นทั้งหมดจะประกอบด้วยเซลลูโลสทั้งชิ้น เส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากสารเริ่มต้นที่ *A. xylinum* สร้างนั้นจะถูกนำมารวมกันภายนอกเซลล์ โดยจะไม่เกิดการขยายตัว (Extensive) การเจริญของเส้นใยสามารถเจริญได้ที่ปลายด้านใดด้านหนึ่ง หรือทั้งสองปลาย ในอัตรา 0.1 ไมโครเมตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C ทั้งนี้การสร้างจะเกิดอย่างต่อเนื่องในระหว่างการบ่ม (เชิดชัย ตั้งอมรสุขสันต์, นฤมล ชูวัฒนะเดช และอินทิรา ปรุงเลิศบัวทอง, 2535 : 3)

เซลลูโลสจากวุ้นเซลลูโลสมีลักษณะดังนี้ คือ

1) ไม่มีเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพคตินเจือปนทำให้ง่ายต่อการทำให้เซลลูโลสบริสุทธิ์

2) มีความเป็น Hydrophilic สูงเนื่องจากการมีพื้นที่ผิวในโครงสร้างมาก จึงสามารถอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) สูงถึง 60 - 700 เท่าของน้ำหนักแห้ง

3) ทนต่อแรงดึง และสูงกว่าไฟเบอร์สังเคราะห์ต่าง ๆ โดยมีค่า Young 's modulus ประมาณ 30,000 เมกกะปาสคาล ซึ่งสูงกว่า Organic Fiber ถึง 4 เท่า และค่าความต้านแรงดึงซึ่งมีค่าสูงกว่าฟิล์มโพลีเอทธิลีน (Polyethelene) หรือไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride) ถึง 5 เท่า

4) ในการสังเคราะห์เส้นใยเซลลูโลสสามารถเลือก Substrate ซึ่งมีราคาถูก และหาได้ง่ายในท้องถิ่น ทำให้ต้นทุนของการผลิตวุ้นเซลลูโลสมีราคาต่ำ

5) การสร้างเซลลูโลสของวุ้นเซลลูโลสในช่วงไมโครไฟบริลเริ่มเกาะกันเป็นสายจนเป็น Amorphous Cellulose สามารถควบคุมให้มีสมบัติทางกายภาพตามที่ต้องการ โดยจัดการเกี่ยวกับความหนาแน่นของเซลล์ สภาวะในการหมัก ลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ในการหมัก และองค์ประกอบของอาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อ ซึ่งทำให้ควบคุมสมบัติเกี่ยวข้องกับความขาว สว่าง ความแข็งแรง และความยืดหยุ่นของเซลลูโลสจากเชื้อได้

2.6.3 ลักษณะของเชื้อที่ใช้ในการหมักวุ้นน้ำมะพร้าว

เชื้อที่ใช้ในการหมักวุ้นน้ำมะพร้าวมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Acetobacter aceti subspecies xylinum* หรือ *A. xylinum* มีลักษณะเป็นท่อนสั้น ขนาด 2 x 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน มี G – C content ของ DNA 55 – 64 mole % (สมคิด ธรรมรัตน์, 2531 : 251) การจัดเรียงตัวต่อกันเป็นสายสั้น ๆ ไม่เคลื่อนที่ สร้างแคปซูลได้ เมื่อเซลล์ยังอ่อนจะย้อมติดสีแกรมลบ และเมื่อเซลล์มีอายุมากขึ้น พบว่าสามารถย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดสีได้ทั้งแกรมบวก และลบ การเจริญบนอาหารแข็งจะมีโคโลนีที่มีลักษณะเป็นทรงกลมนูน ผิวเรียบ แยกโคโลนีเดี่ยว ๆ ชัดเจน ขุ่นเหนียว มีสีน้ำตาลอ่อน เมื่ออายุมากขึ้นความเหนียวจะเพิ่มขึ้น มีผิวขรุขระ และยึดเซลล์ของเชื้อเข้าด้วยกันทำให้แต่ละโคโลนีจับรวมตัวกัน เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนจะเห็นว่ามีชั้นเมือกห่อหุ้มผนังเซลล์ของเชื้อไว้

เชื้อ *A. xylinum* เป็นเชื้อที่ต้องการอากาศในการเจริญเติบโต สามารถสร้างเอนไซม์ catalase สามารถเจริญในอาหารที่เอทานอลเป็นส่วนประกอบอยู่ร้อยละ 3 ได้ เชื้อจะไม่สร้างสี แต่จะสร้างวุ้นเซลลูโลส เมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบ เชื้อไม่สามารถรีดิวซ์ไนเตรท หรือย่อยเจลาตินได้ นอกจากนั้นไม่สร้างอินโดล และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไม่สามารถย่อยแป้งเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนได้อีกด้วยการสร้างวุ้นเซลลูโลสจะใช้น้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอน เช่น กลูโคส กาแลคโตส มอลโตส แลคโตส และซูโครส เป็นต้น เชื้อสามารถใช้อะซิเตท และแลคเตทเป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อการเจริญได้อีกด้วย โดยจะสามารถออกซิไดซ์กรดทั้งสองเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (สุเมธ ตันตระเธียร และวราวุฒิ ครูส่ง, 2537 : 360 - 364)

เชื้อ Acetobacter ที่สามารถสร้างวุ้นเซลลูโลสนี้เป็นเชื้อที่มีความใกล้เคียงกับ Gluconobacter ซึ่งอยู่ในตระกูล (family) Pseudomonadaceae คือมีความสามารถในการสร้างกรดอะซิติก จากแอลกอฮอล์ได้ Acetobacter เป็นเชื้อที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ยกเว้นบางชนิดก็สามารถเคลื่อนที่ได้โดยใช้ระยาง (flagella) และบางชนิดนอกจากสร้างกรดได้แล้ว ยังสามารถเปลี่ยนกรดกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ได้อีกด้วย เชื้อ *A. xylinum* อยู่ในพวกที่สามารถสร้างกรดได้ และสามารถสร้างวุ้นเซลลูโลสเมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีกลูโคส ในปัจจุบันนิยมใช้ *A. xylinum* เป็นจุลินทรีย์สำหรับผลิตวุ้นเซลลูโลส เพราะสามารถเจริญได้ง่าย สร้างวุ้นได้รวดเร็วกว่าเชื้อตัวอื่น โดยผลิตได้ในปริมาณมาก และใช้วัตถุดิบที่หาได้ง่าย

เชื้อสร้างเซลลูโลสขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่เชื่อมระหว่างเซลล์กับอนุภาค หรือสารประกอบอื่น ๆ ทำหน้าที่ป้องกันเซลล์ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เช่น สภาวะที่แห้ง และอุณหภูมิต่ำ และทำหน้าที่ป้องกันการติดเชื้อจากไวรัส

ในการจัดหมวดหมู่ของเชื้อ *A. xylinum* ค่อนข้างจะเป็นไปด้วยความลำบาก มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ในหนังสือ Bergey ' s Manual of Determinative Bacteriology ซึ่งเป็นหนังสือสำหรับจัดหมวดหมู่เชื้อจุลินทรีย์ก็ได้มีการเปลี่ยนแปลงการจัดลำดับเชื้อตัวนี้อยู่ โดยในเล่มที่มีการจัดพิมพ์ล่าสุด ได้เปลี่ยนการจัดลำดับจากเดิม (Bergey ' s Manual of Determinative Bacteriology พิมพ์ครั้งที่ 8) ที่เคยจัดเชื้อตัวนี้ให้อยู่ใน *species aceti* และ *subspecies xylinum (Acetobacter aceti sub*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

xylinum) ให้มาอยู่ในพวกเดียวกับ *species pasteurinus* และ *species hansenii* (Bergey's Manual of Determinative Bacteriology พิมพ์ครั้งที่ 9) แต่อย่างไรก็ตามเชื้อนี้ก็ยังคงรู้จักกันในชื่อ *Acetobacter aceti subsp. xylinum* หรือ *Acetobacter xylinum*

2.6.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญและการสร้างวุ้นน้ำมะพร้าวจากเชื้อ *A. xylinum*

การจะผลิตวุ้นน้ำมะพร้าวให้ได้ผลผลิตสูง และมีคุณภาพดี คือมีเนื้อวุ้นที่เนียนนุ่มเหนียวพอเหมาะ ไม่เป็นเส้นใยนั้น มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ (สมคิด ธรรมรัตน์, 2531 : 250)

1) เชื้อวุ้นที่ใช้ในการหมัก

เชื้อที่ใช้ในการหมักวุ้นน้ำมะพร้าว เป็นเชื้อแบคทีเรียที่พบในการหมักน้ำส้มสายชูตามธรรมชาติทั่วไป แต่ถ้าหากต้องการจะผลิตวุ้นให้ได้ผล และมีประสิทธิภาพดี ควรใช้เชื้อบริสุทธิ์ที่แยกและคัดเลือกแล้วว่าเหมาะสมสำหรับการผลิตวุ้นน้ำมะพร้าวโดยเฉพาะ เชื้อนี้เมื่อเลี้ยงบนอาหารวุ้นมีโคโลนีกลม นูน ทึบแสง สีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบมันขนาด 1 – 2 mm. จะสามารถสร้างวุ้นได้ดีที่อุณหภูมิ 28 – 32 ^{o}C อุณหภูมิที่ต่ำ หรือสูงกว่าอุณหภูมิห้องมาก ๆ จะทำให้เชื้อไม่สามารถเจริญได้ โดยเฉพาะอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20 ^{o}C หรือสูงกว่า 40 ^{o}C การสร้างวุ้นก็จะไม่เกิดขึ้นในอาหารที่มีความเป็นกรด – ด่าง (pH) ระหว่าง 4 - 5 ปริมาณของเชื้อที่ใช้ในการผลิตวุ้นน้ำมะพร้าว (inoculum) จะต้องใช้ในปริมาณที่มากพอ เพื่อให้สร้างวุ้นในช่วงแรกได้ทันกับเชื้อที่อาจติดมากับน้ำมะพร้าว หรือเชื้อที่ปนเปื้อนลงไปในระหว่างการหมัก เมื่อเชื้อเจริญ และมีปริมาณมากพอถึงระดับหนึ่งจะมีการสร้างวุ้นขึ้น โดยจะสร้างสายเซลลูโลส (Cellulose Microfibril) และเมื่อมีมากขึ้นจะสานและรวมตัวกันเห็นเป็นเส้นขุ่นขาวอยู่ในอาหารเหลวโดยจะค่อยลอยตัวขึ้นที่ผิวหน้าอาหารและเมื่ออยู่ที่ผิวหน้าของอาหารจะเริ่มสานตัวกันแน่นจนเป็นแผ่นวุ้น เพื่อสามารถรับออกซิเจนให้ได้มากที่สุด ความหนาของแผ่นวุ้นจะขึ้นกับความเข้มข้นของหัวเชื้อมากกว่าความหวานของน้ำหมัก โดยพบว่าปริมาณ inoculum ที่เหมาะสมที่สุดควรอยู่ในช่วง 10 – 20 % จะทำให้ได้ผลผลิตวุ้นมากที่สุด ถ้าใช้ปริมาณ inoculum มากขึ้นกลับปรากฏว่าได้ผลผลิตต่ำลง ดังตารางที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ผลผลิตวุ้นน้ำมะพร้าว เมื่อใช้ปริมาณเชื้อ (inoculum) ต่าง ๆ กัน หลังจากหมักไว้ 2 สัปดาห์

ปริมาณเชื้อหมัก	ความหนาเฉลี่ย (cm.)	น้ำหนัก (gm.)
5	1.9	111.0
10	2.2	134.6
15	2.2	137.2
20	2.4	146.5
25	2.1	122.6
30	2.1	125.7
35	1.9	113.7
40	1.8	105.0
45	1.8	90.1
50	1.7	92.6

ที่มา : สมคิด ธรรมรัตน์, 2531 : 259

2) น้ำมะพร้าว

น้ำมะพร้าวที่ใช้ควรเป็นน้ำมะพร้าวแก่เพราะเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และอุตสาหกรรมที่หาได้ง่าย และมีคุณค่าทางอาหารเหมาะสมกับการเจริญของเชื้อวุ้นอยู่แล้ว ไม่ควรใช้น้ำมะพร้าวที่เริ่มงอก น้ำมะพร้าวที่จะนำมาใช้ควรจะเป็นน้ำมะพร้าวที่สดและใหม่ มีไขมันน้อย ไม่มีการปนเปื้อนของน้ำมะพร้าวที่เน่าเสียมาก่อน จากนั้นนำมาต้มให้ไขมันละลาย และฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ปะปนมากับน้ำมะพร้าว การใช้น้ำมะพร้าวที่เจือจางมาผลิตวุ้นจะทำให้ผลผลิตวุ้นน้ำมะพร้าวลดลง (ตารางที่ 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ผลผลิตของวุ้นน้ำมะพร้าว เมื่อใช้น้ำมะพร้าวที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน หลังจากหมักไว้ 2 สัปดาห์

ความเข้มข้นน้ำมะพร้าว (%)	ความหนาเฉลี่ย (cm.)	น้ำหนัก (gm.)
0	-	-
1	0.20	2.2
5	0.50	10.0
10	0.70	16.2
15	1.00	22.0
20	1.20	27.0
25	1.36	30.0
30	1.36	30.3
35	1.53	36.5
40	1.56	38.6
45	1.70	39.3
50	1.80	48.0
75	2.03	54.5
100	2.16	57.0

ที่มา : สมคิด ธรรมรัตน์, 2531 : 259

3) ออกซิเจน (O_2)

เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียที่สร้างวุ้นน้ำมะพร้าวต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต ดังนั้น ในการผลิตวุ้นน้ำมะพร้าว ควรเลือกภาชนะในการหมักที่มีพื้นผิวหน้ากว้าง เพราะเชื้อจะสร้างแผ่นวุ้นเฉพาะส่วนบนของน้ำมะพร้าวเท่านั้น ตามปกติแล้วแบคทีเรีย *A. xylinum* สามารถสร้างเซลลูโลสในสภาพการหมักที่ผิวแบบนิ่ง (Static and Surface Fermentation) โดยระหว่างการหมักต้องระวังไม่ให้มีการกระทบกระเทือน เพราะเมื่อแผ่นวุ้นจม เชื้อจะสร้างแผ่นวุ้น เชื้อจะเจริญใหม่บนผิวหน้าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมะพร้าวเกิดแผ่นวุ้นแผ่นใหม่ ทำให้แผ่นวุ้นบาง วัสดุที่ใช้ในการปิดโหลหมักควรจะระบายอากาศได้ เช่น ผ้าขาวบาง ไม่ควรใช้แผ่นพลาสติก หรือผ้าที่หนาจนเกินไป

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ในระดับที่สูงจะส่งผลกระทบทำให้การสร้างเซลลูโลสของเชื้อแบคทีเรีย *A. xylinum* ลดลง ถ้าน้ำหมักมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้ได้แผ่นวุ้นที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous Texture) ซึ่งเป็นแผ่นวุ้นที่มีคุณภาพดี (High Quality Pellicle) เนื่องจากมีองค์ประกอบที่เป็นของแข็งในปริมาณสูง (High Solid Content) และมีค่า Syneresis ต่ำ

4) กรดน้ำส้ม (Acetic acid)

ถ้าต้องการผลิตวุ้นน้ำมะพร้าวให้ได้ผลผลิตสูงในเวลาอันสั้นควรเติมกรดน้ำส้ม จากการทดลองของกลุ่มงานวิจัยวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร และอุตสาหกรรมกองเกษตรเคมี พบว่าถ้าต้องการเก็บวุ้นเร็วภายใน 10 วัน โดยต้องการความหนาของวุ้นประมาณ 1 – 1.5 cm. ควรเติมกรดน้ำส้ม 1 – 2 % แต่ถ้าต้องการวุ้นหนาประมาณ 1.5 – 2.5 cm. โดยปล่อยให้การหมักนานเกิน 10 วัน จะต้องเติมกรดน้ำส้มในปริมาณ 2 – 2.5 % จึงจะเหมาะสมที่สุด จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของกรดน้ำส้ม 3 % จะให้ผลผลิตวุ้นน้ำมะพร้าวสูงสุด เมื่อหมักวุ้นไว้นาน 2 สัปดาห์

กรดอะซีติก จะเป็นตัวยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ เพื่อให้เชื้อ *A. xylinum* สามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็ว เนื่องจากเชื้อในกลุ่ม Acetobacter สามารถออกซิไดซ์เอทานอลไปเป็นกรดอะซิติกได้ แต่การสร้างวุ้นจะไม่เกิดขึ้นถ้าหากไม่มีกลูโคสในอาหาร และนอกจากนี้ยังไม่สามารถเจริญในอาหารที่มีเอทานอลถ้าหากไม่มีการเติมกรดอะซิติก เกลืออะซิเตท หรือกลูโคสด้วย โดยที่ทั้งเอทานอลและกรดอะซิติกเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานทำให้ได้วุ้นสูงขึ้นในระยะเวลาสั้น นอกจากนี้เอทานอลยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่น ซึ่งอาจปนเปื้อนมากับอาหารและกรรมวิธีในการผลิต ความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 6 โดยปริมาตร สามารถสร้างวุ้นได้มากที่สุด และเติมกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1.5 จะได้วุ้นมากที่สุด

5) ปริมาณน้ำตาล

น้ำตาลเป็นแหล่งของคาร์บอนให้เชื้อเจริญเติบโตและสร้างแผ่นวุ้น ในการหมักวุ้นน้ำมะพร้าวเชื้อสามารถใช้น้ำตาลหลายชนิด เช่น Galactose, Dextrose, Sucrose, Lactose, Maltose ทั้งนี้พบว่า น้ำตาล Dextrose จะให้ความหนาของวุ้นสูงสุด รองลงมาได้แก่ Sucrose ส่วนน้ำตาลชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่น ๆ จะให้วุ้นบางและนิ่ม ดังนั้นน้ำตาลที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตวุ้นน้ำมะพร้าว คือ น้ำตาล Sucrose หรือน้ำตาลทราย โดยใช้ปริมาณ 5 – 8 % (ตารางที่ 6) ถ้าใช้ปริมาณน้ำตาลน้อยกว่า 5 % จะทำให้เนื้อวุ้นน้ำมะพร้าวที่ได้นิ่ม

ตารางที่ 6 ผลผลิตของวุ้นน้ำมะพร้าว เมื่อใช้น้ำตาลความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ภายหลังการหมัก 2 สัปดาห์

ความเข้มข้นน้ำตาล (%)	ความหนาเฉลี่ย (cm.)	น้ำหนัก (gm.)
0	1.75	102.95
1	1.90	111.45
2	2.00	111.75
3	2.10	133.95
4	2.20	164.00
5	2.45	127.50
6	2.45	128.85
7	2.50	135.85
8	2.55	121.75
9	2.10	115.25
10	1.55	81.00

ที่มา : สมคิด ธรรมรัตน์, 2531 : 261

6) สารประกอบไนโตรเจน

การเติมสารประกอบไนโตรเจนในการหมักวุ้นน้ำมะพร้าว จะช่วยเร่งให้การผลิตแผ่นวุ้นได้หนาในเวลาอันสั้น สารที่ใช้ได้ดี คือแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ($NH_4H_2PO_4$) แอมโมเนียมซัลเฟต [$(NH_4)_2SO_4$] โดยใช้ในปริมาณ 0.5 – 0.6 % และถ้าใส่ในปริมาณมากกว่านี้จะทำให้ผลผลิตลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มีไนโตรเจนอยู่เลยจะทำให้แบคทีเรีย *A. xylinum* ไม่สามารถเจริญและ สร้างวุ้นได้ การเติมสารที่เป็นแหล่งไนโตรเจน โดยเฉพาะสารที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียมจะช่วยเร่งการเจริญเติบโต และ การสร้างวุ้นให้เร็วขึ้น

ตารางที่ 7 ผลผลิตของวุ้นน้ำมะพร้าว ที่ใส่สารประกอบไนโตรเจนต่าง ๆ กัน เมื่อหมักไว้ 15 วัน ที่อุณหภูมิ 28 – 31 ^{o}C

ความเข้มข้นไนโตรเจน (%)	ผลิตผลเฉลี่ย (cm^3)				
	KNO_3	$NaNO_3$	$(NH_4)_2SO_4$	$NH_4H_2PO_4$	Bactopeptone
0.00	4.00	4.30	4.20	4.16	4.33
0.10	3.53	3.50	4.00	4.00	3.00
0.20	3.16	3.26	1.20	4.50	3.50
0.30	2.50	3.10	4.90	5.00	3.63
0.40	2.00	2.50	6.50	6.60	4.33
0.50	1.50	2.00	6.00	3.16	5.00
0.60	1.20	1.50	6.60	7.00	4.50
0.70	0.90	0.95	5.50	5.33	3.66
0.80	0.50	0.70	4.16	4.50	3.50

ที่มา : สมคิด ธรรมรัตน์, 2531 : 261

การใช้สารประกอบไนโตรเจนจาก KNO_3 และ $NaNO_3$ ไม่พบการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และ การสร้างวุ้นเลย เนื่องจากสารประกอบไนเตรทเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดนี้ การเติมสารประกอบไนโตรเจนในการหมักช่วยการผลิตวุ้นได้หนาในเวลาสั้น สารประกอบไนโตรเจนที่ให้วุ้นดีที่สุดคือ $[(NH_4)_2SO_4]$ ส่วนไนเตรทในรูปโซเดียมไนเตรท และโปตัสเซียมไนเตรท เชื้อจะไม่สามารถนำมาใช้ได้ เชื้อ *A. xylinum* ที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่ได้จากธรรมชาติ จะต้องเติมสารที่ช่วยในการเจริญเติบโต เช่น ยีสต์สกัด (Yeast Extract) ด้วยเนื่องจากยีสต์สกัด ประกอบด้วยวิตามินและกรดอะมิโนหลายชนิดที่ใช้ในการเจริญเติบโตของเชื้อ *A. xylinum*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 10 แผนผังแสดงการผลิตและการแปรรูปวุ้นน้ำมะพร้าว

ที่มา : สมคิด ธรรมรัตน์, 2531 : 255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตวุ้นด้วยเชื้อ *A. xylinum* นี้อาจใช้วัตถุดิบทางการเกษตรอื่น ๆ ได้อีก เช่น น้ำสับปะรด น้ำอ้อย น้ำตาลปี๊บ และน้ำนมสด เนื้อวุ้นที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกัน อาจจะมีกลิ่นของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตติดมาบ้าง ทั้งนี้ปัจจัยการผลิตย่อมแตกต่างกันออกไปบ้าง เช่น ความเข้มข้นของวัตถุดิบ ปริมาณน้ำตาล สารไนโตรเจน และสายพันธุ์ของเชื้อที่ใช้

การผลิตแบ่งได้ 3 ขั้นตอนคือ

1) การเตรียมเชื้อหมัก (Starter)

ใช้น้ำมะพร้าวสดและใหม่ 300 มิลลิลิตร เติมน้ำตาลทราย 15 กรัม (5 %) นำไปนึ่งฆ่าเชื้อหรือต้มให้เดือด บรรจุในขวดแก้วที่สะอาด ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมเชื้อบริสุทธิ์ *A. xylinum* No. Agr. 60 (เป็นเชื้อที่ผลิตวุ้นที่ได้ปริมาณสูงในเวลาอันสั้น วุ้นที่ได้มีคุณภาพดี มีเนื้อเนียน มีความนุ่ม และหนึบพอเหมาะ) ปิดภาชนะด้วยสำลีหรือผ้าขาวบาง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 – 2 วัน จนเกิดเป็นชั้นของวุ้นบาง ๆ บนผิวหน้า

2) การหมักวุ้น

เตรียมน้ำมะพร้าว 1.5 ลิตร เติมน้ำตาลทราย 75 กรัม นำไปต้มให้เดือด บรรจุในภาชนะทนกรด และปากกว้างเพื่อให้เชื้อได้รับออกซิเจน และสะดวกในการเก็บผลผลิต เช่น โหลแก้ว ถาดสแตนเลส หรืออ่างเคลือบ ทิ้งให้เย็น เติมกรดน้ำส้มเข้มข้น 7.5 มิลลิลิตร เติมเชื้อหมักที่เตรียมไว้ อาจเติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต หรือแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 % เพื่อให้เกิดแผ่นวุ้นหนาและเร็วขึ้น (ไม่จำเป็นต้องเติมเมื่อใช้เชื้อ *A. xylinum* Agr. 60 เนื่องจากให้ผลไม่ต่างกันมากนัก ไม่คุ้มกับการเพิ่มต้นทุนการผลิต) ปิดด้วยผ้าขาวบาง 3 – 4 ชั้น ตั้งทิ้งไว้โดยระมัดระวังไม่ให้กระเทือน เพราะแผ่นวุ้นจะจม หากแผ่นวุ้นจมจะได้แผ่นวุ้นไม่หนา และเชื้อจะสร้างแผ่นวุ้นใหม่ขึ้นที่ผิวหน้าแทนวุ้นแผ่นเดิม เมื่อครบ 10 – 15 วัน จะได้แผ่นวุ้นหนา 1.0 – 2.5 cm. จึงเก็บแผ่นวุ้นขึ้นโดยระวังเรื่องความสะอาดของวัสดุที่ใช้เก็บ เพื่อป้องกันการปะปนของเชื้อราเพราะน้ำที่เหลือเมื่อตั้งทิ้งไว้จะได้แผ่นวุ้นเกิดขึ้นใหม่ และเก็บต่อไปได้อีกจนกว่าน้ำจะแห้ง หรือแบ่งน้ำที่เหลือจากการหมักนี้ไปทำเชื้อหมักในการหมักครั้งต่อไป หรือจะนำไปกรองให้ใส แล้วต้มพอเดือดก็จะได้น้ำส้มสายชูหมักไว้เป็นผลพลอยได้อีกอย่างหนึ่งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การแปรรูป

แผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวที่ผลิตได้สามารถเก็บไว้ได้นานหลายเดือน เมื่อทิ้งไว้ในน้ำมะพร้าวที่หมักและเมื่อเก็บขึ้นแล้วนำมาล้างจะเก็บโดยแช่ในน้ำสะอาดไว้ในตู้เย็นได้ 1 – 2 เดือน แต่ถ้านำมาต้มให้สุกจะเก็บได้ไม่นานเท่าวุ้นที่ยังไม่ได้ต้ม แผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวที่เก็บใหม่ ๆ จะมีรสเปรี้ยวและมีกลิ่นกรดน้ำส้มปะปนอยู่ ก่อนนำมาประกอบอาหารจะต้องล้างให้สะอาด ถ้าต้องการให้มีสีขาวใสจะนำไปแช่ในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 1 – 2 % ประมาณ 6 – 12 ชั่วโมง หรือแช่ค้างคืน แล้วจึงนำมาต้มและแช่น้ำไว้ เปลี่ยนน้ำ 2 – 3 ครั้ง จนหายเปรี้ยวและหมดกลิ่นกรด จึงนำมาประกอบอาหารคาวหวานได้หลายชนิด

2.6.5 การใช้ประโยชน์จากเซลลูโลสที่ได้จากแบคทีเรีย *A. xylinum*

เซลลูโลสที่ได้จากแบคทีเรีย *A. xylinum* ได้มีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาทิเช่น ใช้เป็นสารให้ความคงตัว และเป็นสารให้ความหนืดในอุตสาหกรรมอาหาร กาว ผงซักฟอก สิ่งทอ หรือในอุตสาหกรรมยา ใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพ (Healthy Food) เพิ่มใย และกากอาหารนอกจากนี้ยังพบว่ายังเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษคุณภาพสูง เช่น กระดาษลำโพง กระดาษคาร์บอน เป็นต้น

Collado (1987) พบว่าสามารถนำเซลลูโลสจาก *A. xylinum* เป็นวัตถุดิบหรือส่วนประกอบทางด้านอิเล็คทรอนิก อีกทั้งใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวให้กับอาหาร และยังใช้เป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์ ในขณะที่ Benzon et al. (1990) พบว่าวุ้นเซลลูโลสที่ได้จากเชื้อดังกล่าวมีคุณสมบัติคล้ายยาง แต่ไม่เหนียว สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อาทิเช่น ไอศกรีม ฟลุตคอคเทล และผลิตภัณฑ์ลูกกวาด

Asian Business (1994 : 76) ได้รายงานว่าสามารถนำวุ้นเซลลูโลสมาเป็นสารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์นม น้ำผลไม้ และ ยังสามารถนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง รวมทั้งยังสามารถนำมาใช้กับอุปกรณ์เครื่องดนตรีได้อีกด้วย

นอกจากนี้สามารถนำเซลลูโลสจาก *A. xylinum* มาทำปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อให้ได้อนุพันธ์ของเซลลูโลส (Cellulose Derivatives) เช่น ไฮดรอกซีเมทิลเซลลูโลส (Hydroxymethylcellulose) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose) หรือเซลลูโลสอะซิเตท (Cellulose Acetate) จะทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากเซลลูโลสได้กว้างขวางยิ่งขึ้น (วราวุฒิ ครูส่ง และกรวิกา สุขศรีวงษ์, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 อาหารบำบัดโรค

อาหารบำบัดโรค คืออาหารที่ดัดแปลงจากอาหารธรรมดาให้เหมาะสมกับโรคที่เป็นอยู่โดยจัดให้ถูกหลักโภชนาการ เพื่อว่าผู้ป่วยกินแล้วจะช่วยรักษาโรคให้หายหรือบรรเทาอาการของโรคที่เป็นอยู่ จะให้ได้ผลดังกล่าวผู้ป่วยต้องกินอาหารที่จัดให้ได้ด้วย ฉะนั้นอาหารบำบัดมิใช่อาหารที่จัดอย่างถูกต้องแต่เพียงอย่างเดียวแต่ต้องเป็นอาหารที่ผู้ป่วยกินได้ด้วย จึงจะเกิดประโยชน์อย่างแท้จริง

2.7.1 ความสำคัญของอาหารบำบัดโรค

ความสำคัญของอาหารบำบัดโรคอยู่ตรงที่ว่า อาหารนั้นต้องช่วยให้อาการของโรคบรรเทาหรือหมดไป และผู้ป่วยไม่เกิดอาการทุพโภชนาการระหว่างที่รับการรักษาอยู่ อาหารที่ใช้บำบัดโรคต้องมีลักษณะดังนี้ คือ สามารถ

1) รักษาภาวะโภชนาการของร่างกายผู้ป่วยให้ดำรงเหมือนปกติเท่าที่จะทำได้

2) แก้ภาวะขาดสารอาหารที่อาจเป็นอยู่ก่อนในตัวผู้ป่วย

3) ปรับปรุงน้ำหนักตัวโดยเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามภาวะของร่างกายในขณะนั้น หากน้ำหนักสูงกว่าที่ควรหนักจำเป็นต้องลดลงให้เท่าที่ควรเป็น หากน้ำหนักน้อยกว่าที่ควรเป็นต้องเพิ่มน้ำหนักขึ้นให้เท่าที่ควรเป็น

4) ปรับปริมาณสารอาหารบางอย่างให้อยู่ในระดับที่ร่างกายสามารถใช้ประโยชน์ได้หมด เช่น การปรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตในอาหารเพื่อให้ร่างกายสามารถใช้ประโยชน์ได้โดยไม่มีน้ำตาลคั่งอยู่ในเลือดหรือถูกขับออกทางปัสสาวะ เป็นต้น

5) ช่วยให้ร่างกายหรืออวัยวะส่วนใดส่วนหนึ่งได้พักหรือลดการปฏิบัติงาน เช่น การทำให้อาหารอ่อน เพื่อช่วยมิให้กระเพาะอาหารและลำไส้ต้องทำงานหนักในการย่อยอาหาร

ด้วยเหตุผลที่ผู้จัดอาหารอาจมุ่งที่ลักษณะของอาหารเพื่อให้เป็นไปตามอาการของโรคที่เป็นอยู่ จึงอาจมองข้ามความเพียงพอในด้านโภชนาการของอาหารไปได้ ทำให้อาหารที่จัดอาจมีสารอาหารไม่เพียงพอสำหรับผู้ป่วย สิ่งที่จะช่วยมิให้เกิดปัญหานี้ได้ก็คือ ข้อควรคำนึงถึง 3 ประการในการจัดอาหาร ดังต่อไปนี้

1) ภาวะโภชนาการของผู้ป่วยก่อนเป็นโรคนั้น ๆ

2) ภาวะโภชนาการของผู้ป่วยขณะกำลังไม่สบายหรือนอนป่วยอยู่

3) ระยะเวลาที่ผู้ป่วยไม่สบายด้วยโรคที่เป็นอยู่ (สุโขทัยธรรมาธิราช, มหาวิทยาลัย สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์, 2529 : 5 - 7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงอาจสรุปได้ว่าอาหารบำบัดโรคจะได้ผลตามจุดมุ่งหมายได้ก็ต่อเมื่ออาหารนั้นมีสารอาหารทุกอย่างครบในจำนวนเพียงพอแก่ความต้องการของร่างกายผู้ป่วย ตลอดจนจัดได้ถูกต้องตามโรคที่เป็นอยู่ และเป็นอาหารที่ผู้ป่วยกินได้

เนื่องจากโรคที่ต้องการอาหารบำบัดมีมากมายหลายโรค อาหารบำบัดจึงอาจจำแนกเป็น (สุโขทัยธรรมาธิราช, มหาวิทยาลัย สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์, 2529 : 31 - 32)

1) อาหารที่ต้องเปลี่ยนแปลงลักษณะของอาหาร สำหรับผู้ที่เป็นโรคเกี่ยวกับอวัยวะทางเดินอาหาร

2) อาหารเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลอรีคือ

- ลดปริมาณแคลอรีในอาหารให้ได้น้อยกว่าที่เคยกิน สำหรับผู้ที่ต้องจำกัดปริมาณแคลอรีที่ควรได้รับแต่ละวัน ดังเช่น ผู้ที่ต้องการลดน้ำหนักให้น้อยลง หรือ

- เพิ่มปริมาณแคลอรี สำหรับผู้ที่จำเป็นต้องได้รับแคลอรีในแต่ละวันมากขึ้นหรือสำหรับผู้ที่สูญเสียแคลอรีในกรณีที่เป็นโรคติดเชื้อ

- อาหารจำกัดปริมาณแคลอรี เพื่อให้ร่างกายได้รับแคลอรีในปริมาณที่พอเหมาะกับการใช้ภายในร่างกายโดยไม่ทำให้อาการกำเริบ ดังที่ใช้กับผู้ที่เป็นโรคเบาหวาน อาหารชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องลดแคลอรีลงต่ำ เช่นที่ให้แก่ผู้ที่มีน้ำหนักตัวมากเกินควร แต่จำเป็นต้องจำกัดไว้ในระดับที่สม่ำเสมอสำหรับสภาวะของร่างกายขณะที่เป็นโรคอยู่

3) อาหารลดปริมาณโซเดียม สำหรับผู้ป่วยที่มีอาการบวมในโรคต่าง ๆ ได้แก่ โรคไต โรคหัวใจ โรคความดันสูง และในครรภ์เป็นพิษ การลดโซเดียมจะช่วยลดอาการบวมลงให้หายได้

4) อาหารเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีน มีอยู่หลายประเภท เช่น โรคไต โรคท้องเดินชนิดนอน – ทรอปิคอล สปรู (non – Tropical Sprue) โรคฟีนิลคีโตนนูเรีย (Phenylketonuria)

5) อาหารเปลี่ยนแปลงไขมัน มีอยู่หลายประเภท เช่น โรคหลอดเลือดแข็ง เป็นต้น

2.7.2 โรคเบาหวาน

ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตสถาน พ.ศ. 2525 คำว่า “ เบา ” หมายถึงเยี่ยวหรือปัสสาวะ ส่วนคำว่า “ หวาน ” หมายถึงมีรสเหมือนน้ำตาล ดังนั้นเบาหวานแต่เดิมจึงใช้เรียกภาวะที่ผู้ป่วยรายใดก็ตามซึ่งมีอาการปัสสาวะที่มีรสหวาน

ในทางการแพทย์โรคเบาหวาน (Diabetes Mellitus : DM) เป็นภาวะความผิดปกติทางเมทาบอลิซึมที่มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงเกิดขึ้นจากการขาดและ/หรือการดื้อต่ออินซูลินซึ่งเป็นฮอร์โมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สร้างจากเมตาเซลล์ ตับอ่อนทำหน้าที่เป็นกลไกสำคัญในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของร่างกาย หากเป็นโรคระยะเวลานานจะทำให้เกิดการทำลาย และมีผลเสียต่ออวัยวะต่าง ๆ ที่สำคัญคือ ตา ไต เส้นประสาท หัวใจ และหลอดเลือด

อินซูลินนั้นมีหน้าที่ควบคุมน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติอยู่เสมอ คือระหว่าง70 – 110 mg. ต่อเลือด 100 C.C. ถ้าสูงเกิน 110 ขึ้นไปก็คือสูงผิดปกติ คนที่เป็นเบาหวานอาจจะขึ้นไปถึง 200, 300 ก็ได้ น้ำตาลในเลือดสูงนี้ก็ผ่านไตล้นออกมาทางปัสสาวะ (สโรช รัตนากร, 2540 : 107)

อาการแสดงที่พบ ได้แก่ ปัสสาวะป่วย กระหายน้ำบ่อย คอแห้ง ปากแห้ง กินอาหารจุ แต่น้ำหนักลด อ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย ติดเชื้อที่ผิวหนัง เช่น เชื้อรา ติดเชื้อในช่องคลอด บางรายมาด้วยภาวะแทรกซ้อนเฉียบพลัน เช่น หอบ เหนื่อย ซึม หมดสติ ชัก หรืออาการของภาวะแทรกซ้อนเรื้อรัง เช่น มึน ชา บวม ตามองเห็นผิดปกติ อย่างไรก็ตาม พบว่ามากกว่าครึ่งหนึ่งอาจไม่มีอาการผิดปกติ แต่ตรวจพบโดยบังเอิญ

โรคเบาหวาน สามารถจำแนกประเภทออกเป็น [1/]

1) โรคเบาหวานชนิดที่ 1 (type I DM) ซึ่งเกิดจากการทำลายเบตาเซลล์ของตับอ่อนโดยกลุ่ม Rapid onset มักพบในเด็กและวัยรุ่น ส่วนกลุ่ม Slow onset มักพบในผู้ใหญ่ อย่างไรก็ตามอุบัติการของชนิดที่ 1 พบน้อยมากและยังไม่มีการรักษาที่ได้ผล

2) โรคเบาหวานชนิดที่ 2 (type I I DM) ซึ่งเกิดจากร่างกายมีภาวะดื้อต่ออินซิลินไม่เพียงพอพบได้บ่อยโดยเฉพาะในกลุ่มที่มีอายุตั้งแต่ 45 ปีขึ้นไป และอายุน้อยกว่า 45 ปี ที่มีปัจจัยเรื่องทั้งนี้พบว่าประมาณร้อยละ 50 ไม่ทราบว่าเป็นโรคเบาหวานมาก่อน

[1/] การจำแนกโรคแต่เดิมที่แบ่งตามการรักษาออกเป็นชนิดพึ่งอินซูลิน (Insulin – Dependent Diabetes Mellitus : IDDM) และชนิดไม่พึ่งอินซูลิน (Non Insulin – Dependent Diabetes Mellitus : NIDDM) ปัจจุบันพบว่าไม่มีความสัมพันธ์หรือไม่สามารถแยกกันได้ชัดเจนในแง่ของพยาธิสรีรวิทยาในการเกิดโรค การดำเนินโรค การตอบสนองต่อการรักษารวมถึงการป้องกันโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 เกณฑ์ในการวินิจฉัยโรคเบาหวาน

วิธี	ระดับน้ำตาลในเลือด (พลาสมา)	อาการของโรคเบาหวาน
1	เวลาใดก็ตาม > 200 มก./ดล.	ดื่มน้ำมากปัสสาวะมาก และ
2	ขณะอดอาหาร > 126 มก./ดล.	น้ำหนักตัวลดลงโดยไม่ทราบ
3	2 ชั่วโมงหลังการตรวจ 75 กรัม OGTT > 200 มก./ดล.	สาเหตุ

ที่มา : สุวรรณชัย วัฒนยิ่งเจริญชัย, 2543 : 69

การวินิจฉัยโรคเบาหวานสามารถทำได้ 3 วิธีตามเกณฑ์ของ WHO (1998) ซึ่งจะต้องยืนยันด้วยการตรวจซ้ำก่อนการวินิจฉัย ซึ่งต่างจากเกณฑ์เดิมของ WHO (1985) ที่กำหนดค่าระดับน้ำตาลในเลือด (พลาสมา) ขณะอดอาหารที่ถือว่าผิดปกติเมื่อ > 140 มก./ดล. ดังแสดงในตารางที่ 8

สาเหตุของโรคเบาหวาน (โอวาท นิติทัณฑ์ประภาศ, 2529 : 92 – 93)

ผลงานวิจัยจากสถาบันค้นคว้าต่าง ๆ ทั่วโลก จนถึงปัจจุบันนี้แสดงว่าโรคเบาหวานอาจมีสาเหตุหลายประการด้วยกัน คือ

1) กรรมพันธุ์ อันมีผลให้ตับอ่อน (Pancreas) ผลิตอินซูลินออกมาน้อยไป

2) ไวรัสบางชนิด ซึ่งไปทำลายเบตาเซลล์ (Beta cells) ของตับอ่อน เนื่องจากเบตาเซลล์เป็นตัวสร้างอินซูลิน ตับอ่อนที่ถูกไวรัสทำลายจึงผลิตอินซูลินออกมาน้อย ทำให้เกิดโรคเบาหวาน อย่างไรก็ตาม เรื่องนี้ยังเป็นที่โต้แย้งกันอยู่ในวงการแพทย์ และวิทยาศาสตร์ มีทั้งผู้ที่เห็นด้วยและไม่เห็นด้วย

3) ร่างกายของผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวาน อาจสร้างภูมิต้มกันไปทำลายเบตาเซลล์ของตับอ่อน (Pancreas) ของผู้ป่วยเอง พบกันว่าประมาณ 85 % ของผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวานแบบที่ต้องพึ่งอินซูลิน (Insulin Depentdent) เบตาเซลล์ของตับอ่อนจะถูกทำลายโดย Antibody จากร่างกายของตนเอง

4) ร่างกายของผู้ป่วยอาจมี Antibody หรือสารบางชนิดซึ่งไปทำให้อินซูลินในเลือดเสื่อมคุณภาพ จึงไม่มีอินซูลินช่วยในการเผาผลาญน้ำตาลกลูโคสได้มากเท่าที่ควร

5) เคมีภัณฑ์บางชนิดไปทำลายเบตาเซลล์ หรือ ทำให้เบตาเซลล์ทำงานไม่ถูกต้อง ได้พบว่ายาฆ่าแมลงบางชนิด ยาฆ่ามะเร็งบางชนิด และยาเบื่อหนูที่มีชื่อทางการค้าว่า Piriminil จะมีผลทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดโรคเบาหวานแบบที่ต้องพึ่งอินซูลิน ทั้งนี้เพราะสารเหล่านี้ไปทำให้ประสิทธิภาพของตับอ่อนในการสร้างอินซูลินเสียไป

6) จุดรับอินซูลิน (Insulin Acceptor) เสื่อมสมรรถภาพ ปัจจุบันเชื่อว่าเมื่อตับอ่อนสร้างอินซูลิน และปล่อยเข้าสู่กระแสเลือดแล้ว อินซูลินจะวิ่งไปที่จุดรับอินซูลิน (Target sites) ณ บริเวณต่าง ๆ กัน คือตับ กล้ามเนื้อ และเซลล์ไขมัน (Fat cells) เชื่อกันว่าน้ำตาลกลูโคสจะสามารถซึมผ่านเซลล์เหล่านี้ไปเผาผลาญเป็นพลังงานได้ก็ด้วยความช่วยเหลือของอินซูลิน ซึ่งเมื่อไปเกาะอยู่ ณ จุดรับอินซูลินแล้วจะช่วยให้น้ำตาลกลูโคสสามารถซึมผ่านเซลล์เข้าไปเผาผลาญเป็นพลังงาน แต่ถ้าจุดรับอินซูลินเหล่านี้เสื่อมสมรรถภาพไปอินซูลินก็ไม่สามารถยึดตัวกับจุดรับอินซูลิน ทำให้น้ำตาลกลูโคสไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปเผาผลาญในร่างกายได้ จึงเหลือค้างอยู่มากในเลือดทำให้เกิดโรคเบาหวาน

7) เซลล์ ณ จุดรับอินซูลิน (Targets) มีจำนวนน้อยไป จึงทำให้กลูโคสสามารถซึมผ่านเข้าไปเผาผลาญในร่างกายได้น้อย เกิดกลูโคสเหลือค้างอยู่มากในเลือด

คนอ้วนจะมีจำนวนจุดรับอินซูลิน (Insulin Receptors) ต่ำกว่าปกติ และจุดรับอินซูลินมักมีสมรรถภาพต่ำ คือมีแรงยึดกับอินซูลินน้อยกว่าที่ควร

หญิงและชายที่รับประทานอาหารที่คาร์โบไฮเดรตที่ดูดซึมได้ง่ายในปริมาณสูง และมีกากใยของธัญพืชน้อย มีแนวโน้มที่จะเป็นเบาหวานได้มากกว่าผู้ที่รับประทานอาหารที่มีกากใยสูงอยู่ถึง 2 – 2½ เท่า (ศรีนวล เจียจันทร์พงษ์ และคณะ, 2543 : 69)

2.7.3 โรคเกี่ยวกับภาวะน้ำหนักตัวมากกว่าปกติ

ภาวะน้ำหนักตัวมากกว่าปกติ หมายถึงภาวะที่ร่างกายมีการสะสมไขมันไว้ในปริมาณมากเกินความจำเป็นของร่างกาย เป็นผลให้ร่างกายมีน้ำหนักตัวมากกว่าที่ควรจะเป็น เมื่อเทียบกับมาตรฐาน

การมีน้ำหนักตัวมากกว่าปกตินี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ

1) การมีน้ำหนักตัวมากกว่าน้ำหนักตัวที่ควรเป็นเมื่อเทียบกับมาตรฐานเกินร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 19 ของน้ำหนักตัวมาตรฐาน เราเรียกภาวะนี้ว่า การมีน้ำหนักตัวเกิน (Overweight)

2) การมีน้ำหนักตัวมากกว่าน้ำหนักตัวที่ควรเป็นเมื่อเทียบกับมาตรฐานเป็นร้อยละ 20 ของน้ำหนักมาตรฐานขึ้นไป เราเรียกภาวะนี้ว่า โรคอ้วน (Obesity) โรคอ้วน obesity มาจากภาษาละตินว่า obesus ซึ่งแปลเป็นภาษาอังกฤษว่า eaten away (สุโขทัยธรรมาธิราช, มหาวิทยาลัย สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์, 2529 : 87)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 น้ำหนักร่างกายที่เหมาะสมสำหรับความสูงของผู้หญิงและชายอายุสูงกว่า 25 ปีขึ้นไป

	ความสูง (เซนติเมตร)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	
		โครงร่างขนาดกลาง	โครงร่างขนาดใหญ่
หญิง	150	47.3 - 50.5	50 - 53.6
	152	47.7 - 51.4	50.9 - 54.5
	155	48.6 - 52.3	51.8 - 55.4
	157	50 - 53.6	53.1 - 56.8
	160	51.4 - 55.0	54.5 - 58.1
	162.5	52.7 - 56.8	56.3 - 60.0
	165	54.1 - 58.2	57.7 - 61.3
	168	55.9 - 60.0	59.1 - 63.6
	170	57.3 - 61.8	60.9 - 65.4
	173	58.6 - 63.2	62.3 - 66.8
	175.5	60.5 - 65.0	64.1 - 68.6
	178	61.8 - 66.8	65.9 - 70.4
	180	63.2 - 68.2	67.3 - 71.8
ชาย	157	52.7 - 56.8	56.3 - 60.4
	160	54.1 - 58.2	57.7 - 61.8
	162.5	55.0 - 60.0	59.1 - 63.5
	165	57.3 - 61.8	60.9 - 65.4
	168	58.6 - 63.2	62.3 - 66.8
	170	60.5 - 65.0	64.1 - 68.6
	173	61.8 - 66.8	65.9 - 71.8
	175.5	63.6 - 68.6	67.7 - 72.7
	178	65.5 - 70.5	69.1 - 74.5
	180	67.3 - 72.3	71.4 - 76.3
	182.5	69.1 - 74.5	73.1 - 78.6
	185	71.4 - 76.8	75.4 - 80.9
	187.5	74.1 - 79.5	77.7 - 83.6
	190	76.4 - 81.8	80.0 - 85.9

ที่มา : เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2532 : 145 – 146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความอ้วนยังทำให้อายุสั้น บริษัทประกันชีวิตได้รายงานว่าคนที่มีน้ำหนักตัวเหมาะสม เช่น คนที่มีน้ำหนักมากกว่าปกติร้อยละ 20 จะมีอายุสั้นลงร้อยละ 20 ในผู้ชายและร้อยละ 10 ในผู้หญิง และถ้ายิ่งมีน้ำหนักมากขึ้นอายุก็จะยิ่งสั้นลง

สาเหตุสำคัญที่ทำให้คนอ้วนมีอายุสั้นกว่าคนปกติก็คือ การเป็นโรคต่าง ๆ การแทรกซ้อน ทำให้ผู้ป่วยโรคอ้วนมีอายุสั้นกว่าปกติ จากการศึกษาพบว่าคนที่มีดัชนีความหนาของร่างกายมากกว่า 1.5 – 2 เท่าของคนปกติจะมีอัตราการตายสูงกว่าปกติ (สุโขทัยธรรมาธิราช, มหาวิทยาลัย สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์, 2529 : 96)

ดังที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่า อาหารแคลอรีต่ำมีความจำเป็นสำหรับผู้ป่วยที่ต้องจำกัดแคลอรี เจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภคกลุ่มนี้ ในการผลิตเจลลี่นั้น เจลลี่ที่ดีต้องมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลวพอเหมาะ ใสแสงผ่านได้ เป็นประกาย ลื่น อ่อนนุ่ม ตัดออกได้ง่าย และรอยตัดนั้นยังคงรูปอยู่เหมือนเดิม การทดลองครั้งนี้เลือกคาราจีแนนเป็นสารที่ก่อให้เกิดเจล เนื่องจากแคปป้าคาราจีแนนให้เจลที่แข็งมาก ไอโอต้าคาราจีแนนให้เจลที่มีความหยุ่นสูง ใสและคงทน ส่วนแลมด้าคาราจีแนนถึงแม้จะไม่ก่อให้เกิดเจลแต่ก็ให้ความหนืดสูงมาก คาราจีแนนที่มีจำหน่ายในท้องตลาดเป็นของผสมระหว่างคาราจีแนนทั้ง 3 ชนิด ดังกล่าว มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตแยมและเจลลี่แคลอรีต่ำ สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิ $80^{o}C$ จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องสารที่ก่อให้เกิดเจลจะเห็นได้ว่า คาราจีแนนให้ลักษณะของเจลลี่ที่ดีกว่าสารที่ก่อให้เกิดเจลอื่น ๆ สารให้ความหวานแอสพาร์เทมให้รสหวานที่ติดลิ้นนานเมื่อเทียบกับสารให้ความหวานสังเคราะห์อื่น ๆ ที่ให้รสขมตกค้าง กรดซิตริกหรือกรดส้มช่วยเพิ่มกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ วุ้นน้ำมะพร้าวเป็นไฟเบอร์ธรรมชาติที่นิยมนำมาผลิตเป็นอาหารพลังงานต่ำในปัจจุบัน ทั้งอาหารคาวและหวาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัตถุดิบ

1) วุ้นน้ำมะพร้าว (Nata de Coco)
2) สารที่ทำให้เกิดเจล : คาราจีแนน (Carrageenan)
3) สารให้ความหวาน : เอสพาร์เทม (Aspartame)
4) สีผสมอาหาร : สีแดง (คาร์โมอีซีน)
5) สารแต่งกลิ่นและรส : Citric acid, กลิ่นสละ
6) น้ำ

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) พิมพ์ขนม
2) เทอร์โมมิเตอร์
3) ปีเปต
4) กระบอกตวง
5) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
6) อุปกรณ์เครื่องครัว
7) อุปกรณ์ทดสอบทางประสาทสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.2.1 กระบวนการผลิตเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ

ผลิตเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ ตามขั้นตอนดังนี้

1) ชั่งคาราจีแนน, แอสพาร์เทม และกรดซิตริกตามอัตราส่วนที่ต้องการ
2) ละลายคาราจีแนนด้วยน้ำร้อน อุณหภูมิประมาณ 80 ^{o}C
3) เติมวุ้นน้ำมะพร้าวที่มีลักษณะเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์และกรดซิตริก คนให้เข้ากัน
4) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 – 85 ^{o}C นาน 3 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงเหลือ 60 – 65 ^{o}C
5) เติมสารให้ความหวานแอสพาร์เทม สี และกลิ่นรส คนให้เข้ากัน
6) เทของผสมลงในพิมพ์ขนมที่เตรียมไว้ โดยในแต่ละพิมพ์จัดให้มีชิ้นของวุ้นน้ำมะพร้าวจำนวน 1 ชิ้น
7) ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ของผสมจะจับตัวกันเป็นเจล

หมายเหตุ : เตรียมวุ้นน้ำมะพร้าวโดยนำแผ่นวุ้นมาหั่นเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 1 x 1 x 1 cm^3 จากนั้นต้มวุ้นน้ำมะพร้าวในน้ำเดือดเพื่อกำจัดกลิ่นกรดน้ำส้มโดยหมั่นเปลี่ยนน้ำต้มบ่อย ๆ จากนั้นบรรจุวุ้นน้ำมะพร้าวที่ได้ในขวดโหลปิดสนิท

3.2.2 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) ต่อความเข้มข้นของสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม, น้ำตาลทราย)

เตรียมเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.2.1 โดยแปรความเข้มข้นของคาราจีแนน 3 ระดับ คือร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 ต่อความเข้มข้นของแอสพาร์เทมร้อยละ 1.0 และความเข้มข้นของน้ำตาลทรายร้อยละ 13.0

Treatment	Carrageenan (%)	Sugar (%)	Aspartame (%)
A	0.5	13.0	-
B	1.0	13.0	-
C	1.5	13.0	-
D	0.5	-	1.0
E	1.0	-	1.0
F	1.5	-	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 หาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ

เตรียมเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.2.1 โดยแปรความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) 3 ระดับ คือร้อยละ 1.0, 1.5 และ 2.0 แปรความเข้มข้นของสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม) 3 ระดับ คือร้อยละ 1.5, 2.0 และ 2.5

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Symmetric Factorial Design ขนาด 3 x 3 ทดลอง 2 ซ้ำ

Treatment	Carrageenan (%)	Aspartame (%)
143	1.0	1.5
828	1.0	2.0
454	1.0	2.5
103	1.5	1.5
045	1.5	2.0
385	1.5	2.5
040	2.0	1.5
562	2.0	2.0
032	2.0	2.5

ทุก ๆ ตัวอย่างใช้ Citric acid ร้อยละ 0.15 สีร้อยละ 1.0 และกลิ่นรสร้อยละ 0.7

3.2.4 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัส

1) นำผลิตภัณฑ์เจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Hedonic Rating Scales โดยทดสอบทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม จำนวนผู้ทดสอบชิม 15 คน ทดลอง 2 ซ้ำ
2) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิธี Analysis of Variance ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ 99 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Turkey's test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

3.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2542 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) ต่อความเข้มข้นของสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม, น้ำตาลทราย)

จากการทดลองเตรียมเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.2.2 โดยแปรความเข้มข้นของคาราจีแนน 3 ระดับ คือร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 ต่อความเข้มข้นของแอสพาร์เทมร้อยละ 1.0 หรือความเข้มข้นของน้ำตาลทรายร้อยละ 13.0 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 10

ลักษณะของเจลลี่ที่ได้จากสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) ผสมกับสารให้ความหวาน (น้ำตาลทราย) จะมีลักษณะใส แข็ง และแข็งมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของคาราจีแนนสูงขึ้น เมื่อทดสอบชิมดูจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นลิ่ม ให้ความรู้สึกมีเนื้อ ในขณะที่เจลลี่ที่ได้จากคาราจีแนนผสมกับสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม) มีลักษณะขุ่นและก่อให้เกิดเจลที่ความเข้มข้นของคาราจีแนนร้อยละ 1.0 เมื่อปรียบเทียบกับคาราจีแนนผสมกับน้ำตาลทรายซึ่งก่อให้เกิดเจลที่ความเข้มข้นของคาราจีแนนร้อยละ 0.5 นอกจากนี้ยังให้รสหวานตกค้าง ลักษณะเนื้อสัมผัสในปากจะมีความนิ่มมากกว่าด้วย ฉะนั้น จากการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) ต่อความเข้มข้นของสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม, น้ำตาลทราย) ในผลิตภัณฑ์เจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำนี้ ผู้ทดลองจึงเลือกแปรความเข้มข้นสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) เริ่มต้นที่ร้อยละ 1.0 และแปรปริมาณสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม) เริ่มต้นที่ร้อยละ 1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 ลักษณะเจลลี่จากการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) ต่อความเข้มข้นของสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม, น้ำตาลทราย)

คุณลักษณะ	ตัวอย่าง					
	A [1/]	B	C	D	E	F
ลักษณะปรากฏ	แผ่นเจลแข็ง มีฟองอากาศ	แผ่นเจลแข็งมาก มีฟองอากาศ	แผ่นเจลแข็งมากมาก มีฟองอากาศ	เหลวไม่เป็นแผ่น เจลมีฟองอากาศ	แผ่นเจลเหลว มีฟองอากาศ	แผ่นเจลเหลวมาก มีฟองอากาศ
สี	ขาวอมฟ้า, เนื้อเจลใส	ขาวอมฟ้า, เนื้อเจลใส	ขาวอมฟ้า, เนื้อเจลใส	ขาวขุ่น	ขาว, เนื้อเจลขุ่น	ขาว, เนื้อเจลขุ่น
กลิ่นรส	หวาน กลิ่นเหม็นแป้ง	หวาน กลิ่นเหม็นแป้ง	หวาน กลิ่นเหม็นแป้ง	หวานติดลิ้นนาน กลิ่นเหม็นแป้ง	หวานติดลิ้นนาน กลิ่นเหม็นแป้ง	หวานติดลิ้นนาน กลิ่นเหม็นแป้ง
เนื้อสัมผัสในปาก	เป็นลิ่ม ลื่น เวลาเคี้ยวความรู้สึกมีเนื้อ	เป็นลิ่ม ลื่น เวลาเคี้ยวความรู้สึกมีเนื้อ	เป็นลิ่ม ลื่น เวลาเคี้ยวความรู้สึกมีเนื้อ	เหลว ลื่น	นิ่ม ลื่น เวลาเคี้ยวความรู้สึกมีเนื้อเล็กน้อย	เป็นลิ่ม ลื่น เวลาเคี้ยวความรู้สึกมีเนื้อ

[1/] ตัวอย่าง

A	=	ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ	0.5	ต่อปริมาณน้ำตาลร้อยละ	13.0
B	=	ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ	1.0	ต่อปริมาณน้ำตาลร้อยละ	13.0
C	=	ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ	1.5	ต่อปริมาณน้ำตาลร้อยละ	13.0
D	=	ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ	0.5	ต่อปริมาณเอสพาร์เทมร้อยละ	1.0
E	=	ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ	1.0	ต่อปริมาณเอสพาร์เทมร้อยละ	1.0
F	=	ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ	1.5	ต่อปริมาณเอสพาร์เทมร้อยละ	1.0

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย (2525 : 116) กล่าวว่าจากการทดลองทำเจลลี่โดยเติมน้ำตาลในปริมาณต่าง ๆ กัน จากการไม่ใช้น้ำตาลจะได้เจลลี่ที่มีลักษณะแข็ง สีขุ่นคล้ำ ปริมาตรเล็ก เมื่อใช้น้ำตาลน้อยปริมาณที่ได้จะเพิ่มขึ้น สีอ่อนลง เจลลี่สีใสขึ้น และเนื้อสัมผัสอ่อนลง เมื่อเติมน้ำตาลขึ้นอีกจนกระทั่งพอดีจะให้เจลลี่ลักษณะดีตามต้องการ และถ้าเพิ่มน้ำตาลต่อไปอีกจะได้ปริมาณเจลลี่มากขึ้น ใสขึ้น แต่จะเหนียวข้นขึ้นด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณของเจลลี่ที่ได้นั้นย่อมมากขึ้นตามปริมาณน้ำตาล

ณรงค์ นิยมวิทย์ (2538 : 58) กล่าวว่าคาราจีแนนแบ่งออกเป็น 5 ชนิด แต่ที่มีความสำคัญมีเพียง 3 ชนิด คือ แคปป้าคาราจีแนน ไอโอต้าคาราจีแนน และแลมด้าคาราจีแนน คาราจีแนนทั้ง 3 ชนิดละลายได้ที่อุณหภูมิ 80^{o}C โดยที่แคปป้าคาราจีแนนให้เจลที่แข็งมาก มีน้ำแยกออกมาเล็กน้อย ลักษณะเจลจะกรอบและขุ่น ถ้ามีน้ำตาลอยู่ด้วยเจลจะใส ไอโอต้าคาราจีแนนให้เจลที่มีความหยุ่นสูง เจลมีลักษณะใส ส่วนแลมด้าคาราจีแนนจะไม่เกิดเจล แต่ให้ความหนืดสูงมาก คาราจีแนนที่มีจำหน่ายในท้องตลาดเป็นของผสมระหว่างคาราจีแนนทั้ง 3 ชนิด มีความเหมาะสมสำหรับผลิตแยมและเจลลี่แคลอรีต่ำ

ดังนั้น ในการทำผลิตภัณฑ์เจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำนี้ได้ใช้สารให้ความหวานชนิดสังเคราะห์ (แอสพาร์เทม) แทนสารให้ความหวาน (น้ำตาลทราย) ลักษณะเจลลี่ที่ได้จะขุ่นไม่ใสเหมือนกับเจลลี่ที่ใช้น้ำตาลเป็นสารให้ความหวาน ผู้ทดลองจึงได้ปรับปรุงลักษณะปรากฏของเจลลี่โดยการเติมสีผสมอาหารสังเคราะห์คือสีแดงตลอดการทดลอง สีผสมอาหารที่ใช้มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 60 คาร์โมอีซีนร้อยละ 40 นอกจากนี้เจลลี่ที่ได้จากคาราจีแนนยังให้กลิ่นเหม็นคล้ายแป้งทำให้ไม่ชวนรับประทาน ผู้ทดลองจึงปรับปรุงคุณลักษณะของกลิ่นโดยการเติมสารปรุงแต่งกลิ่นสังเคราะห์คือกลิ่นสละตลอดการทดลอง

4.2 ผลการหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ

จากการทดลองเตรียมเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.2.1 โดยแปรความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) 3 ระดับ คือร้อยละ 1.0, 1.5 และ 2.0 แปรความเข้มข้นของสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม) 3 ระดับ คือร้อยละ 1.5, 2.0 และ 2.5

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Symmetric Factorial Design ขนาด 3 x 3 ทดลอง 2 ซ้ำ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 ลักษณะของเจลจากการหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ

คุณลักษณะ	ตัวอย่าง								
	143 [1/]	828	454	103	045	385	040	562	032
ลักษณะปรากฏ	เจลเนื้อเนียนใสมีชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าวอยู่ตรงกลาง	เจลเนื้อเนียนใสมีชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าวอยู่ตรงกลาง	เจลเนื้อเนียนใสมีชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าวอยู่ตรงกลาง	เจลเนื้อเนียนใสมีชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าวอยู่ตรงกลาง	เจลเนื้อเนียนใสมีชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าวอยู่ตรงกลาง	เจลเนื้อเนียนใสมีชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าวอยู่ตรงกลาง	เจลเนื้อเนียนใสมีชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าวอยู่ตรงกลาง	เจลเนื้อเนียนใสมีชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าวอยู่ตรงกลาง	เจลเนื้อเนียนใสมีชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าวอยู่ตรงกลาง
สี	เจลสีแดงใส,สีขาวของชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าว	เจลสีแดงใส,สีขาวของชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าว	เจลสีแดงใส,สีขาวของชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าว	เจลสีแดงใส,สีขาวของชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าว	เจลสีแดงใส,สีขาวของชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าว	เจลสีแดงใส,สีขาวของชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าว	เจลสีแดงใส,สีขาวของชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าว	เจลสีแดงใส,สีขาวของชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าว	เจลสีแดงใส,สีขาวของชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าว
กลิ่น	กลิ่นสละ	กลิ่นสละ	กลิ่นสละ	กลิ่นสละ	กลิ่นสละ	กลิ่นสละ	กลิ่นสละ	กลิ่นสละ	กลิ่นสละ
รสชาติ	หวานเล็กน้อย	หวานมาก	หวานมากมาก	หวานเล็กน้อย	หวานมาก	หวานมากมาก	หวานเล็กน้อย	หวานมาก	หวานมากมาก
เนื้อสัมผัสในปาก	เจลเนื้อเหลวนิ่มและเนื้อวุ้นน้ำมะพร้าวกรุบกรอบ	เจลเนื้อเหลวนุ่มและเนื้อวุ้นน้ำมะพร้าวกรุบกรอบ	เจลเนื้อแข็งและเนื้อวุ้นน้ำมะพร้าวกรุบกรอบ	เจลเนื้อเหลวนิ่มและเนื้อวุ้นน้ำมะพร้าวกรุบกรอบ	เจลเนื้อเหลวนุ่มและเนื้อวุ้นน้ำมะพร้าวกรุบกรอบ	เจลเนื้อแข็งและเนื้อวุ้นน้ำมะพร้าวกรุบกรอบ	เจลเนื้อเหลวนิ่มและเนื้อวุ้นน้ำมะพร้าวกรุบกรอบ	เจลเนื้อเหลวนุ่มและเนื้อวุ้นน้ำมะพร้าวกรุบกรอบ	เจลเนื้อแข็งและเนื้อวุ้นน้ำมะพร้าวกรุบกรอบ

[1/] ตัวอย่าง

143 = ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 1.0 ต่อปริมาณเอสพาร์เทมร้อยละ 1.5
828 = ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 1.0 ต่อปริมาณเอสพาร์เทมร้อยละ 2.0
454 = ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 1.0 ต่อปริมาณเอสพาร์เทมร้อยละ 2.5
103 = ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 1.5 ต่อปริมาณเอสพาร์เทมร้อยละ 1.5
045 = ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 1.5 ต่อปริมาณเอสพาร์เทมร้อยละ 2.0
385 = ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 1.5 ต่อปริมาณเอสพาร์เทมร้อยละ 2.5
040 = ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 2.0 ต่อปริมาณเอสพาร์เทมร้อยละ 1.5
562 = ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 2.0 ต่อปริมาณเอสพาร์เทมร้อยละ 2.0
032 = ปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 2.0 ต่อปริมาณเอสพาร์เทมร้อยละ 2.5

เจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวที่ได้จะมีลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นคล้ายคลึงกันทุกอย่างคือ เนื้อเจลจะมีสีแดงใส, สีขาวของวุ้นน้ำมะพร้าวอยู่ตรงกลางผลิตภัณฑ์ และมีกลิ่นหอมของสละ ด้านรสชาติตัวอย่างรหัส 143, 103 และ 040 จะมีความหวานต่ำสุด ตัวอย่างรหัส 828, 045 และ 562 จะมีความหวานปานกลาง และตัวอย่างรหัส 454, 385 และ 032 จะมีความหวานมากที่สุด ด้านเนื้อสัมผัสจะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่คล้ายคลึงกันคือ ความกรุบกรอบของชิ้นวุ้นน้ำมะพร้าวในผลิตภัณฑ์และตัวอย่างรหัส 040, 562 และ 032 จะให้ความรู้สึกของเนื้อเจลแข็งมากกว่าตัวอย่างรหัสอื่น ๆ

4.3 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัส

จากการทดลองนำผลิตภัณฑ์เจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Hedonic Rating Scales โดยทดสอบทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม จำนวนผู้ทดสอบชิม 15 คน ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิธี Analysis of Variance ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ 99 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Turkey's test ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์ทางสถิติจากค่าเฉลี่ยคะแนนการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสของเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ

คุณลักษณะ	ตัวอย่าง								
	143	828	454	103	045	385	040	562	032
สี	4.0 ^{ns} 1/	4.0 ^{ns}	3.7 ^{ns}	3.6 ^{ns}	3.7 ^{ns}	3.5 ^{ns}	3.8 ^{ns}	3.9 ^{ns}	3.9 ^{ns}
กลิ่น	3.6 ^{ns}	3.4 ^{ns}	3.7 ^{ns}	3.3 ^{ns}	3.5 ^{ns}	3.1 ^{ns}	3.3 ^{ns}	3.3 ^{ns}	3.6 ^{ns}
รสชาติ	3.1 ^{c}	3.2 ^{c}	3.9 ^{ab}	3.1 ^{c}	3.5 ^{abc}	3.9 ^{ab}	3.3 ^{bc}	3.4 ^{abc}	4.0 ^{a}
เนื้อสัมผัส	3.1 ^{bc}	2.9 ^{c}	3.5 ^{abc}	3.7 ^{ab}	3.7 ^{abc}	4.1 ^{a}	4.1 ^{a}	3.8 ^{a}	4.1 ^{a}
การยอมรับโดยรวม	3.2 ^{bc}	2.9 ^{c}	3.8 ^{ab}	3.0 ^{c}	3.9 ^{a}	4.1 ^{a}	3.8 ^{ab}	3.5 ^{abc}	4.1 ^{a}

1/ ค่าเฉลี่ยใดที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับอยู่แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำปรากฏว่าตัวอย่างรหัส 032 ได้รับคะแนนเฉลี่ยการยอมรับสูงสุดจากผู้บริโภคทั้งในด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพิจาณาความแตกต่างของตัวอย่างที่ระดับ $P \leq 0.05$ โดยวิธี Turkey ' s test จากคะแนนเฉลี่ยด้านรสชาติ เนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวมพบว่า ตัวอย่างรหัส 454, 045, 385, 562, และ 032 ไม่มีความแตกต่างกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าถึงแม้ตัวอย่างรหัส 032 จะได้รับคะแนนเฉลี่ยการยอมรับสูงสุด ซึ่งมีส่วนผสมของสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) ร้อยละ 2.0และสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม) ร้อยละ 2.5 ในทางการค้าหากต้องการผลิตเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำโดยมีต้นทุนการผลิตต่ำก็สามารถเลือกตัวอย่างรหัส 454 แทนได้คือมีส่วนผสมของสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) ร้อยละ 1.0และสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม) ร้อยละ 2.5 เนื่องจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P > 0.05$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การผลิตเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวให้ได้คุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคสามารถสรุปได้ดังนี้

1) การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) ต่อความเข้มข้นของสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม, น้ำตาลทราย) โดยศึกษาที่ความเข้มข้นของคาราจีแนนร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 ต่อความเข้มข้นของแอสพาร์เทมร้อยละ 1.0 และต่อความเข้มข้นของน้ำตาลทรายร้อยละ 13.0 พบว่าคาราจีแนนเกิดเจลที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ต่อความเข้มข้นของแอสพาร์เทมร้อยละ 1.0 และเกิดเจลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ต่อความเข้มข้นของน้ำตาลทรายร้อยละ 13.0

2) การหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ โดยแปรความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดเจล (คาราจีแนน) 3 ระดับ คือร้อยละ 1.0, 1.5 และ 2.0 แปรความเข้มข้นของสารให้ความหวาน (แอสพาร์เทม) 3 ระดับ คือร้อยละ 1.5, 2.0 และ 2.5 พบว่าคาราจีแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 ต่อความเข้มข้นของแอสพาร์เทมร้อยละ 2.5 ก่อให้เกิดเจลลี่ที่มีลักษณะอยู่ตัว เนื้อแน่นกว่าความเข้มข้นของคาราจีแนนต่อความเข้มข้นของแอสพาร์เทมที่ระดับอื่น ๆ และเกิดเจลได้เร็วมากที่สุด

3) การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสของเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรี่ต่ำ พบว่าคาราจีแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 ต่อความเข้มข้นของแอสพาร์เทมร้อยละ 2.5 ได้รับคะแนนเฉลี่ยการยอมรับจากผู้บริโภคสูงสุด เนื่องจากมีความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดเจลและสารให้ความหวานสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้คาราจีแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ต่อความเข้มข้นของแอสพาร์เทมร้อยละ 2.5 สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ เนื่องจากไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การผลิตเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำควรใช้คาราจีแนนที่ความเข้มข้นต่ำสุดที่ก่อให้เกิดเจลได้ เพื่อให้ได้เจลลี่มีลักษณะดี การใช้คาราจีแนนที่ความเข้มข้นสูง ๆ ลักษณะของเจลลี่ที่ได้จะมีความหนืดมากยากต่อการทำ และเกิดฟองอากาศมากด้วยทำให้เนื้อเจลลี่ไม่เนียนเป็นเนื้อเดียวกัน

2) ควรมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำเพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น โดยการเพิ่มความหลากหลายของสีเจลลี่เช่น สีชมพู, สีเหลือง, สีส้ม เป็นต้น และเพิ่มความหลากหลายของกลิ่นรสโดยการเติมกลิ่นรสของผลไม้ชนิดต่าง ๆ เช่น กลิ่นส้ม, กลิ่นสตรอเบอรี่, กลิ่นองุ่น เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น

3) ควรมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำโดยทำจากน้ำผลไม้แท้เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแก่ผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กุลยา จันทร์อรุณ. 2533. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์การศาสนา กรมการศาสนา. 315 น.

กำเนิด สุภัณวงษ์. 2534. จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : โอ. เอส. พริ้นติ้ง. เฮาส์. 309 น.

กระทรวง, อุตสาหกรรม กรมวิทยาศาสตร์. 2518. " วุ้นน้ำส้ม. " รายงานกิจกรรมของกรมวิทยาศาสตร์ . ฉบับที่ 31. น. 77 – 78.

คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2540. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 504 น.

จุฑารัตน์ อนิวรรตพงษ์ และมาลัย พูลธิเวทย์. 2539. การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำทิ้งโรงงานเต้าหู้. กรุงเทพฯ : โครงการงานพิเศษระดับปริญญตรี ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 37 น.

จงกลรัตน์ เอื้อบูรณานนท์ และจินตนา จันทะเวียง. 2539. การศึกษาการผลิตเยลลี่จากน้ำสกัดเยื่อหุ้มเมล็ดโกโก้. กรุงเทพฯ : โครงการงานพิเศษระดับปริญญตรี ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 38 น.

เชิดชัย ตั้งอมรสูขสันต์, นฤมล ชูวัฒนะเดช และอินทิรา ปรุงเลิศบัวทอง. 2535. การผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำมะพร้าว. กรุงเทพ ฯ : ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. 56 น.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของอาหาร. กรุงเทพฯ : ฟอร์แมทพริ้นติ้ง. 237 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดวงพร คันธโชติ. 2530. จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม : ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์. กรุงเทพฯ : โอ. เอส. พริ้นติ้ง. เฮ้าส์. 191 น.

นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณพินิจ. 2541 จุลชีววิทยาทั่วไป. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 735 น.

เบ็ญจรัก วายุภาพ. "กัมที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร" วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วารสารการวิจัยและการพัฒนา. ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน 2543). น. 63 – 67.

บัญญัติ สุขศรีงาม. 2532. จุลชีววิทยา เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์.396 น.

_____. 2534. จุลชีววิทยาทั่วไป. พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์. 507 น.

ปิยรัตน์ จินดาธนสาร. 2541. การศึกษาโยเกิร์ตพร้อมดื่มเพื่อสุขภาพรสแครอท. กรุงเทพฯ : ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. 48 น.

มนตรี ไกรวณิช และธีราวดี ถี่ถ้วน. 2539. ไอศกรีมแคลอรีต่ำ. ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. 112 น.

รัชนี ตัณฑะพานิชกุล. 2536. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 383 น.

วราวุฒิ ครูส่ง และกรวิภา สุขศรีวงษ์. 2539. เทคโนโลยีชีวภาพ (ฉบับปรับปรุงใหม่). กรุงเทพฯ : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันชัย สุทธินุ่น. 2541. "เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องเทคโนโลยีการหมัก" ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. (อัดสำเนา)

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย. 2525. ทฤษฎีอาหาร. เล่ม 2 หลักการถนอมอาหารและการควบคุมคุณภาพอาหาร (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 263 น.

ศิวาพร ศิวเวชช. 2529. วัตถุเจือปนในอาหาร เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 162 น.

_____. 2535. วัตถุเจือปนในผลิตภัณฑ์อาหาร. นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม. 328 น.

ศรีนวล เจียจันทร์พงษ์ และคณะ, 2543. "อาหารสุขภาพ โภชนาการ – อาหารเสริมสำหรับป้องกันและรักษาโรคเบาหวาน." วารสารอาหาร & สุขภาพ. ปีที่ 13 ฉบับที่ 84 (2543) แปลจาก Journal of the American Medical Association. (12 Feb : 1997) and Diabetes Care. (Apr : 1997) : pp. 68 – 70.

สโรช รัตนากร. 2540. อาหารสุขภาพ. กรุงเทพฯ : อลีนเพรส. 255 น.

สุโขทัยธรรมาธิราช, มหาวิทยาลัย สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์. 2529. เอกสารการสอนชุดวิชาอาหารบำบัดโรค หน่วยเรียนที่ 1 – 8. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : นวกนก. 424 น.

สุเมธ ตันตระเธียร และวราวุฒิ ครูส่ง. 2537. วุ้นมะพร้าว. วิทยาศาสตร์. 48 (6) : น. 360-364.

สุวรรณชัย วัฒนยิ่งเจริญชัย. " บทความพิเศษ หมออนามัยกับการดูแลผู้ป่วยโรคเบาหวาน." วารสารหมออนามัย. ปีที่ 9 ฉบับที่ 4 (มกราคม – กุมภาพันธ์ 2543). น. 17 – 32.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาวนีย์ จักรพิทักษ์. 2532. หลักโภชนาการปัจจุบัน. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช. 166 น.

สมคิด ธรรมรัตน์. "บทความวิชาการ การผลิตวุ้นน้ำมะพร้าวและการแปรรูป." วารสารอาหาร. ปีที่ 18 ฉบับที่ 4 (2531). น. 250 – 262.

โอวาท นิติทัณฑ์ประภาศ. 2529. อาหารเพื่อสุขภาพ. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช. 117 น.

เอื้องฟ้า. "เยลลี่ผลไม้หลากรส.....อีกทางเลือกหนึ่งของการแปรรูปผลไม้." วารสารเคหเกษตร. ปีที่ 23 ฉบับที่ 11 (พฤษศจิกายน 2542). น. 192 – 195.

Asian Business. " Philippines gets its just desert." Asian Business. (July : 1994). p. 76.

Pomeranz, Y. 1991. Functional Properties of Food Components. San Diego : Academic Press. 569 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบคุณภาพอาหารโดยวิธีประสาทสัมผัส

ชื่อ.....วันที่.....

จงทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส (Texture) และการยอมรับโดยรวมของ เจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ แต่ละตัวอย่าง โดยให้คะแนนตามความชอบ -ไม่ชอบ ดังนี้

ชอบมาก	เท่ากับ	5	คะแนน
ชอบ	เท่ากับ	4	คะแนน
เฉย ๆ	เท่ากับ	3	คะแนน
ไม่ชอบ	เท่ากับ	2	คะแนน
ไม่ชอบมาก	เท่ากับ	1	คะแนน

คุณลักษณะ / รหัสตัวอย่าง	ระดับคะแนน				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	การยอมรับโดยรวม
143					
828					
454					
103					
045					
385					
040					
562					
032					

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ ก ผลคะแนนจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมของเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ

Judges	Sample									Grand Total
	143[1]	828	454	103	0 45	385	0 45	562	0 32	(G.T.)
1	2	2	3	4	4	4	4	4	5	32
2	4	3	4	3	5	4	4	3	4	34
3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	32
4	4	2	4	2	4	4	4	4	4	32
5	3	2	4	4	4	4	4	3	4	32
6	3	3	4	3	4	4	4	3	5	33
7	3	3	4	2	3	4	3	3	3	28
8	3	3	4	3	3	3	3	3	4	29
9	3	3	4	2	4	5	5	4	5	35
10	3	3	3	3	4	4	3	4	4	31
11	3	3	3	3	3	4	3	4	4	30
12	4	4	4	3	4	4	4	3	4	34
13	3	3	5	3	4	5	4	4	5	36
14	4	3	4	3	4	4	4	3	4	33
15	3	3	4	4	4	4	4	4	3	33
Total	48	43	57	45	58	61	57	53	62	484
Mean	3.2	2.9	3.8	3.0	3.9	4.1	3.8	3.5	4.1	

[1] ตัวอย่าง

143 = ปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลร้อยละ 1.0 ต่อสารที่ให้ความหวานร้อยละ 1.5

828 = ปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลร้อยละ 1.0 ต่อสารที่ให้ความหวานร้อยละ 2.0

454 = ปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลร้อยละ 1.0 ต่อสารที่ให้ความหวานร้อยละ 2.5

103 = ปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลร้อยละ 1.5 ต่อสารที่ให้ความหวานร้อยละ 1.5

045 = ปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลร้อยละ 1.5 ต่อสารที่ให้ความหวานร้อยละ 2.0

385 = ปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลร้อยละ 1.5 ต่อสารที่ให้ความหวานร้อยละ 2.5

040 = ปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลร้อยละ 2.0 ต่อสารที่ให้ความหวานร้อยละ 1.5

562 = ปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลร้อยละ 2.0 ต่อสารที่ให้ความหวานร้อยละ 2.0

032 = ปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลร้อยละ 2.0 ต่อสารที่ให้ความหวานร้อยละ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ ข การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance)

Source of Variation	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F_{cal}	F_{table} 0.05	F_{table} 0.01
Sample	t – 1	$\left(\frac{\sum_i Xi^2}{r}\right) - C.F.$	$\frac{SS\ Sample}{df\ Sample}$			
Judge	r – 1	$\left(\frac{\sum_j Xj^2}{t}\right) - C.F.$	$\frac{SS\ Judge}{df\ Judge}$			
Error	(tr-1) - (t-1) - (r-1)	SS Total - SS Sample - SS Judge	$\frac{SS\ Error}{df\ Error}$			
Total	(tr - 1)	$\sum_{ij} X_{ij^2} - C.F.$				

X_{ij} = เป็นค่าสังเกตที่ j ในตัวอย่างที่ i

$i = 1, 2,\ldots, t \quad j = 1, 2,\ldots, r$

X_i = เป็นผลรวมของตัวอย่างที่ i

t = จำนวนตัวอย่าง

r = จำนวนซ้ำในแต่ละตัวอย่าง

1. การคำนวณหา C.F. (Correction Factor)

$$C.F. = \frac{\left(\sum_{ij} X_{ij}\right)^2}{rt}$$

$$= \frac{(484)^2}{135}$$

$$= \frac{234256}{135}$$

$$= 1735.23$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การคำนวณหา SS (Sum of Square)

2.1 SS Sample (The Sample of Sum Square)

$$\text{SS Sample} = \left(\frac{\sum_i Xi^2}{r}\right) - \text{C.F.}$$

$$= \frac{\left(48^2 + \ldots + 62^2\right)}{15} - 1735.23$$

$$= \frac{26414}{15} - 1735.23$$

$$= 25.70$$

2.2 SS Judge (The Judge of Sum Sguare)

$$\text{SS Judge} = \left(\frac{\sum_j Xj^2}{t}\right) - \text{C.F.}$$

$$= \left(\frac{32^2 + \ldots + 33^2}{9}\right) - 1735.23$$

$$= \frac{15682}{9} - 1735.23$$

$$= 7.21$$

2.3 SS Total (The Total of Sum Square)

$$\text{SS Total} = \sum_{ij} X_{ij^2} - \text{C.F.}$$

$$= (2^2 + 4^2 + \ldots + 4^2 + 3^2) - 1735.23$$

$$= 1800 - 1735.23$$

$$= 64.77$$

2.4 SS Error (Error of Sum Square)

SS Error = SS Total – SS Sample – SS Judge

= 64.77 – 25.70 – 7.21

= 31.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การคำนวณหาค่า df (Degree of Freedom)

3.1 df Sample

df Sample = t - 1

= 9 - 1

= 8

3.2 df Judge

df Judge = r - 1

= 15 - 1

= 14

3.3 df Total

df Total = t r - 1

= 135 - 1

= 134

3.4 df Error

df Error = df Total - df Judge - df Sample

= 134 – 14 - 8

= 112

4. การคำนวณหา MS (Mean Square)

4.1 MS Sample

$$\text{MS Sample} = \frac{\text{SS Sample}}{\text{df Sample}}$$

$$= \frac{25.70}{8}$$

$$= 3.21$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 MS Judge

$$\text{MS Judge} = \frac{\text{SS Judge}}{\text{df Judge}}$$

$$= \frac{7.21}{14}$$

$$= 0.52$$

4.3 MS Error

$$\text{MS Error} = \frac{\text{SS Error}}{\text{df Error}}$$

$$= \frac{31.85}{112}$$

$$= 0.28$$

5. หาค่า F (Variance Ratio)

5.1 หาค่า F ของ Sample

$$\text{F Sample} = \frac{\text{MS Sample}}{\text{MS Error}}$$

$$= \frac{3.21}{0.28}$$

$$= 11.30$$

5.2 หาค่า F ของ Judge

$$\text{F Judge} = \frac{\text{MS Judge}}{\text{MS Error}}$$

$$= \frac{0.52}{0.28}$$

$$= 1.81$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ ค ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมของเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ

Source of Variation	df	SS	MS	F_{cal}	F_{table}	
					0.05	0.01
Sample	8	25.70	3.21**	11.30	2.02	2.66
Judge	14	7.21	0.52^{ns}	1.81	1.83	2.34
Error	112	31.85	0.28			
Total	134	64.77				

6. นำค่า F ที่คำนวณได้ไปพิจารณาหาค่า P โดยเปรียบเทียบ % Point for The Distribution of F ที่ได้จาก Table Statistical Chart 3

   6.1 พิจารณาระดับความแตกต่างของ Sample (% Significant Difference Level of Sample) โดยดูที่ (8, 112) ซึ่ง

   8 เป็น degree of freedom for numerator

   112 เป็น degree of freedom for numerator

$F_{cal, Sample} = 11.30$

$F_{table, 0.05} = 2.02$

$F_{table, 0.01} = 2.66$

$\therefore F_{cal} > F_{table, 0.01} > F_{table, 0.05}$

ค่า F จาก Table เท่ากับ 2.02 ที่ความแตกต่างระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเท่ากับ 2.66 ที่ความแตกต่างระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

ค่า F จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่า F จาก Table ที่ความเชื่อมั่น 99 แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

สรุปได้ว่า ตัวอย่างมีความแตกต่างกันที่ระดับ $P \geq 0.01$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 พิจารณาระดับความแตกต่างของ Judge (% Significant Difference Level of Judge) โดยดูที่ (14, 112) ซึ่ง

14 เป็น degree of freedom for numerator

112 เป็น degree of freedom for numerator

$F_{cal,\ Judge}$ = 1.81

$F_{table,\ 0.05}$ = 1.83

$F_{table,\ 0.01}$ = 2.34

$\therefore\ F_{cal} < F_{table,\ 0.05} < F_{table,\ 0.01}$

ค่า F จาก Table เท่ากับ 1.83 ที่ความแตกต่างระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเท่ากับ 2.34 ที่ความแตกต่างระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

ค่า F จากการคำนวณมีค่าน้อยกว่าค่า F จาก Table ที่ความเชื่อมั่น 95 แสดงว่า Judge ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สรุปได้ว่า Judge ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับ $P < 0.05$

7. พิจารณาความแตกต่างระหว่างตัวอย่างที่ระดับ $P \leq 0.05$ โดยใช้ Turkey ' s Test จากคะแนนเฉลี่ย

7.1 คะแนนเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่าง

ตัวอย่าง	143	828	454	103	045	385	040	562	032
คะแนนเฉลี่ย	3.2	2.9	3.8	3.0	3.9	4.1	3.8	3.5	4.1

7.2 เรียงคะแนนเฉลี่ยตามลำดับมากน้อย

ตัวอย่าง	385	032	045	454	040	562	143	103	828
คะแนนเฉลี่ย	4.1	4.1	3.9	3.8	3.8	3.5	3.2	3.0	2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 หาค่า Standard Error (SE)

$$SE = \sqrt{\frac{MS\ Error}{r}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.28}{15}}$$

$$= \sqrt{0.0187}$$

$$= 0.14$$

7.4 เปิดตารางหาค่า Significant Studentized Range (SSR) จาก Table Statistical Chart 4 ที่จำนวน treatment = 9, df Error = 112 ค่าที่ได้จากการเปิดตาราง = 4.47

7.5 คำนวณค่า LSD (Least Significant Difference) ค่าความแตกต่างระหว่างตัวอย่างต่ำสุด

$$LSD = SE \times SSR$$

$$= 0.14 \times 4.47$$

$$= 0.63$$

7.6 เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยระหว่างตัวอย่างกับค่า LSD ค่าความแตกต่างให้เรียงจากค่าสูงสุด ถ้าค่าความแตกต่างสูงกว่าค่า LSD แสดงว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Significant) และ ถ้าค่าความแตกต่างต่ำกว่าค่า LSD แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (non - Significant)

385 - 828 = 4.10 - 2.90 = 1.20 > 0.63 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

385 - 103 = 4.10 - 3.00 = 1.10 > 0.63 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

385 - 143 = 4.10 - 3.20 = 0.90 > 0.63 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

385 - 562 = 4.10 - 3.50 = 0.60 < 0.63 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

385 - 040 = 4.10 - 3.80 = 0.30 < 0.63 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

385 - 454 = 4.10 - 3.80 = 0.30 < 0.63 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

385 - 045 = 4.10 - 3.90 = 0.20 < 0.63 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

385 - 032 = 4.10 - 4.10 = 0 < 0.63 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032 - 828	= 4.10 - 2.90	= 1.20	> 0.63	มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
032 - 103	= 4.10 - 3.00	= 1.10	> 0.63	มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
032 - 143	= 4.10 - 3.20	= 0.90	> 0.63	มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
032 - 562	= 4.10 - 3.50	= 0.60	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
032 - 040	= 4.10 - 3.80	= 0.30	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
032 - 454	= 4.10 - 3.80	= 0.30	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
032 - 045	= 4.10 - 3.90	= 0.20	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
045 - 828	= 3.90 - 2.90	= 1.00	> 0.63	มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
045 - 103	= 3.90 - 3.00	= 0.90	> 0.63	มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
045 - 143	= 3.90 - 3.20	= 0.70	> 0.63	มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
045 - 562	= 3.90 - 3.50	= 0.40	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
045 - 040	= 3.90 - 3.80	= 0.10	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
045 - 454	= 3.90 - 3.80	= 0.10	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
454 - 828	= 3.80 - 2.90	= 0.90	> 0.63	มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
454 - 103	= 3.80 - 3.00	= 0.80	> 0.63	มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
454 - 143	= 3.80 - 3.20	= 0.60	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
454 - 562	= 3.80 - 3.50	= 0.30	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
454 - 040	= 3.80 - 3.80	= 0	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
040 - 828	= 3.80 - 2.90	= 0.90	> 0.63	มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
040 - 103	= 3.80 - 3.00	= 0.80	> 0.63	มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
040 - 143	= 3.80 - 3.20	= 0.60	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
040 - 562	= 3.80 - 3.50	= 0.30	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
562 - 828	= 3.50 - 2.90	= 0.60	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
562 - 103	= 3.50 - 3.00	= 0.50	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
562 - 143	= 3.50 - 3.20	= 0.30	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
143 - 828	= 3.20 - 2.90	= 0.30	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
143 - 103	= 3.20 - 3.00	= 0.20	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
103 - 828	= 3.00 - 2.90	= 0.10	< 0.63	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7 ผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยแต่ละตัวอย่าง

ตัวอย่าง	143	828	454	103	045	385	040	562	032
คะแนนเฉลี่ย	3.2 ^{bc}	2.9 ^{c}	3.8 ^{ab}	3.0 ^{c}	3.9 ^{a}	4.1 ^{a}	3.8 ^{ab}	3.5 ^{abc}	4.1 ^{a}

ตารางภาคผนวกที่ ง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีของเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ

Source of Variation	df	SS	MS	F_{cal}	F_{table} 0.05	F_{table} 0.01
Sample	8	3.93	0.49 ^{ns}	1.67	2.02	2.66
Judge	14	7.30	0.52 ^{ns}	1.77	1.83	2.34
Error	112	32.96	0.29			
Total	134	44.19				

ตารางภาคผนวกที่ จ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ

Source of Variation	df	SS	MS	F_{cal}	F_{table} 0.05	F_{table} 0.01
Sample	8	4.59	0.57 ^{ns}	1.92	2.02	2.66
Judge	14	6.59	0.47 ^{ns}	1.58	1.83	2.34
Error	112	33.41	0.30			
Total	134	44.59				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ ฉ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติของเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ

Source of Variation	df	SS	MS	F_{cal}	F_{table}	
					0.05	0.01
Sample	8	14.50	1.81**	6.63	2.02	2.66
Judge	14	6.59	0.47^{ns}	1.72	1.83	2.34
Error	112	30.61	0.27			
Total	134	51.70				

ตารางภาคผนวกที่ ช ผลการวิเคราะห์ทางสถิตจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของเจลลี่ผสมวุ้นน้ำมะพร้าวแคลอรีต่ำ

Source of Variation	df	SS	MS	F_{cal}	F_{table}	
					0.05	0.01
Sample	8	22.46	2.81 **	6.00	2.02	2.66
Judge	14	13.44	0.96 *	2.05	1.83	2.34
Error	112	52.43	0.47			
Total	134	88.33				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STATISTICAL CHART 1

Variance ratio — 5 percent points for distribution of F

n_1 — degree of freedom for numerator

n_2 — degree of freedom for numerator

n2 \ n1	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	238.9	243.9	249.0	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.37	19.41	19.45	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.84	8.74	8.64	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.04	5.91	5.77	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.82	4.68	4.53	4.39
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.15	4.00	3.84	3.67
7	5.59	4.47	4.35	4.12	3.97	3.87	3.73	3.57	3.41	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.44	3.28	3.12	2.93
9	5.12	4.42	3.86	3.63	3.48	3.37	3.23	3.07	2.90	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.07	2.91	2.74	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	2.95	2.79	2.61	2.40
12	4.75	3.88	3.49	3.26	3.11	3.00	2.85	2.69	2.50	2.30
13	4.67	3.80	3.41	3.18	3.02	2.92	2.77	2.60	2.42	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.70	2.53	2.35	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.64	2.48	2.29	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.59	2.42	2.24	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.55	2.38	2.19	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.51	2.34	2.15	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.48	2.31	2.11	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.45	2.28	2.00	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.42	2.25	2.05	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.40	2.23	2.03	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.38	2.20	2.00	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.36	2.18	1.98	1.73
25	4.24	3.38	2.99	2.76	2.60	2.49	2.34	2.16	1.96	1.71
26	4.22	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.32	2.15	1.95	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	257	2.46	2.30	2.13	1.93	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.44	2.29	2.12	1.91	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.54	2.43	2.28	2.10	1.90	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.27	2.09	1.89	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.18	2.00	1.79	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.10	1.92	1.70	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.02	1.83	1.61	1.25
∞	3.84	2.99	2.60	2.37	2.21	2.09	1.94	1.75	1.52	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STATISTICAL CHART 1 — Concluded

Variance ratio — 1 percent points for distribution of F

n_1 — degree of freedom for numerator

n_2 — degree of freedom for numerator

n2 \ n1	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
1	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5981	6106	6234	6366
2	98.49	99.0	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.42	99.49	99.50
3	34.12	3.081	29.17	28.21	28.24	27.91	27.49	27.05	26.60	26.12
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.80	14.37	13.93	13.46
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.29	9.89	9.47	9.02
6	13.74	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.10	7.72	7.31	6.88
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.84	6.47	6.07	5.65
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.03	5.67	5.28	4.86
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.47	5.11	4.73	4.31
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.06	4.71	4.33	3.91
11	9.65	7.20	6.22	5.67	5.32	5.07	4.74	4.40	4.02	3.60
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.50	4.16	3.78	3.36
13	9.07	6.70	5.74	5.20	4.86	4.62	4.30	3.90	3.59	3.16
14	8.86	6.51	5.56	5.03	4.69	4.46	4.14	3.80	3.43	3.00
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.00	3.67	3.29	2.87
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	3.89	3.55	3.18	2.75
17	8.40	6.11	5.18	4.46	4.34	4.10	3.79	3.45	3.08	2.65
18	8.28	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.71	3.37	3.00	2.57
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.63	3.30	2.82	2.43
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.56	3.23	2.86	2.42
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.51	3.17	2.80	2.36
22	7.94	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.45	3.12	2.75	2.31
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.41	3.07	2.70	2.26
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.36	3.03	2.66	2.21
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	3.32	2.99	2.62	2.17
26	7.72	5.53	4.46	4.14	3.82	3.59	3.29	2.96	2.58	2.13
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.26	2.93	2.55	2.10
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.23	2.90	2.52	2.06
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.20	2.87	2.49	2.03
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.17	2.84	2.47	2.01
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	2.99	2.66	2.29	1.80
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.82	2.50	2.12	1.60
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.66	2.34	1.95	1.38
∞	6.64	4.60	3.78	3.32	3.02	2.80	2.51	2.18	1.79	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STATISTICAL CHART 2

Significant studentized rang at the 5 % level

Degrees of freedom, f	Number of treatments, a																		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	18.0	26.7	32.8	37.2	40.5	43.1	45.4	47.3	49.1	50.6	51.9	53.2	54.3	55.4	56.3	57.2	58.0	58.8	56.6
2	6.09	8.28	9.80	10.89	11.73	12.43	13.03	13.54	13.99	14.39	14.75	15.08	15.38	15.65	15.91	16.14	16.36	16.57	16.77
3	4.50	5.88	6.83	7.51	8.04	8.47	8.85	9.18	9.46	9.72	9.95	10.16	10.35	10.52	10.69	10.84	10.98	11.12	11.24
4	3.93	5.00	5.76	6.31	6.73	7.06	7.35	7.60	7.83	8.03	8.21	8.37	8.52	8.67	8.80	8.92	9.03	9.14	9.24
5	3.61	4.54	5.18	5.64	5.99	6.28	6.52	6.74	6.93	7.10	7.25	7.39	7.52	7.64	7.75	7.86	7.95	8.04	8.13
6	3.48	3.34	4.90	5.31	5.63	5.89	6.12	6.32	6.49	6.65	6.79	6.92	7.04	7.14	7.24	7.34	7.43	7.51	7.59
7	3.34	4.18	4.68	5.06	5.35	5.59	5.80	5.99	6.15	6.29	6.42	6.54	6.65	6.75	6.84	6.93	7.01	7.08	7.16
8	3.28	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48	6.57	6.65	6.73	6.80	6.87
9	3.20	3.95	4.42	4.76	5.02	5.24	5.43	5.60	5.74	5.87	5.98	6.09	6.19	6.28	6.36	6.44	6.51	6.58	6.65
10	3.15	3.88	4.33	4.66	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60	5.72	5.83	5.93	6.03	6.12	6.20	6.27	6.34	6.41	6.47
11	3.11	3.82	4.26	4.58	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49	5.61	5.71	5.81	5.90	5.98	6.06	6.14	6.20	6.27	6.33
12	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.40	5.51	5.61	5.71	5.80	5.88	5.95	6.02	6.09	6.15	6.21
13	3.06	3.73	4.15	4.46	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79	5.86	5.93	6.00	6.06	6.11
14	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	5.36	5.46	5.56	5.64	5.72	5.79	5.86	5.92	5.98	6.03
15	3.01	3.67	4.08	4.37	4.59	4.78	4.94	5.08	5.20	5.31	5.40	5.49	5.57	5.65	5.72	5.79	5.85	5.91	5.96
16	3.00	3.65	4.05	4.34	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15	5.26	5.35	58.44	5.52	5.59	5.66	5.73	5.79	5.84	5.90
17	2.98	3.62	4.02	4.31	4.52	4.70	4.86	4.99	5.11	5.21	5.31	5.39	5.47	5.55	5.61	5.68	5.74	5.79	5.84
18	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.83	4.96	5.07	5.17	5.27	5.35	5.43	5.50	5.57	5.63	5.69	5.74	5.79
19	2.96	3.59	3.98	4.26	4.47	4.64	4.79	4.92	5.04	5.14	5.23	5.32	5.39	5.46	5.53	5.59	5.65	5.70	5.75
20	2.95	3.58	3.96	4.24	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01	5.11	5.20	5.28	5.36	5.43	5.50	5.56	5.61	5.66	5.71
24	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01	5.10	5.18	5.25	5.32	5.38	5.44	5.50	5.55	5.59
30	2.89	3.48	3.84	4.11	4.30	4.46	4.60	4.72	4.83	4.92	5.00	5.08	5.15	5.21	5.27	5.33	5.38	5.43	5.48
40	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.74	4.82	4.90	4.98	5.05	5.11	5.17	5.22	5.27	5.32	5.36
60	2.83	3.40	3.74	3.98	4.16	4.31	4.44	4.55	4.65	4.73	4.81	4.88	4.94	5.00	5.06	5.11	5.15	5.20	5.24
120	2.80	3.36	3.69	3.92	4.10	4.24	4.36	4.47	4.56	4.64	4.71	4.78	4.84	4.90	4.95	5.00	5.04	5.09	5.13
∞	2.77	3.32	3.63	3.86	4.03	4.17	4.29	4.39	4.47	4.55	4.62	4.68	4.74	4.80	4.84	4.89	4.93	4.97	5.01