การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการใช้ความดันสูงในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร

ธิดารัตน์ ผาระนัด

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการใช้ความดันสูงในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร

ธิดารัตน์ ผาระนัด

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการใช้ความดันสูงในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร"

ของ ธิดารัตน์ ผาระนัด

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพร กงบังเกิด)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีนา น้อยทัพ)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรณพ ทัศนอุดม)

อนุมัติ

.....

(กรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการใช้ความดันสูงในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร

ผู้วิจัย ธิดารัตน์ ผาระนัด

ประธานที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพร กงบังเกิด

ประเภทสารนิพนธ์ วิทยานิพนธ์ วท.ม. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2566

คำสำคัญ การแปรรูปด้วยความดันสูง เยลลี่ กล้วย ใยอาหาร โพลีเดกส์โตรส พาลาทีน

บทคัดย่อ

การนำวัตถุดิบกล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกล้วยตาก มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยใช้กระบวนการฆ่าเชื้อที่ไม่เกิดความร้อน เป็นแนวทางหนึ่งในการคงคุณค่าสารอาหารและเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ รวมถึงการใช้วัตถุดิบตกเกรดให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามแนวคิดบีซีจี งานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้า ผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร และใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทราย พัฒนาสูตรน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างเนื้อกล้วยน้ำว้าสุกต่อปริมาณน้ำ 4 ระดับ ได้แก่ 1:1 1:2 1:3 และ 1:4 แปรปริมาณของพาลาทีนในสูตรน้ำกล้วยเสริมใยอาหาร 2 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 50 และ 100 ของปริมาณน้ำตาลทราย และเติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5.0 ของน้ำหนักน้ำกล้วยน้ำว้าที่ได้ แล้วจึงนำไปศึกษาชนิดและปริมาณของสารก่อเจลที่เหมาะสม ได้แก่ คาร์ราจีแนนในช่วงร้อยละ 0.10–0.50 กลูโคแมนแนนในช่วง ร้อยละ 0.10–0.75 และโลคัสบีนกัมในช่วง ร้อยละ 0.10–0.75 คัดเลือกสูตรที่เหมาะสมโดยการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสร่วมกับคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมี ผลิตไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร ด้วยวิธี Basic spherification จากน้ำเชื่อมกลิ่นผลไม้ 3 ชนิด ได้แก่ เสาวรส น้ำผึ้งมะนาวและลิ้นจี่ เสริมใยอาหารโดยใช้โพลีเด็กส์โตรสในช่วงร้อยละ 1.0–25.0 ของน้ำหนักสารละลายน้ำผลไม้ แล้วจึงนำตัวอย่างที่คัดเลือกได้ ไปศึกษาสภาวะการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงที่เหมาะสม โดยใช้ความดันในช่วง 400–600 เมกะปาสคาล ร่วมกับการใช้น้ำที่อุณหภูมิ 29–45 องศาเซลเซียส เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดัน และใช้ระยะเวลาฆ่าเชื้อในช่วง 5–30 นาที คัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อนำไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ตลอดระยะเวลาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 3 เดือน ผลการศึกษาพบว่า สูตรน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายที่เหมาะสม คือ การใช้อัตราส่วนกล้วยต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 เติมโพลีเด็กส์โตรสปริมาณร้อยละ 5.0 ของน้ำหนัก

น้ำกล้วย และใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 โดยสารก่อเจลผสมที่ใช้ในการผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร ได้แก่ คาราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ การผลิตไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารพบว่า ไฮโดรบีดส์จากน้ำเชื่อมกลิ่นเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรส ปริมาณร้อยละ 5.0 ของน้ำหนักน้ำเสาวรสที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด (น้ำผลไม้ที่เติมโพลีเด็กส์โตรส) ร่วมกับสารละลายแคลเซียมแลคเตทความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร ทำให้ไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารสามารถคงตัวอยู่ในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าได้ และการใช้ความดันสูง 600 เมกะปาสคาล ร่วมกับการใช้น้ำเป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดันที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลาฆ่าเชื้อนาน 10 นาที เป็นสภาวะในการฆ่าเชื้อที่เหมาะสม โดยสามารถลดเชื้อก่อโรคทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ *Escherichia coli* K12 ATCC 47076 และ *Listeria innocua* DMST 9011 ได้เท่ากับ 5.8 และ 6.7 log CFU/g ตามลำดับ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 3 เดือน มีการเปลี่ยนแปลงด้านสีของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและเชื้อยีสต์และรา ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

Title	STUDY CONDITIONS OF HIGH PRESSURE PROCESSING ON KLUAI NAM WA (ABB GROUP) JELLY MIXED WITH HYDRO BEADS
Author	Thidarat Paranut
Advisor	Associate Professor Teeraporn Kongbangkerd
Academic Paper	M.S. Thesis in Food Science and Technology - (Type A 2), Naresuan University, 2023
Keywords	high pressure processing jelly banana dietary fiber polydextrose palatyne

ABSTRACT

The use of degraded ripe bananas (Namwa) from the dried banana production to develop jelly products with high nutritional value without using a sterilization process is the interesting way to add their value which is also related to BCG concept. To apply in commercialization for entrepreneurs, this research was to develop a formula and production process for dietary fiber-fortified jelly from Kluai Nam Wa (ABB group) mixed with hydro beads and the use of palatyne as sugar substitution. The suitable formula for dietary fiber–fortified banana juice was developed by adjustment of the ratio of ripe Namwa banana pulp to the amount of water at 4 levels, 1:1, 1:2, 1:3, and 1:4, respectively. The amount of palatyne in the dietary fiber–fortified banana juice formula was varied between 50 and 100% of sugar content, respectively with an addition of 5% polydextrose on banana juice weight. The types and quantities of mixed gelling agents were further studied at various levels (0.10–0.50% carrageenan, 0.10–0.75% glucomannan, and 0.10–0.75 locust bean gum). The suitable formula was assessed by sensory preferences along with physical and chemical properties. Dietary fiber–fortified hydro beads were prepared by basic spherification method from three types of fruit–flavored syrups (passion fruit, honey–lime, and lychee) supplemented with 1.0–25.0% of dietary fiber on the weight of fruit juice solution. The selected samples were then studied for appropriate high–pressure processing conditions by using pressure between 400–600

MPa, at 29–45°C of pressure medium (water) temperature, the processing time of 5–30 minutes and the changes of product quality during the storage for 3 months at 4°C were investigated. This study found that the ratio of water and banana at 1:3 with a presence of 5% polydextrose on banana juice weight (w/w) and 50% palatyne was the suitable formula of dietary fiber–fortified banana juice with sweetener. 0.20% carrageenan, 0.10% glucomannan and 0.10% locus bean gum were used as mixed gelling agents in the production of fiber–fortified ready–to–drink banana jelly. Production of beads fortified with dietary fiber from passion fruit beads contained 5% polydextrose with 1% sodium alginate (w/v) and 0.5% calcium lactate (w/v) was appropriate condition due to their stability in the banana jelly product. The optimum condition of cold sterilization using high pressure processing (HPP) was treated at 600 MPa, 45°C of pressure medium (water) for 10 min. Both pathogens such as *Escherichia coli* K12 (ATCC 47076) and *Listeria innocua* (DMST 9011) were reduced 5.8 and 6.7 Log respectively. During storage at 4°C for 3 months, there was minor change of color of dietary fiber-fortified Kluai Nam Wa (ABB group) jelly mixed with hydro beads and total viable count and yeast and mold were not found throughout the storage period.

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ “การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารด้วยเทคโนโลยีการใช้ความดันสูง” ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ประจำปีงบประมาณ 2564 สัญญาเลขที่ N23A640027 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร. ธีรพร กงบังเกิด ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรณพ ทัศนอุดม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา น้อยทัพ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา ถ่ายทอดองค์ความรู้ทางด้านวิชาการ และการปฏิบัติ ตลอดจนชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหา อุปสรรค และข้อบกพร่องต่าง ๆ ในระหว่างการดำเนินการวิจัย

ขอกราบขอบคุณคณาจารย์ บุคลากร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรคณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับการให้คำปรึกษา การชี้แนะแนวทางปฏิบัติการด้านต่าง ๆ อย่างครบถ้วน ตลอดจนคณาจารย์ และบุคลากร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้งานสถานที่ เครื่องมือวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ทำให้การดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ นายจักรกฤษ เมืองทะ และ นางสุภาภรณ์ เมืองทะ ผู้เป็นบิดาและมารดาของดิฉัน ที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ดิฉันขอมอบและอุทิศ แด่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน และดิฉันหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จักเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการและ ผู้ที่สนใจไม่มากก็น้อย

ธิดารัตน์ ผาระนัด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

ประกาศคุณูปการ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ณ

บทที่ 1 บทนำ 1

ที่มาและความสำคัญ 1

วัตถุประสงค์การศึกษา 4

ขอบเขตการศึกษา 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

1. กล้วย 6

1.1 กล้วยน้ำว้า 8

1.2 คุณภาพของกล้วยน้ำว้า 9

2. เยลลี่ 11

2.1 ข้อมูลด้านการตลาด และพฤติกรรมการบริโภคขนมหวานจากน้ำตาล 11

2.2 ชนิดของเยลลี่ 16

2.3 วัตถุดิบ และกระบวนการผลิตเยลลี่ 20

2.4 กระบวนการผลิตเยลลี่ 36

2.5 การเสื่อมเสียของเยลลี่ 36
2.6 ประเภทของอาหารตามพระราชบัญญัติอาหารที่เกี่ยวข้องกับเยลลี่ 38
3. การแปรรูปอาหารโดยใช้ความดันสูง.....41
3.1 หลักการของการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง 41
3.2 กระบวนการทำงานของเครื่องความดันสูง 43
3.3 ผลของความดันสูงต่ออาหาร 45
3.4 ผลของความดันสูงต่อจุลินทรีย์ 46
3.5 การประยุกต์ใช้ความดันสูงในการถนอมอาหาร.....48
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 50
5. การตรวจสอบสิทธิบัตร และอนุสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง 59
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....78
1. วัตถุดิบ สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการวิเคราะห์.....78
1.1 วัตถุดิบ 78
1.2 สารเคมี และอาหารเลี้ยงเชื้อ 78
1.3 เครื่องมือ 79
1.4 วิธีการวิเคราะห์.....80
2. วิธีดำเนินการวิจัย.....84
ตอนที่ 1 การพัฒนาสูตรน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร.....84
ตอนที่ 2 การศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อเจลที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้า.....87
ตอนที่ 3 การผลิตไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร โดยวิธี Basic spherification.....90

ตอนที่ 4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อโดยกระบวนการใช้ความดันสูง 94

ตอนที่ 5 การตรวจสอบคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้า ผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร 100

ตอนที่ 6 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารระหว่างการเก็บรักษา 102

บทที่ 4 ผลการวิจัย 103

ตอนที่ 1 การพัฒนาสูตรน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร 103

ตอนที่ 2 การศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อเจลที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าพร้อมดื่ม เสริมใยอาหาร 117

ตอนที่ 3 การผลิตไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร โดยวิธี Basic spherification 141

ตอนที่ 4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อโดยกระบวนการใช้ความดันสูง 156

ตอนที่ 5 การตรวจสอบคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดบีดส์เสริมใยอาหาร 164

ตอนที่ 6 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารระหว่างการเก็บรักษา 166

บทที่ 5 บทสรุป 174

สรุปผลการวิจัย 174

ข้อเสนอแนะ 175

บรรณานุกรม 176

ภาคผนวก 197

ภาคผนวก ก 198

ภาคผนวก ข 204

ภาคผนวก ค 232

ประวัติผู้วิจัย 265

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 สถานการณ์การผลิตกล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอม ปี พ.ศ. 2566 6

ตาราง 2 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยแต่ละสายพันธุ์ ต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม 7

ตาราง 3 รายงานสถานการณ์การปลูกกล้วยน้ำว้า ปี 2562 เรียงตามเนื้อที่ปลูกจากมากไปหาน้อย จำแนกตามรายจังหวัด 8

ตาราง 4 ข้อกำหนดคุณภาพขั้นต่ำของกล้วยแต่ละชั้น 9

ตาราง 5 ผลิตภัณฑ์คู่แข่งทางตรงของผลิตภัณฑ์เยลลี่เหลว 18

ตาราง 6 ผลิตภัณฑ์คู่แข่งทางอ้อมของผลิตภัณฑ์เยลลี่เหลว 19

ตาราง 7 ค่าวอเตอร์แอคติวีตีต่ำสุดที่จุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ สามารถเจริญเติบโตได้ 22

ตาราง 8 คุณสมบัติของคาร์ราจีแนนแต่ละชนิด 28

ตาราง 9 ปัญหาในการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เยลลี่ 37

ตาราง 10 ข้อกำหนดคุณภาพของเยลลี่ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข 40

ตาราง 11 คุณลักษณะของโปรตีนเจลที่เกิดจากการให้ความดันหรือความร้อน 45

ตาราง 12 การตอบสนองของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และสปอร์ของจุลินทรีย์ หลังการใช้ความดันสูง 46

ตาราง 13 การถนอมอาหารที่ได้จากกระบวนการความดันสูง (HPP) 49

ตาราง 15 ส่วนผสมน้ำกล้วยแต่ละสูตรที่แปรอัตราส่วนระหว่างเนื้อกล้วยน้ำว้าสุกต่อปริมาณน้ำ 84

ตาราง 16 ขั้นตอนการผลิตน้ำกล้วยน้ำว้า 85

ตาราง 17 ส่วนผสมน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่แปรปริมาณพาลาทีนแตกต่างกัน 86

ตาราง 18 การกำหนดชนิดและปริมาณสารก่อเจลในการผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร ที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาล 87

ตาราง 19 ขั้นตอนการผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลร้อยละ 50.....89

ตาราง 20 ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร จากน้ำผลไม้ชนิดต่าง ๆ....91

ตาราง 21 ขั้นตอนการผลิตไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร 92

ตาราง 22 ขั้นตอนการเตรียมและการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ 96

ตาราง 23 สภาวะของกระบวนการใช้ความดันสูงในการฆ่าเชื้อเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ เสริมใยอาหาร.....98

ตาราง 24 ขั้นตอนการสร้างการปนเปื้อนเทียมและการศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการ ใช้ความดันสูงในเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ดเสริมใยอาหาร99

ตาราง 25 คุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารเปรียบเทียบกับข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขที่เกี่ยวข้อง 101

ตาราง 26 คุณลักษณะเบื้องต้นของกล้วยน้ำว้าสุกระยะ 7–8 ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต (N=50) 103

ตาราง 27 คุณลักษณะของน้ำกล้วยน้ำว้า ที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อปริมาณน้ำแตกต่างกัน 106

ตาราง 28 ส่วนผสมน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร 107

ตาราง 29 คุณลักษณะของน้ำกล้วยน้ำว้าก่อนและหลังเติมโพลีเดกส์โตรส 108

ตาราง 30 ร้อยละคะแนนลำดับความชอบ (Ranking score) ด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ของน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารจากผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 30 คน..... 111

ตาราง 31 ค่าเฉลี่ยอันดับความชอบ (Ranking score) ด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารจากผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 30 คน..... 112

ตาราง 32 ส่วนผสมน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่แปรปริมาณพาลาทีนแตกต่างกัน 113

ตาราง 33 คุณลักษณะของน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่แปรปริมาณพาลาทีนแตกต่างกัน 115

ตาราง 34 ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร ที่แปรปริมาณพาลาทีนแตกต่างกัน..... 116

ตาราง 35 การศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของชนิดและปริมาณสารก่อเจลในการผลิตเยลลี่กล้วยพร้อมดื่ม เสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 (สูตรปรับปรุง)..... 121

ตาราง 36 ลักษณะทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีน ร้อยละ 50 ที่แปรปริมาณสารก่อเจลแตกต่างกัน เปรียบเทียบกับเยลลี่คาร์ราจีแนน พร้อมดื่มที่มีจำหน่ายทางการค้า..... 123

ตาราง 37 ปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะเจลของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร..... 124

ตาราง 38 โครงสร้างระดับจุลภาคของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50 300 และ 500 เท่า..... 131

ตาราง 39 ลักษณะของรูพรุนที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างระดับจุลภาคของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่ม เสริมใยอาหาร จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... 132

ตาราง 40 ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร ที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50..... 140

ตาราง 41 ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตไฮโดรบีดส์ใยอาหาร จากน้ำผลไม้ชนิดต่าง ๆ..... 145

ตาราง 42 ขนาดของไฮโดรบีดส์เสาวรสที่ไม่เสริมและเสริมใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรส (N=30 เม็ด)..... 147

ตาราง 43 ค่าสี L* a* b* C* และ *h* ของไฮโดรบีดส์เสาวรสเสริมใยอาหาร หลังเติมลงในเยลลี่..... 149

ตาราง 44 สมบัติทางกายภาพและเคมีของไฮโดรบีดส์เสาวรสที่ไม่เสริมและเสริมใยอาหาร 151

ตาราง 45 ผลประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร 155

ตาราง 46 ความสามารถในการลดเชื้อ *Escherichia coli* K12 ATCC 47076 ในเยลลี่กล้วยน้ำว้า ผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหารด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความดันที่สภาวะต่าง ๆ 157

ตาราง 47 ความสามารถในการลดเชื้อ *Listeria innocua* DMST 9011 ในเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความดันที่สภาวะต่าง ๆ 157

ตาราง 48 สภาวะการใช้ความดัน 600 MPa ในการฆ่าเชื้อเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร 158

ตาราง 49 ความสามารถในการลดเชื้อ *Escherichia coli* K12 ATCC 47076 ในเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสม ไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความดันสูง 600 MPa ที่สภาวะต่าง ๆ 160

ตาราง 50 ความสามารถในการลดเชื้อ *Listeria innocua* DMST 9011 ในเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสม ไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความดันสูง 600 MPa ที่สภาวะต่าง ๆ 160

ตาราง 51 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหารด้วยกระบวนการ ใช้ความดันสูง 163

ตาราง 52 คุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร 165

ตาราง 53 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร 167

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 ลักษณะผลของกล้วย จำแนกตามสายพันธุ์ 6
ภาพ 2 มูลค่าตลาดขนมหวานจากน้ำตาลปี 2560–2565F 12
ภาพ 3 โครงสร้างของน้ำตาลซูโครส 21
ภาพ 4 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของซูโครสเป็นไอโซมอลทูโลสด้วยเอนไซม์ 23
ภาพ 5 หน่วยการทำซ้ำของคาร์ราจีแนน (Repeating units of carrageenan) 25
ภาพ 6 กลไกการเกิดเจลของคาร์ราจีแนน 27
ภาพ 7 โครงสร้างของกลูโคแมนแนน 29
ภาพ 8 โครงสร้างของโลคัสบีนกัม 31
ภาพ 9 โครงสร้างของโพลีเด็กส์โตรส 35
ภาพ 10 วิธีการผลิตเยลลี่พร้อมดื่ม 36
ภาพ 11 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ในการสร้างระบบความดันสูง 42
ภาพ 12 กระบวนการทำงานของการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง 43
ภาพ 13 กระบวนการที่เกิดกับอาหารและองค์ประกอบอาหารในน้ำเมื่อให้ความร้อนและความดันสูง 44
ภาพ 14 ลักษณะของกล้วยน้ำว้าสุกระยะ 7–8 ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต 104
ภาพ 15 ลักษณะปรากฏของน้ำกล้วยน้ำว้า 105
ภาพ 16 ลักษณะปรากฏของน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร 107
ภาพ 17 น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่แปรปริมาณพาลาทีนแตกต่างกัน 114
ภาพ 18 ลักษณะปรากฏของเยลลี่กล้วยน้ำว้าพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร ที่แปรปริมาณสารก่อเจลแตกต่างกัน 117

ภาพ 19 ลักษณะปรากฏของเยลลี่คาร์ราจีแนนพร้อมดื่ม: ก) ผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายทางการค้า และ ข) เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 ที่แปรปริมาณสารก่อเจลต่างกัน 122

ภาพ 20 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์ราจีแนนและกลูโคแมนแนนที่มีผลต่อลักษะเจลของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 125

ภาพ 21 ผลของความถี่ต่อค่า Storage modulus (G') และค่า Loss modulus (G") ของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 127

ภาพ 22 ผลของความถี่ต่อค่า Loss tangent (tanδ) ของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 128

ภาพ 23 ลักษณะโครงสร้างสามมิติของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 จากกล้องคอนโฟคอลชนิดที่ใช้เลเซอร์ในการสแกน (CLSM)..... 136

ภาพ 24 ตัวอย่างเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 ในการทดสอบชิม 139

ภาพ 25 ลักษณะปรากฏของไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรสที่ความเข้มข้นต่าง ๆ: 142

ภาพ 26 น้ำเสาวรสเสริมใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรสที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 145

ภาพ 27 ลักษณะปรากฏของไฮโดรบีดส์เสาวรส: 146

ภาพ 28 ลักษณะปรากฏของตัวอย่างเยลลี่กล้วยน้ำว้าเสริมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร 146

ภาพ 29 เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร 154

ภาพ 30 ประสิทธิภาพในการลดเชื้อ *Escherichia coli* K12 ATCC 47076 ในเยลลี่กล้วยน้ำว้า 161

ภาพ 31 ประสิทธิภาในการลดเชื้อ *Listeria innocua* DMST 9011 ในเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหารด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความดัน 600 MPa ที่สภาวะต่าง ๆ 161

ภาพ 32 การเก็บผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร 166

ภาพ 33 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร 168

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

กล้วย (*Musa sapientum* L.) เป็นพืชล้มลุกขนาดใหญ่ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกพื้นที่ของประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสม ทำให้สามารถปลูกกล้วยได้ง่าย และให้ผลผลิตเร็ว กล้วยมีหลากหลายชนิด สายพันธุ์ที่นิยมปลูกเชิงการค้าในประเทศ มีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอม โดยในปีพ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วยโดยรวม 481,639 ไร่ มีพื้นที่ปลูกกล้วยน้ำว้ามากที่สุด จำนวน 328,456 ไร่ ให้ผลผลิต 184,251 ตัน รองลงมา คือ กล้วยไข่ จำนวน 63,233 ไร่ ให้ผลผลิต 32,159 ตัน กล้วยหอมจำนวน 62,525 ไร่ ให้ผลผลิต 30,082 ตัน และกล้วยอื่น ๆ จำนวนประมาณ 27,425 ไร่ ตามลำดับ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2566) กล้วยจึงเป็นพืชชนิดหนึ่งที่ทั้งทางภาครัฐ และภาคเอกชน ได้ส่งเสริมและสนับสนุนให้ปลูก โดยเฉพาะกล้วยน้ำว้า (วารินทร์ งามการุญ, 2558) บริษัท เนเจอร์ มี โกบอล จำกัด ผู้ผลิตและจำหน่ายกล้วยตากวังน้อย ปัจจุบันมีกำลังการผลิต 20 ตันต่อเดือน (หรือ 240 ตันต่อปี) ยอดจำหน่ายต่อเดือนเป็นมูลค่า 200,000–240,000 บาท พบว่าในกระบวนการผลิตกล้วยตากของทางบริษัทที่ใช้ปริมาณกล้วยน้ำว้าสุกเฉลี่ย 80 ตันต่อเดือน จะพบวัตถุดิบกล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดมีลักษณะผลเล็ก ช้ำ หรือสุกเกินไป ราว 800 กิโลกรัมต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 1 ของปริมาณกล้วยสุกที่นำมาใช้ในการผลิตกล้วยตาก ส่งผลให้เกิดเกิดความเสียหายเป็นมูลค่าจำนวนกว่า 20,000 บาทต่อเดือน นอกจากนี้ ยังก่อให้เกิดปัญหาการจัดการวัตถุดิบกล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดดังกล่าวอีกด้วย โดยการแก้ปัญหาในขณะนี้ คือ การนำไปใช้ทำปุ๋ยหมักหรือใช้เป็นอาหารสุกรภายในชุมชน แต่ขณะนี้วัตถุดิบดังกล่าวมีปริมาณมากเกินความต้องการในการใช้งานของชุมชน และไม่คุ้มค่ากับค่าขนส่งกรณีจะทำการกระจายวัตถุดิบกล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดแก่แหล่งชุมชนอื่น ๆ บริษัท เนเจอร์ มี โกบอล จำกัด จึงตระหนักถึงปัญหาการจัดการผลกล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดของบริษัท และมองเห็นช่องทางในการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัตถุดิบดังกล่าว โดยให้ความสนใจที่จะนำวัตถุดิบกล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารในกลุ่มของผลิตภัณฑ์เยลลี่ โดยเฉพาะเยลลี่เหลวที่ดีต่อสุขภาพของ

ผู้บริโภค จึงได้เสนอแนวคิดในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงดังกล่าว

จากการตรวจเอกสารเบื้องต้น พบว่าผลิตภัณฑ์กลุ่มเยลลี่มีส่วนแบ่งตลาดในประเทศไทยประมาณครึ่งหนึ่งของตลาดลูกกวาด และกำลังได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นจากผู้บริโภคทุกช่วงวัย โดยเฉพาะในกลุ่มวัยเด็กจนถึงวัยทำงาน จึงทำให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้อย่างต่อเนื่อง เพื่อดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค ผลการสำรวจพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เยลลี่ของผู้บริโภค จำนวน 400 คน พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบรับประทานผลิตภัณฑ์เยลลี่อ่อนมากที่สุด ร้อยละ 46 รองลงมา คือ เยลลี่เหลว ร้อยละ 39.5 และเยลลี่แห้ง ร้อยละ 14.5 ตามลำดับ (ลดาวรรณ์ จันทสิงห์ และคณะ, 2558) ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเยลลี่เป็นกลุ่มอาหารที่มีแนวโน้มเติบโตได้ดี เป็นที่สนใจของบริษัทผู้ผลิตอาหารที่จะเพิ่มผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดอย่างต่อเนื่อง และเป็นสินค้ากลุ่มที่มีกำไรค่อนข้างสูง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดส่วนใหญ่จะผลิตจากน้ำผลไม้เพียงร้อยละ 10–25 ร่วมกับสารปรุงแต่งสีและกลิ่นรสสังเคราะห์ของผลไม้ต่าง ๆ เมื่อพิจารณาถึงคุณค่าทางโภชนาการ พบว่าสารอาหารหลักของเยลลี่คือคาร์โบไฮเดรต ทำให้เยลลี่มีคุณค่าด้านพลังงานเท่านั้น อาจมีปริมาณเกลือแร่และวิตามินเล็กน้อย ส่วนประกอบที่เหลือจะเป็นน้ำ สารปรุงแต่งกลิ่นรส สารให้ความข้นหนืด สารที่ทำให้เกิดเจล และน้ำตาล (กรมวิชาการเกษตร, 2543) ดังนั้นการนำวัตถุดิบกล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารในกลุ่มของเยลลี่ จึงมีความเป็นไปได้ทางการตลาดและมีศักยภาพเชิงพาณิชย์ และมีงานวิจัยจำนวนมากที่ทำการศึกษาหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่มาอย่างต่อเนื่อง เช่น (อธิชา เนตรบุตร และคณะ (2565) พัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่คาร์ราจีแนนมะม่วงหาวมะนาวโห่โดยเติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักส่วนผสม ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และพบว่าปริมาณวิตามินซี และแอนโทไซยานินของผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 660±1.00 μg/100g และ 5.16±0.11 mg/100g ตามลำดับ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์เยลลี่คาร์ราจีแนนมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่พัฒนาขึ้น สามารถเพิ่มทางเลือกอาหารเพื่อสุขภาพให้กับผู้บริโภคได้ ภัทรนันท์ โถน้อย และคณะ (2563) ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเยลลี่พร้อมดื่มจากน้ำมะพร้าว พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับสูตรของเยลลี่น้ำมะพร้าวพร้อมดื่มที่ใช้คาร์ราจีแนนและบุกเป็นสารก่อเจล ดังนั้นผลิตภัณฑ์เยลลี่น้ำมะพร้าวพร้อมดื่มสามารถใช้น้ำมะพร้าวแช่แข็งมาผลิตเป็นเจลลลี่ได้และผู้บริโภคให้การยอมรับ และยุวดี พีรพรพิศาล และคณะ (2555) พัฒนาเยลลี่คาร์ราจีแนนผสมเนื้อลูกจาก โดยใช้คาร์ราจีแนนร้อยละ 1.8 2.0 2.3 2.5 2.7 และบุก ร้อยละ 0.1 พบว่าการใช้คาร์ราจีแนนเพื่อให้เยลลี่เกิดเจล

ร้อยละ 1.8 และบุก ร้อยละ 0.1 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงสุด ในขณะที่ญาดา เอกสุวรรณ และคณะ (2555) ใช้ปริมาณคาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ลองกอง พบว่าปริมาณคาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.7 มีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูง และพบว่าปริมาณคาร์ราจีแนนไม่มีผลต่อค่าพีเอช และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ นอกจากนี้ กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา และ นัทมน พุฒดวง (2559) ยังได้ทำการศึกษาอัตราส่วนของคาร์ราจีแนน และกลูโคแมนแนน ในเยลลี่ธัญพืช ด้วยอัตราส่วนที่ระดับ 70:30 60:40 50:50 40:60 และ 30:70 พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมที่อัตราส่วนระดับ 70:30 สูงที่สุด อย่างไรก็ตาม การพัฒนาสูตรหรือคุณภาพของเยลลี่ จะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารที่ทำให้เกิดเจล (Gelling agent) อีกทั้ง (จุฑามาศ พีรพัชระ และคณะ (2554) พบว่าการผลิตเยลลี่มักใช้สารที่ทำให้เกิดเจลประเภทคาร์ราจีแนน เนื่องจากการใช้ κ-คาร์ราจีแนน (κ-Carrageenan) จะทำให้ได้เจลที่มีลักษณะนุ่มและยืดหยุ่น เอื้อต่อการเคี้ยวและกลืน แต่โครงสร้างของเจลที่ได้จะมีลักษณะเปราะ แตกง่าย และมีโอกาสเกิดการแยกตัวของน้ำ (Syneresis) ระหว่างการเก็บรักษา (สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อม และคณะ, 2554)

นอกจากนี้ กระบวนการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษานอกจากจะส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการแล้ว ยังอาจรบกวนกลไกการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์อีกด้วย ดังนั้นการฆ่าเชื้อแบบไม่ใช้ความร้อน (Cold sterilization) โดยเฉพาะกระบวนการใช้ความดันสูง (High pressure process: HPP) จึงเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจ และนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ เพื่อควบคุมหรือลดผลกระทบทางด้านลบดังกล่าวต่อผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม กระบวนการใช้ความดันสูงกับเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร ยังมีความจำเป็นต้องศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะในการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระดับของความดัน และระยะเวลาในการให้ความดัน ซึ่งต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในการลดหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข รวมถึงผลของสภาวะการใช้ความดันสูง ที่มีต่อคุณลักษณะทางกายภาย เคมี จุลินทรีย์ และลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หลังผ่านสภาวะดังกล่าว ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งขณะนี้ยังไม่มีรายงานผลการศึกษาดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะได้ทำการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล คัดเลือกสภาวะฆ่าเชื้อโดยการใช้ความดันสูงที่เหมาะสม และติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ตลอดระยะเวลาเก็บรักษานาน 3 เดือน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วัตถุประสงค์การศึกษา

1. พัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล

2. คัดเลือกชนิดและปริมาณของสารก่อเจลผสมที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล

3. คัดเลือกสภาวะฆ่าเชื้อโดยการใช้ความดันสูงที่เหมาะสม สำหรับการผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล

4. ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล ตลอดระยะเวลาเก็บรักษานาน 3 เดือน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการใช้ความดันสูงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร วัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ ได้แก่ กล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดจากบริษัท เนเจอร์ มีโกบอล จำกัด เพื่อเพิ่มมูลค่าและบรรเทาปัญหาในส่วนของการจัดการวัตถุดิบกล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดของบริษัท โดยมีขอบเขตการศึกษา ดังนี้

1. ศึกษาอัตราส่วนของเนื้อกล้วยน้ำว้าสุกต่อปริมาณน้ำที่เหมาะสม เพื่อนำมาเสริมใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรส และการลดปริมาณน้ำตาลด้วยสารให้ความหวานพาลาทีน (ซึ่งมีค่า Glycemic Index; GI) ต่ำ) โดยแปรปริมาณของพาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายในสูตรน้ำกล้วยเสริมใยอาหาร 2 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 50 และ 100 ของปริมาณน้ำตาลทราย เพื่อพัฒนาเป็นสูตรน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารต้นแบบ สำหรับนำไปใช้ในการผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร

2. ศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อเจลที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้า ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญ ที่ส่งผลต่อคุณภาพและลักษณะเจลในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้า โดยศึกษาการใช้คาร์ราจีแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.10–0.50 ร่วมกับกลูโคแมนแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.10–0.75 และโลคัสบีนกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1–0.75 ของน้ำหนักน้ำกล้วยที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาล

3. พัฒนาสูตรไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร โดยวิธี Basic spherification จากน้ำเชื่อมกลิ่นผลไม้ 3 ชนิด ได้แก่ เสาวรส น้ำผึ้งมะนาว และลิ้นจี่ และการเสริมใยอาหารในน้ำผลไม้ที่เตรียมไว้

โดยแปรระดับความเข้มข้นของโพลีเด็กส์โตรสในช่วงร้อยละ 1–25 ของน้ำหนักน้ำผลไม้ พร้อมทั้งศึกษาความคงตัวของไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารในเยลลี่กล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร

4. ศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการฆ่าเชื้อแบบไม่ใช้ความร้อน (Cold pasteurization) โดยใช้ความดันสูง ด้วยเครื่อง High pressure processing (HPP) ที่ความดัน 400–600 MPa โดยใช้น้ำที่อุณหภูมิ 29–50 องศาเซลเซียส เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดัน (Pressure medium) ระยะเวลาในการคงความดันไว้ที่ 5–30 นาที ต่อการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค ได้แก่ จำนวนเชื้อ *Escherichia coli* K12 ATCC 47076 และ *Listeria innocua* DMST 9011

5. ตรวจสอบคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร โดยเทียบเคียงกับข้อกำหนดคุณภาพของเยลลี่ตามมาตรฐานต่าง ๆ ของประเทศไทย

6. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 3 เดือน และทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. กล้วย

กล้วย (*Musa sapientum* L.) เป็นพืชล้มลุกขนาดใหญ่ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกพื้นที่ของประเทศไทย เนื่องจากมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสม ปลูกง่าย และให้ผลผลิตเร็ว กล้วยมีหลากหลายชนิด สายพันธุ์ที่นิยมปลูกเชิงการค้าในประเทศ มีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอม (ภาพ 1) โดยในปีพ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วยโดยรวมล 481,639 ไร่ มีพื้นที่ปลูกกล้วยน้ำว้ามากที่สุด จำนวน 328,456 ไร่ ให้ผลผลิต 184,251 ตัน รองลงมา คือ กล้วยไข่ จำนวน 63,233 ไร่ ให้ผลผลิต 32,159 ตัน กล้วยหอมจำนวน 62,525 ไร่ ให้ผลผลิต 30,082 ตัน และกล้วยอื่น ๆ จำนวนประมาณ 27,425 ไร่ ตามลำดับ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2566) สถานการณ์การผลิตกล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอม ปี พ.ศ. 2566 ดังแสดงในตาราง 1

กล้วยน้ำว้า **กล้วยไข่** **กล้วยหอม**

ภาพ 1 ลักษณะผลของกล้วย จำแนกตามสายพันธุ์
ที่มา: ดัดแปลงจากนิธิมา สุทธิพันธุ์ (2565)

ตาราง 1 สถานการณ์การผลิตกล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอม ปี พ.ศ. 2566

รายการ	กล้วยน้ำว้า	กล้วยไข่	กล้วยหอม
พื้นที่ปลูก (ไร่)	328,456	63,233	62,252
ผลผลิต (ตัน)	184,251	32,159	30,082
ราคาขายได้ต่อกิโลกรัม (บาท)	9.62	25.79	16.70

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร (2566)

กล้วยมีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีสรรพคุณช่วยป้องกันและรักษาโรคได้หลายชนิด สารสำคัญในกล้วยประกอบด้วยเส้นใย วิตามินและแร่ธาตุนานาชนิดที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น ธาตุเหล็ก ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม คาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามินเอ วิตามินบี 6 วิตามินบี 12 และวิตามินซี เป็นต้น มีประโยชน์ในการส่งเสริม ป้องกันรักษา และฟื้นฟูสุขภาพ นอกจากนี้ กล้วยยังสามารถนำมาใช้ในการดูแลโรคกระเพาะอาหาร ท้องผูก และลดความดันโลหิตได้ หากรับประทานเป็นประจำ (นิธิมา สุทธิพันธุ์, 2565) ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยแต่ละสายพันธุ์ ต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

ปริมาณสารอาหาร	กล้วยน้ำว้า	กล้วยไข่	กล้วยหอม
พลังงานทั้งหมด (แคลอรี่)	148.00	132.00	147.00
พลังงานจากไขมัน (แคลอรี่)	1.80	1.80	1.80
ไขมันทั้งหมด (กรัม)	0.20	0.20	0.20
น้ำ (กรัม)	71.60	62.80	66.30
น้ำตาล (กรัม)	20.00	14.00	22.00
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (กรัม)	35.40	31.70	34.80
ใยอาหาร (กรัม)	2.30	1.90	1.90
โปรตีน (กรัม)	1.10	0.90	1.50
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	128.00	269.00	135.00
วิตามินเอ (ร้อยละ)	0.59	1.12	5.41
วิตามินซี (ร้อยละ)	18.33	45.00	3.33
แคลเซียม (ร้อยละ)	0.70	2.60	0.40
เหล็ก (ร้อยละ)	4.44	4.44	5.56
ไทอามิน (ร้อยละ)	2.67	2.67	2.00
ไรโบพลาวิน (ร้อยละ)	1.18	4.12	2.94
ไนอาซิน (ร้อยละ)	7.00	0.50	7.00
ฟอสฟอรัส (ร้อยละ)	4.30	4.60	2.30

ที่มา: ดัดแปลงจากนิธิมา สุทธิพันธุ์ (2565)

1.1 กล้วยน้ำว้า

กล้วยน้ำว้า เป็นพืชล้มลุกประเภทใบเดี่ยว ออกลูกเป็นเครือ ขยายพันธุ์ด้วยหน่อ หรือเหง้า (หรือลำต้นใต้ดิน) สาเหตุที่นิยมปลูกกล้วยน้ำว้ากันมาก เนื่องจากทนทานต่อสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศได้ดีกว่ากล้วยพันธุ์อื่น ๆ และจะให้ผลผลิตที่ดีมากในสภาวะอากาศที่ไม่แปรปรวน ชอบอากาศร้อนชื้น สายพันธุ์กล้วยน้ำว้ามีมากกว่า 10 สายพันธุ์ แต่สายพันธุ์ที่มีมานาน และมีชื่อเสียง คือ กล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อง สายพันธุ์ที่มีการสนับสนุนให้ปลูกมาก คือ กล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 และสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง คือ กล้วยน้ำว้าพันธุ์ยักษ์ (อุษาพร ภูคัสมาศ, 2560) กล้วยน้ำว้าจะมีผลผลิตออกสู่ตลาดตลอดทั้งปี แต่ออกมากช่วงเดือน ส.ค.–ต.ค. ของทุกปี โดยราคาที่เกษตรกรขายได้ ณ วันที่ 3 พ.ค. 2562 กก.ละ 19 บาท ราคาสูงกว่าเมื่อเทียบกับช่วงเดือนเดียวกันของปี 2561 และจากการสืบราคาของกรมการค้าภายใน ณ วันที่ 2 พ.ค. 2562 ราคาขายส่ง กก.ละ 84–89 บาท (กล้วย 100 ผล ราคา 620 บาท) และราคาขายปลีก กก.ละ 107–129 บาท (กล้วย 100 ผล ราคา 846 บาท) (วรรณวิสา สพประสงค์ และ อาจินต์ สหะชาติ, 2565) ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 รายงานสถานการณ์การปลูกกล้วยน้ำว้า ปี 2562 เรียงตามเนื้อที่ปลูกจากมากไปหาน้อย จำแนกตามรายจังหวัด

จังหวัด	เนื้อที่ปลูก (ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิต/ไร่ (กิโลกรัม)	ราคาเฉลี่ย (บาท/กิโลกรัม)
เพชรบุรี	54,471.00	23,138.00	85,822.08	3,709.00	8.72
เลย	52,308.00	32,378.00	181,440.38	5,604.00	8.24
จันทบุรี	28,050.00	3,187.00	12,112.02	3,800.00	5.50
พิษณุโลก	24,396.00	827.00	1,356.00	1,640.00	6.41
อุตรดิตถ์	15,460.00	1,687.00	4,998.50	2,963.00	5.57

ที่มา: วรรณวิสา สพประสงค์ และ อาจินต์ สหะชาติ (2565)

นอกจากการรับประทานผลสุกของกล้วยหรือนำมาประกอบอาหารแล้ว ยังสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น กล้วยฉาบ กล้วยตาก กล้วยอบเนย แป้งกล้วย และกล้วยในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง เป็นต้น เพื่อช่วยป้องกันกล้วยสดล้นตลาด ทำให้สามารถยกระดับราคาผลผลิตไม่ให้ตกต่ำ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ส่งเสริมให้ผู้ประกอบการสร้างผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ ๆ ที่มีคุณภาพ

ออกสู่ตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ ส่งผลให้สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร และสร้างรายได้มูลค่าสูงให้กับเกษตรกรผู้ผลิต (สุธิดา อัญญะโพธิ์, 2548)

1.2 คุณภาพของกล้วยน้ำว้า

มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กล้วย มาตรฐานเลขที่ มกอช. 0006–2548 (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2548) ได้กำหนดคุณภาพของกล้วยสายพันธุ์ที่ผลิตทางการค้าสำหรับบริโภคสดไว้ดังนี้

1.2.1 ข้อกำหนดเรื่องคุณภาพ

1) คุณภาพขั้นต่ำ กล้วยทุกชั้นคุณภาพจะต้องมีคุณภาพดังต่อไปนี้ เว้นแต่จะมีข้อกำหนดเฉพาะของแต่ละชั้น และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้มีได้ตามที่ระบุไว้ (ตาราง 4)

สำหรับกล้วยที่เป็นหวี และหวีแบ่ง ต้องมีข้อกำหนดเพิ่มเติม คือ ขั้วหวีต้องมีสภาพสมบูรณ์ รอยตัดด้านขวางเรียบ สะอาด ไม่ฉีกขาด ไม่มีบาดแผลจากการตัดแต่งที่มีผลกระทบต่อรูปลักษณ์ผลิตผล และกล้วยมีความแก่ได้ที่ คือ ผลที่สามารถพัฒนาเป็นผลสุกได้ หลังการเก็บเกี่ยวจากต้น โดยมีความแก่ในระดับที่เหมาะสม ทั้งนี้เหมาะสมกับพันธุ์และแหล่งปลูก คุณภาพการรับประทานเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และผลอยู่ในสภาพที่ยอมรับได้เมื่อถึงปลายทาง

ตาราง 4 ข้อกำหนดคุณภาพขั้นต่ำของกล้วยแต่ละชั้น

ลำดับ	คุณภาพขั้นต่ำ
1	เป็นกล้วยครบทั้งผล
2	เนื้อแน่น
3	ลักษณะและคุณสมบัติตรงตามพันธุ์
4	มีความสด ผลไม่เน่าเสีย ซึ่งไม่เหมาะสมในการบริโภค
5	สะอาด ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้
6	ไม่มีรอยช้ำที่เด่นชัด
7	ผลและขั้วผลมีรูปร่างปกติ ขั้วผลไม่เสียหายจากเชื้อราหรือเหี่ยวแห้ง
8	ไม่มีศัตรูพืชที่มีผลกระทบต่อรูปลักษณ์ทั่วไปของผลผลิต
9	ไม่มีความเสียหายจากศัตรูพืช ยกเว้นความเสียหายนั้นไม่กระทบต่อคุณภาพการบริโภค
10	ไม่มีเกสรแห้งติดอยู่

ตาราง 4 (ต่อ)

ลำดับ	คุณภาพขั้นต่ำ
11	ไม่มีความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ หรือสูง
12	ไม่มีกลิ่นและรสชาติแปลกปลอม หรืออย่างใดอย่างหนึ่ง
13	ไม่มีความชื้นที่ผิดปกติจากภายนอกบนผล (ไม่รวมหยดน้ำที่เกิดหลังนำออกจากห้องเย็นและจากการเก็บรักษาในสภาวะปรับอากาศ)

ที่มา: (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548)

2) การแบ่งชั้นคุณภาพ การแบ่งชั้น หรือคัดเกรดของกล้วยเพื่อกำหนดคุณภาพของผลผลิตกล้วยที่ได้ จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ชั้นพิเศษ ชั้นหนึ่ง และชั้นสอง

– ชั้นพิเศษ (Extra class) ผลกล้วยชั้นนี้ต้องมีคุณภาพดีที่สุด มีลักษณะรูปทรง สี และรสชาติตรงตามพันธุ์ ผลไม่มีรอยตำหนิ ยกเว้นมีรอยตำหนิผิวเผินเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน และไม่มีผลกระทบต่อลักษณะโดยทั่วไปของผล คุณภาพการเก็บรักษา และการจัดเรียงในบรรจุภัณฑ์

– ชั้นหนึ่ง (Class I) ผลกล้วยชั้นนี้มีคุณภาพดี มีลักษณะรูปทรง สี และรสชาติตรงตามพันธุ์ ผลมีตำหนิด้านสี หรือรูปร่างได้เล็กน้อย ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อลักษณะทั่วไปของผล คุณภาพการเก็บรักษา และการจัดเรียงในบรรจุภัณฑ์ ผิวมีตำหนิได้เล็กน้อยจากการเสียดสี หรืออื่น ๆ โดยรวมได้ไม่เกิน 2 cm^2 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด และตำหนิดังกล่าวต้องไม่มีผลต่อเนื้อกล้วย

– ชั้นสอง (Class II) ชั้นนี้รวมกล้วยที่มีคุณภาพไม่เข้าชั้นที่สูงกว่า แต่มีคุณภาพขั้นต่ำ ดังข้อ 1) มีตำหนิด้านรูปร่าง หรือสีผิดปกติได้บ้าง โดยยังคงลักษณะที่สำคัญ เช่น คุณภาพและคุณภาพการเก็บรักษา ผิวมีตำหนิอันเนื่องจากแผลเป็นหรือการเสียดสี ความเสียหายดังกล่าวโดยรวมไม่เกิน 4 cm^2 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด และตำหนิดังกล่าวต้องไม่มีผลต่อเนื้อกล้วย

1.2.2 ข้อกำหนดเรื่องขนาด

1) ขนาดของกล้วยหอมทอง และกล้วยไข่ จะพิจารณาจากน้ำหนัก ความยาวผล หรือเส้นผ่าศูนย์กลาง อย่างใดอย่างหนึ่ง

2) วิธีการเลือกผลกล้วยสำหรับการวัดขนาดความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลาง กรณีเป็นหวี ให้ใช้ผลเดี่ยว หรือผลใดผลหนึ่งของผลคู่ที่อยู่กึ่งกลางของหวีแถวนอก กรณีเป็นหวีแบ่ง ให้ใช้ผลเดี่ยวที่ติดกับรอยตัดหวี และอยู่แถวนอกของหวีแบ่ง กรณีที่หวีแบ่งนั้นมีรอยตัดสองข้าง ให้ใช้

ค่าเฉลี่ยที่วัดจากผลที่ติดกับรอยตัดหวีทั้งสองข้าง และอยู่แถวนอกของหวีแบ่ง

3) วิธีวัดขนาดของผลกล้วย

– ความยาวของผลกล้วย วัดจากส่วนโค้งด้านนอกจากปลายผลถึงฐานขั้วผล

– เส้นผ่าศูนย์กลางของผลกล้วย ให้วัดจากส่วนที่กว้างที่สุดของผลกล้วย

– น้ำหนักผลกล้วย คำนวณจากน้ำหนักผลกล้วยทั้งหวีหารด้วยจำนวนผลกล้วย

1.2.3 สารปนเปื้อน ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และข้อกำหนดของมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่อง สารปนเปื้อน

1.2.4 สารพิษตกค้าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และข้อกำหนดของมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่อง สารพิษตกค้าง

2. เยลลี่

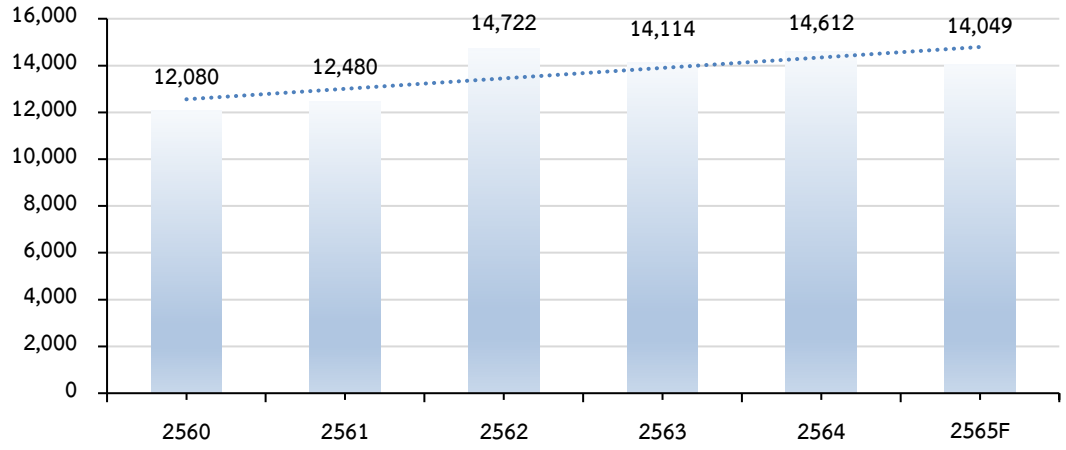
เยลลี่ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำผลไม้จากการคั้น หรือสกัด หรือน้ำผลไม้ที่ผ่านกรรมวิธีหรือทำให้เข้มข้น หรือแช่แข็งผสมกับสารที่ให้ความหวาน และทำให้มีความเหนียวพอเหมาะ โดยต้องไม่มีเนื้อผลไม้เจือปน ต้องผ่านการกรองเพื่อให้ใส ปราศจากชิ้นหรือเศษของผลไม้ และอาจทำให้เข้มข้นโดยการระเหยน้ำออก ปริมาณน้ำผลไม้หรือน้ำที่สกัดได้จากผลไม้ที่ใช้จะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของน้ำหนัก ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 213) พ.ศ.2543 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2543ข)

2.1 ข้อมูลด้านการตลาด และพฤติกรรมการบริโภคขนมหวานจากน้ำตาล

2.1.1 อุตสาหกรรมขนมหวานจากน้ำตาล

เยลลี่ คือหนึ่งในผลิตภัณฑ์ขนมหวานจากน้ำตาล ตลาดขนมหวานจากน้ำตาล ปี 2563 ในประเทศไทย เติบโตขึ้นร้อยละ 4.13 จากปีพ.ศ. 2562 มีมูลค่าอยู่ที่ 14,114 ล้านบาท ต่อมาในปี 2564 มีมูลค่าประมาณ 14,612 ล้านบาท (ภาพ 2) คาดการณ์อัตราเติบโตเฉลี่ยในช่วงปี 2564–2569 คิดเป็นร้อยละ 3.8 โดยมูลค่าตลาดขนมหวานจากน้ำตาล แบ่งออกเป็นกลุ่มสินค้าหลัก ได้แก่ ยาอม (Medicated confectionery) ครองส่วนแบ่งร้อยละ 30.61 กลุ่มขนมหวานที่มีลักษณะนิ่มและอ่อนตัว เช่น หมากฝรั่ง (Gums) เยลลี่ (Jellies) และขนมเคี้ยว (Chews) ครองส่วนแบ่งตลาดร้อยละ 19.95 ลูกอมมินต์ ครองส่วนแบ่งร้อยละ 16.28 ลูกกวาด (Boiled sweets) ครองส่วนแบ่งร้อยละ 11.24 กลุ่มขนมหวานที่มีลักษณะค่อนข้างนิ่มจนถึงค่อนข้างแข็ง ครองส่วนแบ่งร้อยละ 1.39

อมยิ้ม ครองส่วนแบ่งร้อยละ 1.24 และขนมหวานจากน้ำตาลชนิดอื่น ๆ ครองส่วนแบ่งร้อยละ 19.29 ตามลำดับ (อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร, 2565)



ภาพ 2 มูลค่าตลาดขนมหวานจากน้ำตาลปี 2560–2565F
ที่มา: อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร (2565)

มูลค่าตลาดขนมหวานจากน้ำตาลในประเทศไทยชะลอตัวลง เป็นผลมาจากสถานการณ์การแพร่ระบาดใหญ่ของเชื้อไวรัส COVID–19 รัฐบาลจึงออกมาตรการป้องกันการแพร่ระบาด โดยการประกาศล็อกดาวน์และกำหนดเคอร์ฟิวให้ประชาชนออกนอกบ้านได้ตามระยะเวลาที่กำหนด ส่งผลให้ผู้บริโภคใช้เวลาอยู่ในบ้านมากขึ้น เลี่ยงการออกไปนอกบ้าน เพื่อลดโอกาสการติดเชื้อ ซึ่งสินค้าประเภทลูกอมมินต์และลูกกวาดเป็นสินค้าที่มักบริโภคเมื่อต้องออกจากบ้านเพื่อเสริมสร้างความมั่นใจในการพบปะผู้คน และช่วยคลายง่วงระหว่างการเดินทาง ผลิตภัณฑ์ขนมหวานจากน้ำตาลซึ่งเป็นที่นิยมโดยเฉพาะในกลุ่มผู้บริโภควัยเด็ก ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์อมยิ้ม ลูกกวาด เยลลี่ ก็ได้รับผลกระทบจากการระบาดนี้เช่นกัน เนื่องจากรัฐบาลได้ขอความร่วมมือให้โรงเรียนงดการเรียนการสอนที่โรงเรียนแล้วจัดการเรียนการสอนผ่านระบบออนไลน์ ทำให้ผู้บริโภคกลุ่มเด็ก และนักเรียนต้องเรียนออนไลน์อยู่ภายในบ้านทำให้การบริโภคสินค้าในกลุ่มนี้ลดลง นอกจากนี้ การระบาดของไวรัส COVID–19 ส่งผลผู้บริโภคมีกำลังซื้อน้อยลง ซึ่งขนมหวานจากน้ำตาลเป็นกลุ่มอาหารที่ไม่จำเป็นต่อการใช้ชีวิตประจำวัน ผู้บริโภคจึงลดการบริโภคสินค้ากลุ่มนี้ (อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร, 2565)

ภาพรวมตลาดขนมหวานจากน้ำตาลของโลก พบว่าในสหรัฐอเมริกา ตามรายงานของ The US Confectionery State of Industry ประจำปี 2565 จัดทำโดย National Confectioners Association รายงานว่า ตลาดค้าปลีกสินค้าขนมหวานสำเร็จรูปสหรัฐฯ มีมูลค่า 36.9 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ ในปี 2564 ขยายตัวเพิ่มร้อยละ 11 ยอดขายแยกเป็น ขนมหวานสำเร็จรูปประเภทช็อกโกแลต (Chocolate) มูลค่า 21.1 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ ขยายตัวเพิ่มร้อยละ 9 และขนมหวานสำเร็จรูปประเภทที่ไม่ใช่ช็อกโกแลต (Non–Chocolate) มูลค่า 12.7 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ ขยายตัวเพิ่มร้อยละ 14.5 และ ขนมกัมมี่ (Gummy) หรือ มิ้นท์ (Mints) มูลค่า 3.1 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ ขยายตัวเพิ่มร้อยละ 3.8 และคาดว่ายอดขายจะเพิ่มขึ้นเป็น 44.6 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ ภายในปี 2569 อัตราการบริโภคสินค้าขนมหวานสำเร็จรูปของผู้บริโภคสหรัฐฯ คิดเป็น 25.7 ปอนด์ต่อคนต่อปี ในปี 2563 หรือเพิ่มขึ้น 1 ปอนด์จากเมื่อ 10 ปีที่ผ่านมา โดยการบริโภคแยกเป็นการบริโภคขนมหวานสำเร็จรูปประเภทช็อกโกแลต 13.7 ปอนด์ต่อคนต่อปี และที่ไม่ใช่ช็อกโกแลต 12.0 ปอนด์ต่อคนต่อปี (สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ นครชิคาโก, 2565)

อุตสาหกรรมการผลิตขนมหวานสำเร็จรูป (Confectionery) มีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจสหรัฐฯ ด้วยมูลค่าค้าปลีกสูงถึง 37 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ ในปี 2564 และมีการจ้างงานมากกว่า 58,000 คนซึ่งมีโรงงานมากกว่า 1,500 แห่งใน 50 รัฐ ซึ่งนับได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีผู้ผลิตจำนวนมาก ผลผลิตของอุตสาหกรรมในประเทศมีสัดส่วนตลาดสูงถึงร้อยละ 70 ในขณะที่สินค้าขนมหวานสำเร็จรูปนำเข้าจากต่างประเทศคิดเป็นเพียงร้อยละ 30 (สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ นครชิคาโก, 2565)

การนำเข้ารวมสินค้าขนมหวานสำเร็จรูป (Total confectionery) ระหว่างปี 2563–2564 พบว่า สหรัฐอเมริกานำเข้าสินค้าขนมหวานสำเร็จรูปรวมมูลค่า 5,818.25 ล้านเหรียญสหรัฐฯ ในปี 2564 ขยายตัว ร้อยละ 21.93 มีแหล่งนำเข้า สินค้าที่สำคัญ คือ แคนาดา (ร้อยละ 39.43) เม็กซิโก (ร้อยละ 23.49) และเยอรมนี (ร้อยละ 6.04) ในขณะที่นำเข้าจากไทยเป็นมูลค่า 56.07 ล้านเหรียญสหรัฐฯ ขยายตัวเพิ่มร้อยละ 40.35 แบ่งเป็นการนำเข้าสินค้ากลุ่ม Chocolate มูลค่า 3,516.53 ล้านเหรียญสหรัฐฯ ในปี 2564 ขยายตัวร้อยละ 24.04 โดยมีประเทศแคนาดา และเม็กซิโก เป็นแหล่งนำเข้าสำคัญที่สุด ร้อยละ 46.87 และ 14.63 ตามลำดับ โดยนำเข้าจากประเทศไทยเป็นมูลค่า 6.08 ล้าน เหรียญสหรัฐฯ ขยายตัวเพิ่มร้อยละ 896.72 และการนำเข้าสินค้ากลุ่ม Non-Chocolate มูลค่า 2,301.72 ล้านเหรียญสหรัฐฯ ขยายตัวร้อยละ 18.83 มีแหล่งนำเข้าสำคัญ

คือ ประเทศแคนาดา และเม็กซิโก ร้อยละ 37.01 และ 20.16 ตามลำดับ และนำเข้าจากประเทศไทย ซึ่งเป็นแหล่งนำเข้าสำคัญอันดับที่ 7 เป็นมูลค่า 51.83 ล้านเหรียญสหรัฐฯ ขยายตัวเพิ่มร้อยละ 31.75 (สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ นครชิคาโก, 2565)

อย่างไรก็ตาม ในช่วง 2–3 ปีที่ผ่านมา อัตราการเติบโตของขนมหวานจากน้ำตาลอยู่ในช่วงชะลอตัวจากเดิมที่เคยอยู่ที่ประมาณร้อยละ 6.6 เพราะผู้บริโภคเลือกที่จะซื้อขนมหวานในปริมาณที่ลดลง เพื่อนำเงินทีเหลือไปใช้จ่ายกับสินค้าที่มีความจำเป็นมากกว่า อีกทั้ง อาหารและเครื่องดื่มของประเทศไทยมักมีรสชาติหวานนำ คนไทยจึงมีการบริโภคน้ำตาลค่อนข้างสูงอยู่แล้วในแต่ละวัน ทำให้ผู้บริโภคที่ใส่ใจต่อสุขภาพมีแนวโน้มที่จะบริโภคขนมหวานกับน้ำตาลน้อยลง เนื่องจากมีความกังวลหรือกลัวโรคภัยที่อาจจะเกิดขึ้นตามมา เช่น โรคอ้วน และโรคเบาหวาน (อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร, 2559) ถือเป็นเรื่องท้าทายของผู้ผลิตที่ต้องปรับตัวเพื่อหาวิธีรับมือกับกระแสนี้ ซึ่งผู้นำตลาดได้ให้ความสนใจกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อกระตุ้นตลาดให้เกิดการบริโภคมากขึ้น และให้สอดคล้องกับเทรนด์สุขภาพ เช่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ การกระจายสินค้าให้ครอบคลุมกลุ่มเป้าหมาย การผลิตลูกอมหรือยาอมปราศจากน้ำตาล หรือใช้สารทดแทนความหวานเป็นส่วนผสมแทนน้ำตาล ทำให้ยอดจำหน่ายของสินค้ากลุ่มนี้มีการเติบโตขึ้นในปี 2558 เพราะขนมที่ปราศจากน้ำตาลจะถูกมองว่าเป็นขนมที่เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและลดระดับน้ำตาลในเลือด ส่วนการทำกิจกรรมการตลาด ผู้นำตลาดส่วนใหญ่ปรับลดการโฆษณาผ่านสื่อมวลชนต่าง ๆ เช่น โทรทัศน์ วิทยุ และสิ่งพิมพ์ แต่เพิ่มงบประมาณในการส่งเสริมการขายแทน (อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร, 2560)

2.1.2 พฤติกรรมการบริโภคขนมหวานจากน้ำตาลของผู้บริโภค

นวัตกรรมการผลิตสินค้าในปี 2558 เป็นสิ่งสำคัญที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของผลิตภัณฑ์ขนมหวานจากน้ำตาล เช่น ลูกอม หมากฝรั่ง และเยลลี่ เช่น การพัฒนาสินค้าใหม่ การนำเสนอรสชาติที่หลากหลายมีห่อเดียว และการผลิตรุ่นลิมิเตด Limited edition ซึ่งวิธีเหล่านี้เป็นวิธีที่ค่อนข้างประสบความสำเร็จที่ผู้นำตลาดใช้เพื่อกระตุ้นและผลักดันยอดจำหน่าย โดยเฉพาะผู้บริโภครุ่นใหม่ที่ต้องการความแปลกใหม่ให้กับชีวิตจึงเป็นกลุ่มที่มองหาขนมที่มีรสชาติแตกต่างไปจากที่เคยรับประทานหรือมีบรรจุภัณฑ์ที่โดดเด่นสะดุดตา ส่งผลต่อพฤติกรรมการบิริโภคของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้น (อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร, 2559) โดยจากการรายงานถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกซื้อ และความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เยลลี่ในประเทศจีน ของสำนักงาน

ส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ เมืองเซี่ยเหมิน ในปี 2562 พบว่า มีผู้ประกอบการเยลลี่ในจีนมากกว่า 300 ราย มีมูลค่าประมาณ 25,000 ล้านหยวน และยังคงเติบโตเป็นตัวเลขสองหลักอย่างต่อเนื่อง ขณะนี้ผู้บริโภคชาวจีนจึงให้ความสำคัญกับความปลอดภัยของอาหารมากขึ้น อนาคตของสินค้าและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เยลลี่จึงเปลี่ยนไปจากอดีต (สำนักงานส่งเสริมการค้าต่างประเทศ, 2562) โดยมีแนวโน้มการพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่ คือ

1) เน้นธรรมชาติ มีคุณค่าทางโภชนาการ และดีต่อสุขภาพ: โดยส่วนแบ่งตลาดของผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่มีคุณภาพสูง จะขยายตัวมากขึ้น ผู้บริโภคนิยมผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากสีกลิ่นสังเคราะห์ และสารกันบูด สำหรับสารให้ความหวาน มีแนวโน้มที่จะใช้สารเพิ่มความหวานแบบน้ำตาลต่ำ แคลอรี่ต่ำและปลอดภัยมากขึ้น เช่น Stevioside (สารให้ความหวานที่สกัดจากหญ้าหวาน) Fructo–oligosaccharide (สารให้ความหวานแต่พลังงานต่ำกว่าน้ำตาล) ส่วนเม็ดสีจะมาจากธรรมชาติ เช่น เคราติน ลูทีน ไลโคปีน แอนโทไซยานิน เป็นต้น

2) นวัตกรรมวิธีการบริโภคเยลลี่: ผลิตเยลลี่ที่ปลอดภัยและรับประทานสะดวก เด็ก ๆ เป็นกลุ่มผู้บริโภคที่รับประทานเยลลี่มากที่สุด แต่มักมีเหตุการณ์ที่เด็กเสียชีวิตเพราะเยลลี่ติดคอเกิดขึ้นเสมอ ผู้ผลิตจำเป็นต้องพัฒนาวิธีบรรจุและการรับประทานที่เหมาะสมยิ่งขึ้น เพื่อให้การฉีกบรรจุภัณฑ์ทำให้ง่ายขึ้น รับประทานง่ายและปลอดภัย

3) การบริโภคเยลลี่ค่อย ๆ พัฒนาเป็นสินค้าอุปโภคบริโภคสาธารณะ ปัจจุบันกลุ่มผู้บริโภคเยลลี่ส่วนใหญ่เป็นเด็กและสตรี ส่วนผู้บริโภควัยรุ่นคาดว่าจะเป็นกลุ่มบริโภคที่สำคัญต่อไปในอนาคต แม้แต่ความต้องการของผู้บริโภคคนวัยกลางและผู้สูงอายุก็มีตลาดมากขึ้น เนื่องจากเยลลี่ไม่ใช่เป็นแค่อาหารสำรองในภาวะฉุกเฉิน (Emergency food) และอาหารเสริมพลังงานเท่านั้น ยังเป็นของหวานสำหรับรับประทานหลังอาหารมื้อหลัก เพื่อรุกตลาดอาหารว่างสำหรับผู้บริโภคกลุ่มผู้ใหญ่ จึงเริ่มมีผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เหมาะกับกลุ่มดังกล่าว เช่น เยลลี่น้ำตาลทรายแดง เยลลี่เอนไซม์ เยลลี่ไวน์แดง เป็นต้น

4) ผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่มีส่วนผสมหลายประเภทจะกลายเป็นที่นิยม และมีแนวโน้มการเติบโตอย่างรวดเร็ว เป็นที่ต้องการของตลาดเพิ่มขึ้น การผสมผลิตภัณฑ์สมุนไพรจีนในเยลลี่ เช่น น้ำผึ้ง เก๋ากี้ พุทรา ว่านหางจระเข้ แร่ธาตุ วิตามิน และโปรตีน เป็นต้น นอกจากนี้ ยังพบเห็นเยลลี่ผสมยาชูกำลัง เยลลี่ผสมเส้นใยอาหาร คาเฟอีน กลูโคส ในตลาดจีนอีกด้วย

5) การใช้ผลิตภัณฑ์เยลลี่สื่อความหมายและแสดงอารมณ์ เยลลี่มีภาพลักษณ์ที่น่ารักสำรับเด็ก ๆ การออกแบบผลิตภัณฑ์เยลลี่จึงต้องมีเอกลักษณ์ เช่น เยลลี่รูปแบบดอกกุหลาบ (เป็นสัญลักษณ์ของความรัก) เยลลี่รูปร่างดอกคาร์เนชั่น (เป็นสัญลักษณ์ของความรักที่ลูกมีต่อแม่) เยลลี่รูปร่างดอกลิลลี่ (เป็นสัญลักษณ์ของความรักที่ยาวเป็นร้อยปี) การมอบเยลลี่ที่มีลักษณะพิเศษ

ให้แก่ผู้รับ จึงสามารถใช้สื่อความหมายและแสดงอารมณ์ของผู้มอบได้อีกทางหนึ่ง (สำนักงานส่งเสริมการค้าต่างประเทศ, 2562)

นอกจากนี้ ยังมีการรายงานถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกซื้อ และความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เยลลี่ โดยจากศึกษาพฤติกรรม ทัศนคติ ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกซื้อและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เยลลี่ โดยใช้แบบสอบถาม พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบรับประทานเยลลี่อ่อนมากที่สุด ส่วนใหญ่รับประทานเยลลี่ 1–2 ครั้งต่อเดือน ผู้บริโภคร้อยละ 80.5 ซื้อผลิตภัณฑ์ในร้านสะดวกซื้อ ปัจจัยทั้งหมด 12 ปัจจัย มีผลต่อการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เยลลี่อยู่ในระดับความสำคัญมาก เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก และหมุนแกนด้วยวิธี Varimax สามารถสกัดปัจจัยได้ 3 องค์ประกอบ ดังนี้ คือ องค์ประกอบที่ 1 สามารถอธิบายความแปรปรวนของปัจจัยทั่วไปของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความแปลกใหม่ขนาดบรรจุ บรรจุภัณฑ์ ยี่ห้อ ราคาถูก/มีส่วนลด การส่งเสริมการขาย และประโยชน์ต่อสุขภาพ องค์ประกอบที่ 2 สามารถอธิบายความแปรปรวนของปัจจัยด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สีของเยลลี่ กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัส และ องค์ประกอบที่ 3 สามารถอธิบายความแปรปรวนของปัจจัยด้านการตลาด ได้แก่ การใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ ให้คุณค่าทางโภชนาการ หาซื้อง่าย และความสะดวกในการบริโภค (ลดาวรรณ์ จันทสิงห์ และคณะ, 2558) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพฤติกรรมการซื้อขนมหวานสำเร็จรูปที่ผลิตจากประเทศสมาชิกสมาคมประชาชาติแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยใช้สถิติทดสอบไคสแควร์ (Chi–Square) วิเคราะห์ทดสอบความเป็นอิสระที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคลทางด้านอายุ สถานภาพ จำนวนบุตร–ธิดา อาชีพ และรายได้เฉลี่ยต่อเดือน มีความสัมพันธ์กับความถี่โดยเฉลี่ยของการซื้อผลิตภัณฑ์ ด้านจำนวนเงินที่ซื้อโดยเฉลี่ยต่อครั้ง สิ่งกระตุ้นการตลาดด้านผลิตภัณฑ์ การมีรูปลักษณ์และบรรจุภัณฑ์ดี การจัดวางสินค้าที่สะดุดตา และมีของแถม หรือส่วนลดมีผลต่อพฤติกรรมการซื้อขนมหวานสำเร็จรูปที่ผลิตจากประเทศในกลุ่มอาเซียน ด้านความถี่โดยเฉลี่ยใน 1 เดือน สิ่งกระตุ้นทางการตลาดด้นรูปลักษณ์และบรรจุภัณฑ์ดี ราคาถูก และคุณภาพเหมาะสมกับราคา พบว่ามีผลต่อพฤติกรรมการซื้อขนมหวานสำเร็จรูปที่ผลิตจากประเทศในกลุ่มอาเซียนด้านจำนวนเงินโดยเฉลี่ยต่อครั้ง (อนิรุทธ์ ผ่องแผ่ว, 2553)

2.2 ชนิดของเยลลี่

เยลลี่ที่ดีควรมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว คงรูป ไม่เยิ้มน้ำ สีสวย สม่ำเสมอ และสีไม่คล้ำ มีกลิ่นและรสชาติตามธรรมชาติของน้ำผลไม้ ใสผ่านแสงได้ ไม่มีชิ้นของเศษผลไม้ และอาจใช้สีผสมอาหารในการปรุงแต่งได้ เนื้อสัมผัสจะต้องนุ่มและลื่น สามารถตัดออกได้ง่าย มีความแข็งพอที่จะสามารถคงรูปได้เวลานำออกจากพิมพ์ โดยพระราชบัญญัติอาหาร ปี พ.ศ. 2522 ได้กำหนดให้ชนิดของเยลลี่

แบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ เยลลี่เหลว เยลลี่อ่อน และเยลลี่แห้ง หรือเยลลี่แข็ง

2.2.1 เยลลี่เหลว คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้ ผัก ธัญชาติ หรือสมุนไพร มาคั้นหรือสกัดแล้วผสมกับสารให้ความหวานและสารที่ทำให้เกิดเจล เช่น เจลาติน คาร์ราจีแนน วุ้น ปริมาณเหมาะสมที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในลักษณะเหลว (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547ก)

2.2.2 เยลลี่อ่อน คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้ ผัก ธัญชาติ หรือสมุนไพร มาคั้นหรือสกัดแล้วผสมกับสารให้ความหวานและสารที่ทำให้เกิดเจล เช่น เจลาติน คาร์ราจีแนน วุ้น ปริมาณเหมาะสมที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในลักษณะกึ่งแข็ง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547ข)

2.2.3 เยลลี่แห้ง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้ ผัก ธัญชาติ หรือสมุนไพร มาคั้นแล้วผสมกับสารให้ความหวานและสารที่ทำให้เกิดเจล เช่น เจลาติน คาร์ราจีแนน วุ้น ปริมาณเหมาะสมที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในลักษณะแห้งและเหนียว (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547ค)

การศึกษาครั้งนี้จะพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่เหลว ซึ่งนอกจากนำผลไม้ ผัก ธัญชาติ หรือสมุนไพร มาคั้นหรือสกัดแล้วผสมกับสารให้ความหวานและสารที่ทำให้เกิดเจล เช่น เจลาติน คาร์ราจีแนน วุ้น ในปริมาณที่เหมาะสม อาจผสมกรดผลไม้และส่วนประกอบอื่น ๆ เคี่ยวให้มีความข้นเหนียวพอเหมาะที่อุณหภูมิที่เหมาะสม อาจแต่งสีและกลิ่นรสด้วยก็ได้ บรรจุในภาชนะที่ปิดได้สนิท ลักษณะทั่วไปต้องเป็นวุ้นเหลว สามารถใช้หลอดดูดได้ ต้องหยุ่นตัว ไม่แข็งกระด้าง เป็นเยลลี่ที่มีเนื้อสัมผัสนุ่ม มีน้ำมาก มักรับประทานแบบแช่เย็น เป็นของหวาน เป็นอาหารว่าง หลังมื้ออาหาร หรืออาจรับประทานกับไอศกรีม ผลิตภัณฑ์จะมีทั้งรสหวานและรสเปรี้ยว (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547ก) ดังนั้น หากต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีความโดดเด่น เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ต้องเน้นเรื่องคุณภาพ การผลิตและส่งมอบให้ลูกค้าได้อย่างต่อเนื่อง และในการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านการตลาด จำเป็นต้องทราบสภาวะการแข่งขันของตลาดเยลลี่เหลวในปัจจุบันว่ามีคู่แข่งขันทั้งทางตรง และคู่แข่งขันทางอ้อมเพื่อการพิจารณาถึงการแข่งขันของตลาดว่ามีการแข่งขันการตลาดสูงมากน้อยเพียงใด ดังนี้

1. คู่แข่งทางตรง คือ กิจการที่ขายสินค้าชนิดเดียวกับเราและมุ่งที่ลูกค้ากลุ่มเดียวกันกับเรา โดยคู่แข่งทางตรงของผลิตภัณฑ์เยลลี่เหลว คือ ผลิตภัณฑ์เยลลี่เหลวอื่น ๆ ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่ว ๆ ไป ดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 ผลิตภัณฑ์คู่แข่งทางตรงของผลิตภัณฑ์เยลลี่เหลว

ชื่อผลิตภัณฑ์	รายชื่อแบรนด์	ตลาด/Position product	รูปบรรจุภัณฑ์/ผลิตภัณฑ์	ราคา/หน่วย
White Grape Carrageenan Drink with Chamomile	SAPPE	ห้างสรรพสินค้า, ร้านสะดวกซื้อ		150 กรัม/ 18 บาท
ขนมเยลลี่คาร์ราจีแนนผสมบุก คอลลาเจน ซิงค์ สูตรน้ำตาลน้อย	Jele Beauties	ห้างสรรพสินค้า, ร้านสะดวกซื้อ		150 กรัม/ 15 บาท
เยลลี่คาร์ราจีแนนผสมคอลลาเจน	Jele Beauties	ห้างสรรพสินค้า, ร้านสะดวกซื้อ		150 กรัม/ 10 บาท
เยลลี่ผสมผงบุกรสองุ่นและรสสตรอเบอร์รี่	We Mall	ห้างสรรพสินค้า, ร้านสะดวกซื้อ		30 กรัม/ 12 บาท
เยลลี่คาร์ราจีแนนผสมบุกผง	Jele light	ห้างสรรพสินค้า, ร้านสะดวกซื้อ		125 กรัม/ 25 บาท
ปีโป้ เยลลี่ เชค	EURO	ห้างสรรพสินค้า, ร้านสะดวกซื้อ		230มิลลิลิตร/ 10 บาท
เยลลี่คาร์ราจีแนนผสมบุกผง	Coolly Kool	ห้างสรรพสินค้า, ร้านสะดวกซื้อ		240 มิลลิลิตร/ 12 บาท
เยลลี่ผสมบุก รสผลไม้	Jelly B	ห้างสรรพสินค้า, ร้านสะดวกซื้อ		150มิลลิลิตร/ 69 บาท
เยลลี่บุกผสมวิตามินน้ำผลไม้จากธรรมชาติ	นูริช เมท	ห้างสรรพสินค้า, ร้านสะดวกซื้อ		150 กรัม 14 บาท
ขนมเยลลี่คาราจีแนนและบุกผสมวิตามินเอ กลิ่นผลไม้	กุมิ กุมิ	ห้างสรรพสินค้า, ร้านสะดวกซื้อ		135 กรัม 12 บาท

2. คู่แข่งทางอ้อม คือ กิจการที่อาจขายสินค้าต่างชนิดกับเรา แต่มุ่งในลูกค้ากลุ่มเดียวกันกับเรา ซึ่งอาจทำให้ลูกค้ากลุ่มนี้ นำรายได้ไปใช้จ่าย แทนที่จะซื้อสินค้าของเรา โดยคู่แข่งทางอ้อมของผลิตภัณฑ์เยลลี่เหลว คือ เยลลี่อ่อน และเยลลี่แข็งรสชาติต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 ผลิตภัณฑ์คู่แข่งทางอ้อมของผลิตภัณฑ์เยลลี่เหลว

ชื่อผลิตภัณฑ์	รายชื่อแบรนด์	ตลาด/Position product	รูปบรรจุภัณฑ์/ผลิตภัณฑ์	ราคา/หน่วย
ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร เยลลี่คอทเทจ	SC PLUS	ร้านค้าออนไลน์		1 กล่อง/ 590 บาท
Aqua Stick Collagen	Inner B	ร้านขายยา, ห้างสรรพสินค้า, ร้านค้าออนไลน์		1 กล่อง/ 590 บาท
คอลลาเจนเยลลี่สติ๊ก	SG–SAYGOOD.	ร้านขายยา, ห้างสรรพสินค้า, ร้านค้าออนไลน์		1 กล่อง/ 340 บาท
เยลลี่คอลลาเจน	OTSUKA	ร้านขายยา, ห้างสรรพสินค้า, ร้านค้าออนไลน์		1 กล่อง/ 790 บาท
บิวตี้ คอทเทจ ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	ROSE COLLA	ร้านค้าออนไลน์		250 กรัม/ 10 ซอง
ปีโป้เยลลี่	EURO	ห้างสรรพสินค้า		30 ถ้วย/ 25 บาท
เยลลี่คาร์ราจีแนน	อิมพีเรียล	ห้างสรรพสินค้า		30 ถ้วย/ 28 บาท
ขนมพุดดิ้งรวมรส	โอกิโอ	ห้างสรรพสินค้า, ร้านสะดวกซื้อ		270 กรัม/ 55 บาท

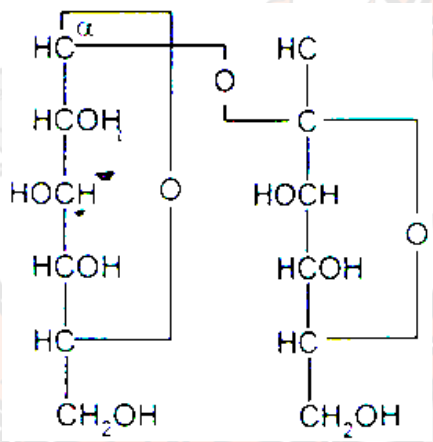
2.3 วัตถุดิบ และกระบวนการผลิตเยลลี่

เยลลี่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำผลไม้ล้วน หรือของเหลวที่สกัดได้จากผลไม้ หรือน้ำผลไม้ล้วนที่ผ่านกรรมวิธี หรือทำให้เข้มข้น หรือแช่แข็ง ซึ่งผ่านการกรอง โดยเป็นผลไม้หนึ่งชนิดหรือมากกว่าหนึ่งชนิด นำมาผสมกับอาหารที่มีคุณสมบัติให้ความหวาน อาจเติมน้ำหรือไม่ก็ได้ แล้วทำให้เป็นเจลข้นเหนียวกึ่งของแข็ง มีลักษณะใสหรือโปร่งใส ทั้งนี้ให้รวมถึงเยลลี่ที่อยู่ในลักษณะแห้งด้วย นอกจากนี้ อาจมีการใช้สมุนไพร เครื่องเทศ ถั่ว ที่มีการใช้เป็นส่วนประกอบในอาหาร รวมถึงเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ น้ำมันหอมระเหย น้ำมันและไขมันพืช (ใช้ป้องกันการเกิดฟอง)เป็นส่วนผสมในแยม เยลลี่และมาร์มาเลดได้ โดยส่วนผสมนั้น ๆ ต้องไม่ปกปิดข้อบกพร่องทางคุณภาพหรือทำให้ผู้บริโภคเข้าใจผิด และมีส่วนผสมของอาหารที่มีคุณสมบัติให้ความหวาน ได้แก่ น้ำตาลทรายขาว น้ำตาลทรายขาวบด น้ำตาลไอซิ่ง น้ำตาลทรายแดงน้ำเชื่อมกลูโคส น้ำเชื่อมกลูโคส น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลที่สกัดจากผลไม้ (Fruit sugar) น้ำเชื่อมฟรุกโตส น้ำตาลทรายแดง หรือ น้ำผึ้ง

เยลลี่ส่วนใหญ่ใช้น้ำตาลทราย หรือซูโครสเป็นสารที่ให้ความหวาน ช่วยให้เพกทินเกิดโครงสร้างเป็นเจล ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณเพกทิน และความเป็นกรดด่างของเนื้อหรือน้ำผลไม้ชนิดนั้น ๆ ถ้าปริมาณเพกทินมาก ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ต่อน้ำหนักของผลไม้ก็มากด้วย ถ้าผลไม้มีความเป็นกรดสูง (เปรี้ยว) ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ต่อน้ำหนักผลไม้หรือน้ำผลไม้ต่ำ ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ไม่ควรสูงกว่า 70 องศาบริกซ์ (วัดโดย Refractometer) นอกจากน้ำตาลซูโครสสารให้ความหวานชนิดอื่น ๆ ที่อนุญาตให้ใช้ในเยลลี่ ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมเยลลี่ (มอก. 236/2521) มีหลายชนิด (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2521) ได้แก่ น้ำตาลอินเวิร์ด (Invert sugar) อินเวิร์ดไซรัป (Invert syrup) เดกซ์โตรส (Dextrose) ฟรักโทสไซรัป (Fructose syrup) กลูโคสไซรัป (Glucose syrup) และดรายกลูโคสไซรัป (Dried glucose syrup) และสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล (Sugar substitute) (กล้าณรงค์ ศรีรอต, 2542) อย่างไรก็ตาม การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่ในงานวิจัยนี้ มีวัตถุดิบดังนี้

2.3.1 น้ำตาล (Sugar) น้ำตาลทรายที่ใช้กันทั่วไปนั้นหมายถึงน้ำตาลซูโครส มีสูตรโครงสร้างโมเลกุล คือ $C_{12}H_{22}O_{11}$ เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (Disaccharide) (ภาพ 3) เกิดจากการจับตัวของน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทส มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 342 ปกติน้ำตาลทรายบริสุทธิ์จะอยู่ในรูปผลึกแบบ Monoclinic ไม่มีสีและมีลักษณะโปร่งแสง เมื่อพืชสังเคราะห์แสงจะสร้างแป้งเพื่อเก็บไว้เป็นอาหาร แต่ในพืชบางชนิดสามารถสังเคราะห์น้ำตาลซูโครสได้ในปริมาณสูงและเก็บไว้ในลำต้น

หรือหัวได้ โดยเฉพาะ *Saccharum officinarum* (อ้อย) หรือพืชหัว *Beta vulgaris* (หัวบีท) เมื่อนำพืชประเภทนี้มาสกัดโดยน้ำ น้ำตาลก็จะละลายออกมาและเมื่อทำการสกัดสิ่งแปลกปลอมออกก็สามารถตกผลึกน้ำตาลออกมาได้ น้ำตาลจัดได้ว่าเป็นวัตถุดิบที่สำคัญมากในอุตสาหกรรมอาหาร นอกจากจะเป็นสารให้ความหวานแล้วยังมีหน้าที่อื่น ๆ ที่ไม่สามารถทดแทนไม่ได้ ทั้งนี้เพราะน้ำตาลมีคุณสมบัติหลายประการ เช่น ความหนืด ความแวววัน เป็นต้น ในประเทศไทยมีการใช้น้ำตาลในอุตสาหกรรมอาหารและยา โดยกลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องดื่มเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้มากที่สุด การนำน้ำตาลไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อที่จะให้ความหวานนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องรู้หลักการหรือคุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ของน้ำตาลและผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต เพื่อจะทำให้สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอต, 2542)



ภาพ 3 โครงสร้างของน้ำตาลซูโครส
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต (2542)

คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำตาล (ซูโครส) คือ ไม่คงตัวในสารละลายที่เป็นกรดจะถูกไฮโดรไลซ์ ได้เป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทส และถ้าได้รับความร้อนสูงถึง 210 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวได้เป็นคาร์ราเมล (Caramel) มีสีน้ำตาล น้ำตาลซูโครสให้ความหวานมีค่าเท่ากับ 100 หน่วย เป็นตัวสร้างความหนืดให้กับอาหาร และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำตาลดังกล่าวยังสามารถแตกตัวได้ โดยการแตกตัวของน้ำตาลซูโครสที่เกิดขึ้นนั้น เนื่องจากน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ ดังนั้นในสภาวะที่มีความร้อนสูง หรือมีสภาพกรดด่างสูง

ก็จะเกิดการแตกตัว ซึ่งสิ่งที่เกิดขึ้นหลังจากการแตกตัวของน้ำตาลซูโครสที่อุตสาหกรรมอาหารมักประสบปัญหามาก คือ การเกิดสี เช่น สีชมพู สีแดง สีน้ำตาล และจะเกิดเหตุการณ์ที่สำคัญ คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจะมากขึ้นกว่าเดิม (กล้าณรงค์ ศรีรอต, 2542) นอกจากนี้น้ำตาลซูโครสยังมีความสามารถในการหยุดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยการเติมน้ำตาลดังกล่าวในอาหาร นอกจากจะเพิ่มแรงตึงผิว และแรงดันออสโมติกแล้ว ยังทำให้ปริมาณน้ำอิสระที่มีอยู่ในอาหารที่รู้จักกันดีในค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Water activity, a_w) ลดลงอีกด้วยโดยค่า a_w ปกติของน้ำจะมีค่าเท่ากับ 1.00 และเริ่มลดลงเมื่อมีตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งการเจริญของจุลินทรีย์จะมีความสัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอคติวิตีดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 ค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำสุดที่จุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ สามารถเจริญเติบโตได้

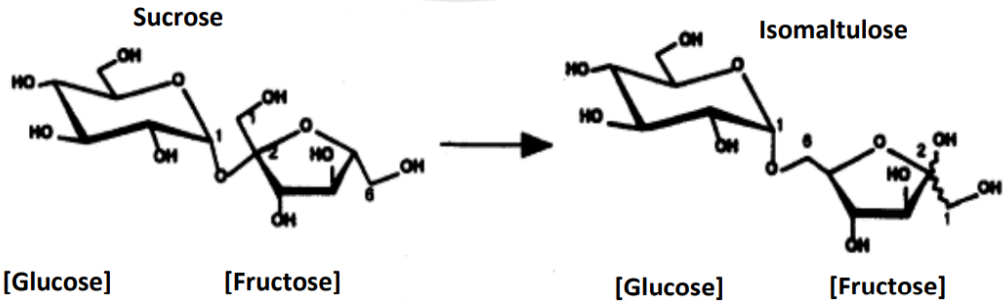
ชนิดของจุลินทรีย์	ค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำสุด
แบคทีเรียทั่วไป (Normal bacteria)	0.91
ยีสต์ทั่วไป (Normal yeasts)	0.88
ราทั่วไป (Normal molds)	0.80
ราที่สามารถทนสภาพแห้งแล้งได้ดี (Xerophilic molds)	0.65
ยีสต์ที่สามารถทนน้ำตาลได้ดี (Osmophilic yeasts)	0.60

ที่มา: Eskin et al. (1971)

2.3.2 สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล (Sugar substitute) ซึ่งมีทั้งแบบให้พลังงาน เช่น ฟรุกโทส มอลทิทอล ซอร์บิทอล และไซลิทอล และแบบไม่ให้พลังงานหรือให้พลังงานต่ำ เช่น ซูคราโลส แอสปาแตม อะซิซัลเฟม–เค แซคคารีนหรือที่เรียกว่าขัณฑสกร และพาลาทีน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลแต่ละชนิดจะมีข้อจำกัดในการใช้ที่แตกต่างกัน เช่น แซคคารีน เมื่อใช้มากมักจะมีรสขม และยังสามารถสะสมในร่างกายทำให้เป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง กลุ่มคนที่จำเป็นต้องใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาล เช่น กลุ่มผู้ป่วยโรคเบาหวาน ความดันโลหิต ที่ต้องควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้สมดุล อีกทั้งยังเป็นทางเลือกของผู้รักสุขภาพและควบคุมน้ำหนัก ในงานวิจัยนี้เลือกใช้พาลาทีนเป็นสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์เยลลี่ เนื่องจากพาลาทีนมีรสชาติหวานหอม อร่อย ให้เนื้อสัมผัสคล้ายน้ำตาล ไม่มีรสขมหรือรสเย็น

เป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคที่รักสุขภาพทุกวัย สามารถเพิ่มความอร่อยให้กับ ขนม อาหาร และเครื่องดื่มไปพร้อม กับการดูแลสุขภาพที่ดี

- พาลาทีน (Palatyne) หรือ น้ำตาลไอโซมอลทูโลส (Isomaltulose) เป็นน้ำตาลที่ผลิตจากอ้อยคุณภาพ ผ่านขั้นตอนการปรับโครงสร้างด้วยเอนไซม์จนได้น้ำตาลที่มีพันธะที่แข็งแรงยิ่งขึ้น เมื่อถูกย่อยและดูดซึมอย่างสมบูรณ์ภายในลำไส้เล็กและแตกตัวเป็นกลูโคสและฟรุกโตส (ภาพ 4) ให้พลังงาน 4 แคลอรีต่อกรัมเช่นเดียวกับซูโครส แต่ด้วยโครงสร้างทางเคมีดังกล่าวทำให้กระบวนการย่อยและการดูดซึมเป็นไปได้ช้ากว่าซูโครส (Manabu et al., 2007) ทำให้น้ำตาลพาลาทีนมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำ (Low Glycemic Index หรือ Low GI) มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำเท่ากับ 38 ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา จัดเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ให้คุณค่าทางโภชนาการ ทำงานโดยการปลดปล่อยพลังงานอย่างช้า ๆ ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดไม่ขึ้นสูงในระยะสั้น ส่วนประกอบหลัก คือ ไอโซมอลทูโลส เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิด ได้แก่ กลูโคสและฟรุกโตส ซึ่งเหมือนกับซูโครส แต่จะต่างกันที่ตำแหน่งของพันธะที่ยึดระหว่างน้ำตาลทั้ง 2 ชนิด ได้รับการประเมินว่าเป็น GRAS (Generally Recognized As Safe) ของสหรัฐอเมริกา ในปี 2549 และผ่านการประเมินว่าเป็น Novel food ของยุโรป ในปี 2546 โดยผ่านการวิจัยทั้งในประเทศ และระดับนานาชาติ ว่าสามารถใช้ผสมอาหารและเครื่องดื่มที่ต้องการค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ ปัจจุบันน้ำตาลไอโซมอลทูโลส ได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่มอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ เพื่อเพิ่มรสชาติให้อาหารและเครื่องดื่ม และเป็นการเพิ่มทางเลือกทางโภชนาการในรูปแบบดัชนีไกลซีมิกต่ำให้กับผู้บริโภคสมัยใหม่ และผู้บริโภคที่ต้องการลดความเสี่ยงต่อโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง และโรคอ้วน เป็นต้น (บัญชีนวัตกรรมไทย, 2561)



ภาพ 4 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของซูโครสเป็นไอโซมอลทูโลสด้วยเอนไซม์

ที่มา: Lina et al., (2002)

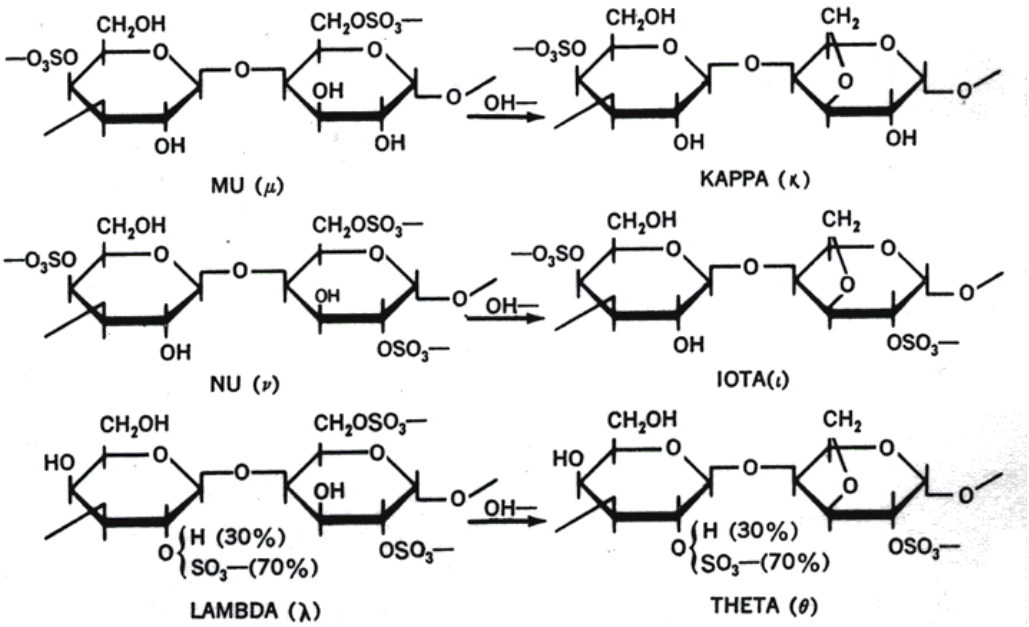
น้ำตาลพาลาทีน ให้ความหวานร้อยละ 50 ของน้ำตาลทราย ทนต่ออุณหภูมิสูง สามารถปรุงอาหารบนเตาร้อนได้ ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้น้ำตาลพาลาทีนร่วมกับน้ำตาลประเภทอื่น ๆ เช่น น้ำตาลที่ให้ความหวานสูง เป็นต้น น้ำตาลพาลาทีน สมีความคงตัวสูงจึงเหมาะกับการแปรรูปอาหารหลากหลายรูปแบบ ช่วยเพิ่มเนื้อสัมผัสให้อาหารและเครื่องดื่ม โดยพาลาทีนมีความคงตัวต่อค่าพีเอชมากกว่า 3.0 และทนอุณหภูมิในการแปรรูปสูงถึง 140 องศาเซลเซียส พาลาทีนจึงจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตคุณภาพสูง ซึ่งมีคุณสมบัติดัชนีไกลซีมิกต่ำ จึงเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ควบคุมน้ำหนัก และลดความเสี่ยงต่อโรคเบาหวานและภาวะแทรกซ้อนต่าง ๆ เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภค อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มที่ต้องการสารให้ความหวานที่ดีต่อสุขภาพ (บัญชีนวัตกรรมไทย, 2561)

2.3.3 สารที่ทำให้เกิดเจล (Gelling agent)

การผลิตเยลลี่สำเร็จรูปในเชิงอุตสาหกรรม มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ กัม (Gums) ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล หรือสารก่อเจล ชนิดของกัมที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ คาร์ราจีแนน เจลาติน และเพกทิน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2534) ในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกคาร์ราจีแนนและกลูโคแมนแนน เป็นสารก่อเจล ซึ่งคุณสมบัติของสารก่อเจลแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันไป ดังนี้

1) คาร์ราจีแนน

คาร์ราจีแนน (Carrageenan) เป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง (Rhodophyceae) ชนิดที่ใช้ผลิตทางการค้า ได้แก่ *Euchema cottonii* และ *E. spinosum* มีโครงสร้างหลักเป็น Galactose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ Glycosidic linkage และเป็น Sulphated polysaccharides ซึ่งคาร์ราจีแนนยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อยอีกหลายชนิดตามจำนวนและตำแหน่งของกลุ่ม Ester sulphate และจำนวน 3,6 anhydro–D–galactose (3,6–AG) ได้แก่ Kappa (κ) Iota (ι) และ Lambda (λ) ซึ่งคาร์ราจีแนน ทั้ง 3 ชนิดนี้ ประกอบด้วยโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์หลักที่ซ้ำกัน หลายหน่วย (ภาพ 5) โดย Unit–B แสดง 1,3–linked galactoside ในขณะที่ Unit A แสดง 1,4–linked galactoside (จักรินทร์ ตรีอินทอง และคณะ, 2559)



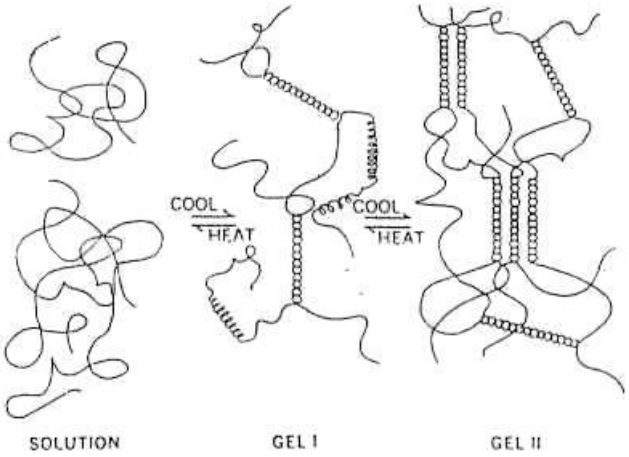
ภาพ 5 หน่วยการทำซ้ำของคาร์ราจีแนน (Repeating units of carrageenan)
ที่มา: Thomas (1992)

1.1) Kappa carrageenan: ประกอบด้วย 1, 3–linked galactoside มีกลุ่ม Sulphate ตำแหน่งที่ 4 และ 1,4–linked 3,6 anhydro–D–galactose (3,6 AG) โดยสารตั้งต้นเป็น Mu–carrageenan ถ้ามีปริมาณ Anhydride จากการปิดวงเป็น 3,6 Anhydride มากถึงร้อยละ 28–35 ทำให้ไวต่อโปแตสเซียมและมีความสามารถในการเกิดเจล ถึงแม้จะมีการดัดแปรให้มี 3,6–AG สูงที่สุด แต่อาจแตกต่างกันที่จำนวนของ Sulphate ที่ตำแหน่งที่ 4 ใน 1, 3–linked galactoside และกลุ่ม Sulphate ที่ตำแหน่งที่ 2 หรือ 6 ใน 1,4–linked galactoside ทำให้ κ–คาร์ราจีแนน มีคุณสมบัติแตกต่างกัน

1.2) Iota carrageenan: ประกอบด้วย 1, 3–linked galactoside มีกลุ่ม Sulphate ตำแหน่งที่ 4 และ 1, 4–linked 3, 6–AG มีกลุ่ม Sulphate ตำแหน่งที่ 2 มีสารตั้งต้นเป็น Nu–carrageenan ความแตกต่างระหว่าง Anhydride ในคาร์ราจีแนนชนิด κ และ ι คือ จำนวนกลุ่ม Sulphate ตำแหน่งที่ 2 ใน 1, 4–linked galactoside ของ Iota จะมีมากกว่า κ ประมาณร้อยละ 25–50 ความไวต่อโปแตสเซียมลดลง ทำให้ได้เจลที่อ่อนนุ่ม ถ้ามี Sulphate ตำแหน่งที่ 2 มากถึงร้อยละ 80 จะไวต่อแคลเซียม

1.3) Lambda carrageenan: ประกอบด้วย 1, 3–linked galactose ซึ่งมีกลุ่ม Sulphate ที่ตำแหน่งที่ 2 ประมาณร้อยละ 70 และ 1, 4–linked galactose มีกลุ่ม Sulphate ตำแหน่งที่ 6 ซึ่งคาร์ราจีแนนชนิดนี้จะไม่เกิดการปิดวงเป็น 3,6 AG ส่งผลทำให้ไม่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล

คาร์ราจีแนนทุกชนิดละลายได้ในน้ำร้อน แต่ถ้าเป็นเกลือ Sodium ของคาร์ราจีแนน ชนิด Kappa และ Iota จะสามารถละลายได้ในน้ำเย็น ขณะที่เกลือของอิออนชนิดอื่น ๆ เช่น โปแตสเซียมหรือแคลเซียม ไม่สามารถละลายได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนคาร์ราจีแนนชนิด Lambda จะละลายได้ในน้ำเย็นโดยไม่ขึ้นกับชนิดของอิออน ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการละลายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคาร์ราจีแนน และอิออนที่เกี่ยวข้อง ส่วนใหญ่คาร์ราจีแนนชนิด Kappa และ Iota ต้องใช้อุณหภูมิในการละลายมากกว่า 70 องศาเซลเซียส นอกจากนี้คาร์ราจีแนนทุกชนิดจะไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายใน Water miscible solvent เช่น Alcohol และ Propylene glycol ได้ คาร์ราจีแนนชนิด Kappa และ Iota มีความสามารถที่จะเกิดเจลได้เมื่อสารละลายของคาร์ราจีแนนเย็นตัวลง ซึ่งเจลเหล่านี้จะเป็น Thermo reversible aqueous gel คือ สามารถที่จะละลายเมื่อได้รับความร้อนและเกิดเจลอีกครั้งเมื่อเย็นตัวลง เมื่อคาร์ราจีแนนละลายน้ำจะเกิดเจล เนื่องจากเกิดการ Form เป็น Double helix ที่อุณหภูมิเหนือจุดหลอมเหลวของเจล อุณหภูมิและการปั่นกวนจะสามารถทำให้ Helices คลายตัวเป็น Random coil เมื่อเย็นตัวลงจะเกิดการสร้าง Polymer net work 3 มิติ แต่ละสายของโพลิเมอร์จะรวมตัวกันเข้าเกิด Junction point (gel I) และเมื่อปล่อยให้เย็นลงอีกจะเกิดการเกาะกันของ Junction point (gel II) มากขึ้น ทำให้เกิดการแข็งตัวของเจล (Rees, 1969) (ภาพ 6) โลหะอิออนจะมีผลต่อการเกิดเจล เช่น **κ**–คาร์ราจีแนน เมื่อเติม K^+ จะเกิด Elastic gel ถ้าเติม Ca^{2+} จะเกิด Rigid gel ส่วน Iota carrageenan เมื่อเติม Ca^{2+} จะเกิด Elastic gel ถ้าผสมคาร์ราจีแนนชนิด Kappa กับ Iota เข้าด้วยกันจะทำให้มีสมบัติในการเกิดเจลได้มากขึ้น เจลที่ได้มี Elastic เพิ่มขึ้นและเกิด Syneresis น้อยลง และนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น Dessert gels Whipped topping และ Fluid milk products



ภาพ 6 กลไกการเกิดเจลของคาร์ราจีแนน

ที่มา: Rees (1969)

ถ้าผสม Locust bean gum ใน κ–คาร์ราจีแนน จะช่วยเสริมให้มี Gel strength เพิ่มขึ้น เปลี่ยนลักษณะเนื้อเจลจากที่เปราะและแตกง่ายเป็นมีความยืดหยุ่นดีและเกิด Syneresis ลดลง อัตราส่วนที่เหมาะสมของ Kappa ต่อ Locust bean gum คือ 2:1 จะทำให้เกิด Gel strength เพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วน 1:4 จะทำให้เกิด Syneresis น้อยที่สุด การนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารต้องทำให้ทั้งคาร์ราจีแนนและ Locust bean gum ละลายให้หมดเสียก่อนที่จะเกิดเจล นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น Fish gels และ Dessert gels แต่การผสม Locust bean gum กับ Iota carrageenan จะไม่มีผลต่อ Gel strength แต่จะมีผลต่ออุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจล (Gelling temperature) และความข้นหนืดของเจล ถ้าผสม Locust bean gum 1 ส่วนกับคาร์ราจีแนนชนิด Iota 10 ส่วน จะช่วยทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิสูงขึ้น และเจลที่ได้มีคุณสมบัติเป็น Pseudoplastic

คาร์ราจีแนนส่วนใหญ่จะคงตัวที่พีเอชเป็นกลางถึงเป็นด่าง ในขณะที่ถ้าพีเอชต่ำจะเกิดการ Hydrolysis ของ Glycosidic linkage มีผลทำให้สูญเสียความหนืดและการเกิดเจล โดยที่ความร้อนยังเป็นตัวเร่งการเกิดไฮโดรไลซ์มากขึ้นที่พีเอชต่ำ คาร์ราจีแนนสามารถนำมาใช้ร่วมกับวัตถุดิบอื่น ๆ ได้ เช่น แป้ง น้ำตาล เนื่องจากคาร์ราจีแนนเป็น Anionic ซึ่งจะเข้ากันได้กับ Anionic อื่น ๆ รวมทั้งกับ Nonionic อย่างไรก็ตามคาร์ราจีแนนจะไม่สามารถเข้ากันกับ Cation เช่น ปฏิกิริยากับ Gelatin และโปรตีนอื่น ๆ (ตาราง 8) การนำคาร์ราจีแนนไปใช้ในอุตสาหกรรมต้องคำนึงถึง Ionic content ของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ด้วย เช่น ใช้คาร์ราจีแนนผสมลงในอาหารที่มีโปรตีน

หมู่ซัลเฟตในโมเลกุลของคาร์ราจีแนน จะทำปฏิกิริยากับหมู่ที่มีประจุในโมเลกุลของโปรตีน เช่น การนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ Calcium fortified milk Chocolate milk Mousse Pudding และ Ice cream เพื่อเป็นสารเพิ่มความคงตัว ช่วยให้ส่วนผสมของไอศกรีมเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่าย และไม่มีส่วนที่เป็นของเหลวแยกตัวออกมา (Whey off) ระหว่างการเก็บรักษา

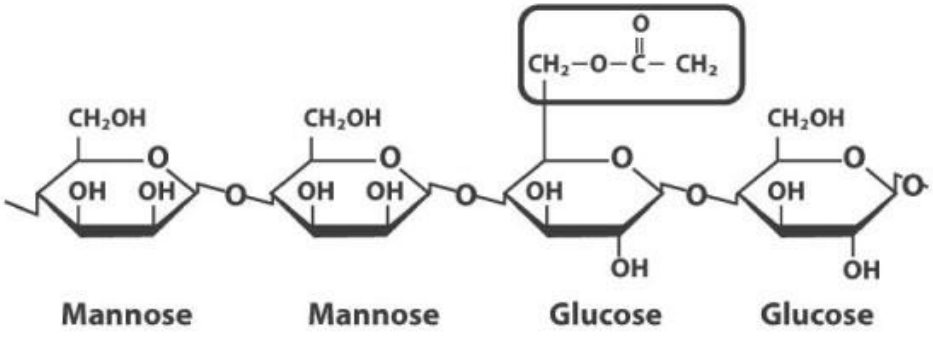
ตาราง 8 คุณสมบัติของคาร์ราจีแนนแต่ละชนิด

คุณสมบัติ		**ชนิดของคาร์ราจีแนน**		
		Kappa	**Iota**	**Lambda**
การละลาย	–ในน้ำ (80°C)	ละลายได้	ละลายได้	ละลายได้
	–ในน้ำ (20°C)	ละลายได้	ละลายได้	ละลายได้
	–ในนม (80°C)	ละลายได้	ละลายได้	ละลายได้
	–ในนม (20°C)	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ข้นแข็งตัว
	–สารละลายน้ำตาล	ละลายขณะร้อน	ไม่ละลาย	ละลาย
	–สารละลายเกลือ	ไม่ละลาย	ละลายขณะร้อน	ละลายขณะร้อน
การเกิดเจล	–Gel แข็งที่สุด	เกิดเจลกับ K^+	เกิดเจลกับ Ca^+	ไม่เกิดเจล
	–Gel Texture	เปราะแตกง่าย	ยืดหยุ่น	ไม่เกิดเจล
	–Syneresis	คายน้ำได้	ไม่คายน้ำ	ไม่คายน้ำ
	–F/T stability	ไม่คงตัว	คงตัว	คงตัว
	–ความคงทนต่อกรด	คงทน	คงทน	คงทน
	–ความต้านทานเกลือ	ต้านทานได้น้อย	ต้านทานได้ดี	ต้านทานได้ดี
การเสริม	–โลคัสบีนกัม	เสริม	ไม่เสริม	ไม่เสริม
ประสิทธิภาพ	–กลูโคแมนแนนจากบุก	เสริม	เสริม	ไม่เสริม
	–สตาร์ช	ไม่เสริม	เสริม	ไม่เสริม

ที่มา: Thomas (1992)

2) กลูโคแมนแนน

กลูโคแมนแนน (Glucomannan) พบมากในหัวบุก *Amorphophallus konjac* ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวกันของน้ำตาลกลูโคส (Glucose) และน้ำตาลแมนโนส (Mannose) จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดเฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) ที่มีลักษณะเป็นใยอาหาร (Dietary fiber) มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดีมาก น้ำหนักโมเลกุลสูง มีความหนืดมากที่สุดในกลุ่มใยอาหาร และสามารถทำให้เกิดเจลที่คงตัวต่อความร้อนได้ (Anon, 2002) โครงสร้างของกลูโคแมนแนนประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลแมนโนส (Mannose) และน้ำตาลกลูโคส (Glucose) ในอัตราส่วน 3:2 เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β1,4–linked D–mannose and D–glucose และมี Acetyl groups กระจายอยู่ประมาณ 1 ใน 5 ของน้ำตาลที่เหลือ (จิราภรณ์ สอดจิตร์, 2543) ดังแสดงในภาพ 7



ภาพ 7 โครงสร้างของกลูโคแมนแนน
ที่มา: Anon (2002)

โดยทั่วไปสามารถนำกลูโคแมนแนนไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ทำให้เกิดเจล (Gelling agent) ให้ความข้นหนืด (Thickener) สารทำให้เกิดฟิล์ม (Film former) สารทำให้คงตัว (Stabilizer) และเป็นแหล่งของใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ซึ่งมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมผลิตอาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์นม ลูกกวาดและขนมหวาน ขนมขบเคี้ยว อาหารแช่เย็นหรือแช่เยือกแข็ง และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เป็นต้น พบว่าในประเทศญี่ปุ่นมีการนำกลูโคแมนแนนมาใช้ร่วมกับ κ–คาร์ราจีแนน ไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ขนมเยลลี่ เนื่องจากให้เจลที่มีความยืดหยุ่นสูง (Lida et al., 1993) ประเทศไทยนิยมรับประทานบุกตรงส่วนของก้านใบ หรืออาจจะเรียกว่าต้น

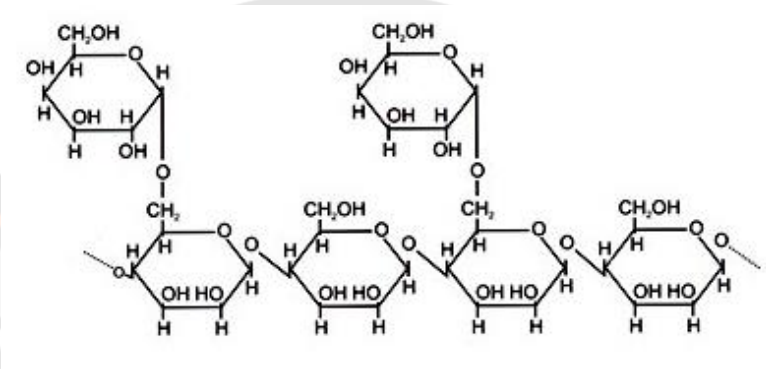
เพราะบุกก็เหมือนกับหัวมัน คือ มีลำต้นอยู่ใต้ดิน ส่วนที่โผล่ขึ้นมาเป็นก้านใบทั้งนั้น แต่ชาวบ้านโดยทั่วไปเรียกว่า “ต้น” สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด จะใช้ส่วนหัวของบุกมาทำอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งบุกสายพันธุ์ “บุกไข่” เพราะบุกสายพันธุ์อื่นไม่มีกลูโคแมนแนน ส่วนวิธีการรับประทานอาจจะแปรรูปได้หลายรูปแบบ มีทั้งลักษณะที่เป็นเส้นแทนเส้นก๋วยเตี๋ยวทำเป็นชิ้นเป็นแผ่น และเป็นก้อนบรรจุขายสำเร็จรูป เวลารับประทานนำเอาไปล้างน้ำหลาย ๆ ครั้ง และนำมาทำเป็นอาหารได้หลายชนิด เช่น ทำเป็นของหวาน เครื่องดื่มชนิดร้อนและเย็น ในด้านใยอาหารที่มีอยู่สามารถดูดน้ำได้มาก ทำให้น้ำหนักใยอาหารเพิ่มขึ้น มีประโยชน์ต่อสุขภาพทำให้ลำไส้ใหญ่บีบตัวได้มากขึ้น แบคทีเรียในลำไส้ใหญ่จะช่วยย่อยใยอาหาร ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซมีเทน และกรดไขมันที่มีโมเลกุล ขนาดสั้นมีผลทำให้ลำไส้ใหญ่บีบตัวได้มากขึ้น อาหารผ่านไปสู่ทวารหนักได้เร็วขึ้นทำให้ไม่มีกากใยตกค้างอยู่ในลำไส้ นอกจากนี้ บุกยังช่วยชะลอสารพิษต่าง ๆ ในร่างกายได้รวมทั้งสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในอาหาร มีโอกาสสัมผัสกับเยื่อบุลำไส้น้อยลงโอกาสที่สารพิษจะทำลายเยื่อบุลำไส้ก็น้อยลงด้วย ดังนั้น จึงมีความเชื่อกันว่าการกินใยอาหารมากอาจจะป้องกันโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่ได้

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของวุ้นบุก พบว่า วุ้นบุกไม่มีการให้พลังงานแคลอรีแก่ร่างกาย เนื่องจากไม่มีการย่อยสลายเป็นน้ำตาลในร่างกาย และไม่มีวิตามิน ไม่มีแร่ธาตุ หรือ สารอาหารใด ๆ ที่เป็นประโยชน์ในระบบการสร้างเซลล์ของร่างกาย ดังนั้น เมื่อเทียบคุณค่าทางอาหารของวุ้นบุกกับข้าว พบว่า ข้าวมีแคลอรีสูงกว่าวุ้นบุกถึง 10 เท่า ข้อควรระวังในการบริโภควุ้นบุก เนื่องจากวุ้นบุกสามารถขยายตัวได้มาก ไม่ต่ำกว่า 20 เท่า ของเนื้อวุ้นแห้ง ดังนั้น จึงไม่ควรบริโภควุ้นบุกภายหลังอาหาร ควรบริโภคก่อนอาหารไม่น้อยกว่า 30 นาที แต่การบริโภคอาหารที่ผลิตจากวุ้น เช่น วุ้นเส้น วุ้นก้อน หรือแท่งนั้น สามารถบริโภคเป็นอาหารได้ เพราะได้ผ่านกรรมวิธีขยายตัวก่อนแล้ว การที่ก้อนวุ้นจะพองตัวได้อีกนั้นจะเป็นไปได้น้อยมาก (ทิพย์วัลย์ สุกุมลนันท์, 2548)

3) โลคัสบีนกัม

โลคัสบีนกัม (Locust bean gum) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ประเภท Polysaccharide ที่เป็น Heteropolysaccharide Locust bean gum ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (Food additive, มี E–number คือ E 410) เป็นกัมสกัดได้จากเนื้อในเมล็ด (Endosperm) ของต้น Carob (*Ceratonia silliqua*) บางครั้งเรียกว่า Carob seed gum ต้น Carob เป็นพืชที่ปลูกในแถบเมดิเตอร์เรเนียน โมรอคโค และโปรตุเกตุ

Locust bean gum เป็น Polysaccharide ประเภท Heteropolysaccharide โครงสร้างโมเลกุลของ Locust bean gum เป็นพอลิเมอร์สายยาว ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิด คือ น้ำตาลแมนโนส (Mannose) เป็นส่วนที่เป็นสายหลัก สลับกับน้ำตาลกาแล็กโทส (Galactose) ที่เป็นกิ่งแขนงสายหลักของน้ำตาล mannose ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ชนิดบีตา–1,4 และมีกิ่งแขนงของ Galactose ต่อกันด้วยพันธะชนิดแอลฟา–1,6 โดยอัตราส่วนของ Mannose ต่อ Galactose เป็น 4:1 (Stowell, 2009) ดังแสดงในภาพ 8



ภาพ 8 โครงสร้างของโลคัสบีนกัม
ที่มา: Stowell (2009)

โลคัสบีนกัมไม่ละลายในน้ำเย็น แต่พองตัวได้สามารถละลายได้ดีในน้ำร้อน จะให้สารละลายที่มีความหนืดสูงที่สุดเมื่อรับความร้อนสูงถึง 95 องศาเซลเซียส ไม่สามารถเกิดเจล (Gel) ได้ ต้องนำมาผสมกับแซนแทนกัม (Xanthan gum) จึงจะทำให้เกิดเจลได้ หรืออาจผสมรวมกับ κ–คาร์ราจีแนน จะช่วยเพิ่ม Gel strength และลดการเกิด Syneresis โลคัสบีนกัมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด ได้แก่ อาหารกระป๋อง ซอส ขนมหวาน เนยแข็ง ไอศกรีม เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ใช้ในอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยอาจทำหน้าที่เป็น Thickening agent Emulsifier Stabilizing agent หรือ Anti–caking agent ช่วยเร่งให้เกิดการตกตะกอนเคซีน (Casein) ในเนยแข็งให้เร็วขึ้น และทำให้ได้เนื้อตะกอนของเนยแข็งเพิ่มมากขึ้น ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizing agent) ในไอศกรีม และเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulifier) ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อเนียน ใช้โรยเบ้า (Mould) สำหรับผลิต Gum drops หรือ Jelly candies ในลูกอม ลูกกวาด (Stowell, 2009)

2.3.4 ใยอาหาร

ใยอาหาร (Dietary fiber) คือส่วนของพืช ที่ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แบ่งเป็น 2 ชนิดตามการละลายน้ำ คือ 1) ใยอาหารละลายน้ำ ได้แก่ กัม (Gums) เพคทิน (Pectin) มิวซิเลจ (Mucilage) เฮมิเซลลูโลสแบบเอ (Hemicelluloses, A) พบในถั่วแดง ผลไม้ เช่น ส้ม ฝรั่ง แอปเปิ้ล ลูกพรุน และสตรอเบอร์รี เป็นต้น ใยอาหารชนิดนี้จะมีความหนืด ทำให้อาหารอยู่ในกระเพาะนานขึ้น ช่วยควบคุมระดับกลูโคส และไขมันในเลือด ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด และจะถูกหมักได้ดีในลำไส้ใหญ่ ทำให้เกิดกรดไขมันสายสั้นและแก๊สต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน เป็นต้น ซึ่งประโยชน์ของกรดไขมันสายสั้น คือ ให้พลังงาน ลดปริมาณแอมโมเนียและยูเรีย ส่งเสริมการดูดซึมแคลเซียม ควบคุมการเคลื่อนไหวของกระเพาะและลำไส้ กระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์เยื่อบุผิวลำไส้ใหญ่ ลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งของลำไส้ใหญ่ ช่วยในกระบวนการเมทาโบลิซึมของกลูโคสและไขมัน และทำให้เกิดความสมดุลของแบคทีเรียในลำไส้ อย่างไรก็ตาม การรับประทานมากเกินและติดต่อกันเป็นเวลานานอาจทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารต่าง ๆ โดยเฉพาะวิตามินและแร่ธาตุบางชนิดน้อยลงได้ และ 2) ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลสแบบบี (Hemicelluloses, B) และลิกนิน (Lignin) พบในรำ ธัญพืช ผัก ถั่วเปลือกแข็ง เผือก มัน และขนมปังโฮลวีท เป็นต้น ใยอาหารชนิดนี้ จะถูกหมักได้น้อยมากหรือไม่ได้เลยในลำไส้ใหญ่ มีคุณสมบัติพองตัว ดูดซับน้ำได้ ทำให้รู้สึกอิ่มเร็ว กระตุ้นการทำงานของลำไส้ให้มีการบีบตัว ช่วยเพิ่มปริมาณอุจจาระทำให้อ่อนนุ่ม อุจจาระถี่ขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เป็นโรคท้องผูกและริดสีดวงทวาร (Dorez et al., 2014)

ใยอาหารชนิดต่าง ๆ จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันทางฟิสิกส์ เคมีและสรีรวิทยา โดยมีคุณสมบัติโดยรวมคือ มาจากพืชเป็นคาร์โบไฮเดรตหรือมาจากคาร์โบไฮเดรตยกเว้นลิกนิน คงทนต่อขบวนการ Hydrolysis โดยเอนไซม์ในลำไส้ของมนุษย์และสามารถผ่านไปถึงลำไส้ใหญ่ในสภาพที่ยังปรกติโดยที่บางส่วนอาจถูก Hydrolyses และถูก Ferment ด้วยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ ใยอาหารแต่ละชนิดมีความสามารถมากน้อยแตกต่างกันในด้านต่าง ๆ คือ การละลายน้ำ ความหนืด ความสามารถในการจับน้ำไว้ความสามารถในการจับกับแร่ธาตุและสารอินทรีย์ต่าง ๆ ใยอาหารมีประโยชน์ในการควบคุมระดับกลูโคสและไขมันในเลือด ช่วยป้องกันและรักษาอาการ ท้องผูกและท้องเสีย ช่วยป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ ช่วยเพิ่มภูมิต้านทานโรค ช่วยทำให้เยื่อบุผิวของลำไส้แข็งแรง ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการทำหน้าที่ของแบคทีเรียชนิดดีในลำไส้ใหญ่ มนุษย์ควร

รับประทานใยอาหารหลาย ๆ ชนิด ร่วมกันเพื่อให้ได้ประโยชน์ดังกล่าว ถ้ารับประทานใยอาหารในปริมาณมาก จะลดการดูดซึมแร่ธาตุบางชนิด เช่น แคลเซียม เป็นต้น (ประสงค์ เทียนบุญ, 2558)

หยาดฝน ทะนงการกิจ (2557) รายงานว่าใยอาหารแต่ละชนิดจะมีสมบัติเชิงหน้าที่แตกต่างกัน ดังนั้นสมบัติเชิงหน้าที่ของพืชแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนระหว่างใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและใยอาหาร ละลายน้ำของพืชชนิดนั้น นอกจากนี้ขนาดของอนุภาคของใยอาหารและวิธีการสกัดใยอาหารก็มีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารเช่นกัน โดยดัชนีที่สามารถบ่งบอกถึงสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญของใยอาหารมีดังนี้

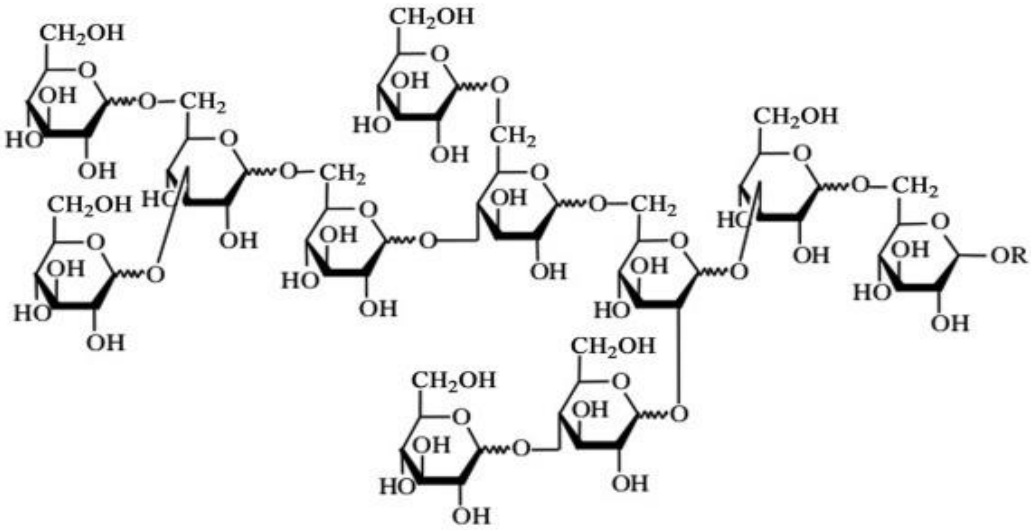
– ความสามารถในการจับน้ำ (Hydration properties) เป็นสมบัติของใยอาหารที่บ่งบอกสามารถในการเก็บกักน้ำไว้ภายในโครงสร้างของเส้นใยเนื่องจากเส้นใยมีองค์ประกอบของโพลีแซคคาไรด์ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีหมู่ ไฮดรอกซีอิสระเป็นจำนวนมากจึงสามารถสร้างพันธะกับไฮโดรเจนและน้ำได้ เส้นใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายน้ำไม่ได้และละลายน้ำได้จึงสามารถอุ้มน้ำไว้ได้ ดัชนีที่สามารถใช้สำหรับบ่งชี้สมบัติการจับน้ำได้แก่ สมบัติการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการจับน้ำ (Water binding capacity) การพองตัว (Swelling) และความสามารถในการละลาย โดยสมบัติในการจับน้ำจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายน้ำ เช่น เซลลูโลสและลิกนินจะมีสมบัติในการอุ้มน้ำต่ำจึงไม่สามารถละลายน้ำได้ ส่วนเพคติน กัม และมิวซิเลจส์ มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงจึงละลายน้ำได้ง่าย

– ความสามารถในการจับน้ำมัน (Oil–binding capacity) เป็นคุณสมบัติของใยอาหารที่ใช้แสดงค่าความสามารถในการจับน้ำมันไว้ในโครงสร้างของใยอาหาร ใยอาหารที่มีโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ เช่น อัลจิเนต กัม และเพคติน เป็นต้น จะสามารถจับกับน้ำมันได้ดี จึงมักถูกนำมาใช้ในการเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันในอาหาร

– ความสามารถในการดูดซับน้ำตาล (Glucose adsorption capacity) และความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาล (Glucose retardation index) โดยความสามารถในการดูดซับน้ำตาลสามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณของน้ำตาลที่ใยอาหารดูดซับไว้หลังจากที่สภาวะสมดุล ค่านี้มักจะใช้ในการแสดงถึงพฤติกรรมของใยอาหาร ในการดูดซับน้ำตาลเมื่ออยู่ในลำไส้ ส่วนความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาลเป็นค่าที่ใช้ในการทำนายถึงการดูดซับน้ำตาลของใยอาหารในทางระบบทางเดินอาหารที่เวลาต่าง ๆ

– การชะลอการจับกับกรดน้ำดี (Bile acid retardation index) เป็นดัชนีที่ใช้ในการบ่งบอกถึงผลของใยต่ออาหารต่อการลดคอเลสเตอรอลเนื่องจากว่ากรดน้ำดีเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการย่อยไขมันในลำไส้เล็ก สมบัติในการดูดซับกรดน้ำดีของใยอาหารจะสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการลดคอเลสเตอรอล เนื่องจากการจับตัวกันระหว่างใยอาหารกับน้ำดีซึ่งมีส่วนประกอบของคอเลสเตอรอลอยู่ ทำให้น้ำดีถูกขับออกสู่ระบบร่างกายโดย การขับถ่าย พร้อมกับใยอาหาร เมื่อน้ำดีถูกขับออกนอกร่างกาย ร่างกายจึงนำคอเลสเตอรอลมาแทนที่น้ำดี จึงทำให้คอเลสเตอรอลลดลง จากการศึกษาพบว่าลิกนินจะดูดซับกรดน้ำดีได้มากกว่าเพคติคและเซลลูโลส

Mark (2012) รายงานว่ากลางปี 1960 Hans Rennhard นักวิจัยบริษัท Pfizer ผลิตโพลีเมอร์ที่ประกอบด้วยกลูโคสร้อยละ 89 ซอร์บิทอลร้อยละ 10 และกรดซิตริกร้อยละ 1 โดยสารนี้มีคุณสมบัติเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble fiber) จากนั้นจึงได้จดอนุสิทธิบัตรปี ค.ศ. 1973 และองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาได้รับรองสารนี้ในปี ค.ศ. 1981 โดยมีชื่อคือ โพลีเด็กส์โตรส (Polydextrose) (ภาพ 9) และได้มีการศึกษาถึงความปลอดภัยและประโยชน์ของสารนี้ต่อระบบการย่อยอาหาร จากการที่สารโพลีเด็กส์โตรสให้พลังงานเพียง 1 กิโลแคลอรีต่อกรัม จึงนิยมนำสารนี้มาใช้เป็นสารช่วยในกระบวนการแปรรูปอาหารได้หลายอย่าง เช่น เพิ่มสัดส่วนของสารที่ไม่ใช่ใยอาหาร รวมทั้งใช้ทดแทนน้ำตาล แป้งและไขมันบางส่วน นอกจากนั้นยังช่วยทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ลดพลังงานทั้งเครื่องดื่ม เค้ก ขนมหวาน ซีเรียลอาหารเช้า ขนมหวานแช่เยือกแข็ง พุดดิ้ง และน้ำสลัด รวมทั้งผลิตภัณฑ์แคลอรี่ต่ำและปราศจากน้ำตาล สารโพลีเด็กส์โตรสทางการค้าในปัจจุบันมีการผลิตจากหลายบริษัทในชื่อทางการค้า เช่น Sta–Lite โดย Tate & Lyle, Litesse โดย Danisco, Kan จาก DuPont Nutrition and Health และ Trimcal จาก C&H Ingredients เป็นต้น (Mark, 2012) นอกจากนี้ ยังสามารถใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณในผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารให้ความหวานหลายเท่าของน้ำตาลซูโครส เนื่องจากจำเป็นต้องมีการเติมสารเพิ่มปริมาณลงในผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ในสูตรเท่าเดิม ซึ่งจัดเป็นวัตถุเจือปนอาหาร (Food additive) ที่ช่วยเพิ่มเนื้ออาหาร (ยกเว้น อากาศ และน้ำ) โดยไม่มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส เช่น เพิ่มความข้นหนืดให้กับไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมเนื้อเนียน ไม่หยาบเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ช่วยในการปล่อย (Release) กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เมื่อรับประทาน ทำให้ได้กลิ่นรสที่ชัดเจนขึ้น (Stowell, 2009)



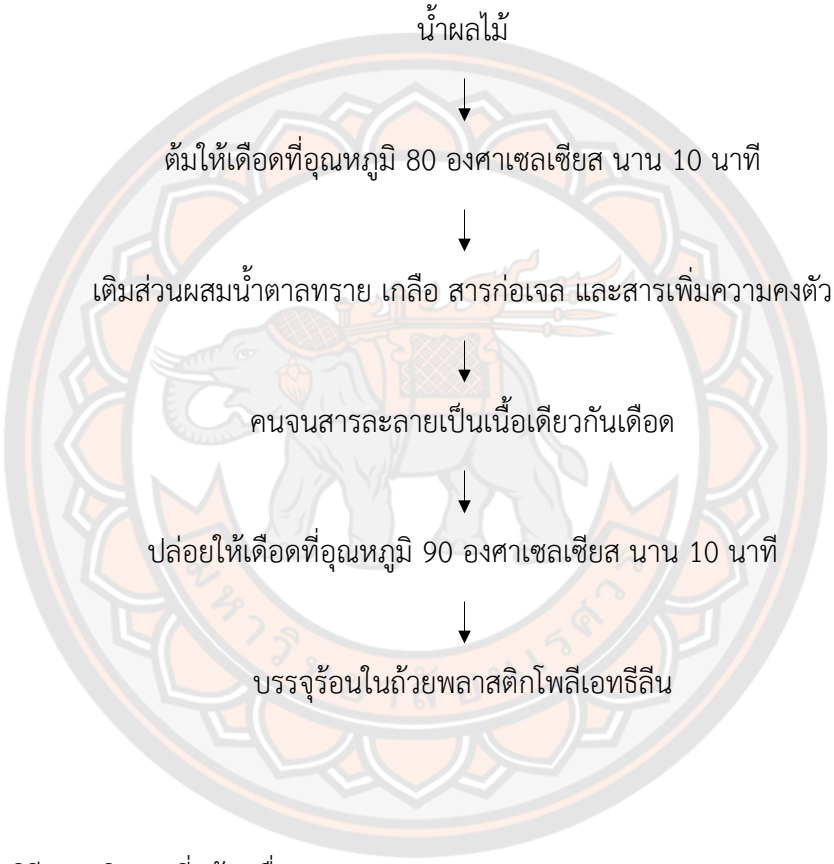
ภาพ 9 โครงสร้างของโพลีเด็กส์โตรส

ที่มา: Stowell (2009)

โพลีเด็กส์โตรสสามารถนำไปใช้ได้ง่ายจึงเป็นสารที่น่าสนใจของผู้ประกอบการผลิตอาหาร และจากการที่สารนี้เป็นสารเคมีสังเคราะห์จึงมีความทนทานกว่าสารจากธรรมชาติ โดยรสชาติที่สะอาด (Clean) และไม่ให้ความหวาน (ให้พลังงานต่ำ) ไม่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์โดยไม่ทำให้กลิ่นรสเปลี่ยนแปลงไป และจากการที่สารนี้มีความสามารถละลายน้ำได้ดี ให้ความใสและมีสมบัติการไหลใกล้เคียงกับน้ำตาลซูโครส ทำให้โพลีเด็กส์โตรสถูกนำไปใช้ได้หลากหลาย โดยให้เนื้อสัมผัสอาหารที่ดีในของเหลว รวมทั้งน้ำนมและโยเกิร์ต ซอสและน้ำสลัดโดยทำให้ผลิตภัณฑ์มีพลังงานต่ำจากการลดการใช้ไขมันและน้ำตาล ซึ่งโดยทั่วไปแล้วผู้บริโภคไม่ต้องการรสชาติของใยอาหาร แต่ต้องการลักษณะเนื้อสัมผัสที่เนียนนุ่มและคงตัว ซึ่งสมบัติดังกล่าวนี้เป็นกุญแจสำคัญของการผลิตสูตรอาหารเพื่อผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ จากการที่โพลีเด็กส์โตรสถูกย่อยได้เพียงบางส่วนโดยให้พลังงานเพียงร้อยละ 25 ของน้ำตาล (1 kcal/g ในขณะที่น้ำตาล 4 kcal/g) และร้อยละ 11 ของไขมัน (ไขมัน 9 kcal/g) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่ผลิตภัณฑ์สามารถลดพลังงานได้ถึงร้อยละ 50 โดยไม่มีผลต่อรสชาติและคุณภาพในการรับประทาน (Raninen et al., 2011)

2.4 กระบวนการผลิตเยลลี่

ขั้นตอนการผลิตเยลลี่ จะต้องมีการเตรียมน้ำผลไม้เข้มข้น หรือนำผลไม้พร้อมดื่ม จากวัตถุดิบที่มีความสด และสะอาด จากนั้นนั้นไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อน และผสมสารก่อเจลกับน้ำตาลทรายที่มีปริมาณพอเหมาะ ทำเยลลี่สามคุณลักษณะของเนื้อสัมผัส และรสชาติตามต้องการ กระบวนการผลิตเยลลี่ดังแสดงในภาพ 10



ภาพ 10 วิธีการผลิตเยลลี่พร้อมดื่ม

ที่มา: ดัดแปลงจาก Novelina et al., (2016)

2.5 การเสื่อมเสียของเยลลี่

การเสื่อมเสียของเยลลี่ คือ การเสื่อม หรือ การลดลงของคุณภาพทางด้านกายภาพ เช่น สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้อาหารไม่เป็นที่ต้องการ ไม่ปลอดภัย หรือไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (สุวรรณา สุภิมารส, 2543) สาเหตุของการเสื่อมเสียของเยลลี่นั้นสามารถเกิดได้ดังนี้

2.5.1 เนื้อผลิตภัณฑ์ขุ่น เกิดจากการใช้ให้ไฮโดคอลลอยด์ที่มีคุณภาพต่ำ หรือละลายไฮโดคอลลอยด์ไม่สมบูรณ์ หรือมีฟองอากาศอยู่มาก แก้ไขได้โดยใช้น้ำในการละลายไฮโดคอลลอยด์เพิ่มขึ้น หรือใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อช่วยกรดละลาย และเลือกใช้ไฮโดรคอลลอยด์ที่มีคุณภาพดีและใช้น้ำที่ไม่กระด้าง

2.5.2 มีผลึกน้ำตาลเกิดขึ้น เพราะมีปริมาณของแข็งมากเกินไป แก้ไขได้โดยต้องพยายามลดปริมาณของแข็งทั้งหมดเพื่อลดการอิ่มตัว

2.5.3 ผลิตภัณฑ์เกิดเชื้อราหรือยีสต์ขึ้น สาเหตุอาจจะมาจากการที่โรงงานมีการสุขาภิบาลไม่ดี มีฝุ่นละออง สิ่งสกปรก ซึ่งอาจจะรวมถึงสปอร์ของเชื้อราตามซอกของห้องที่ใช้งาน หรืออาจจะติดมากับเศษที่นำมาเข้ากระบวนการใหม่ หรือมาจากบรรยากาศรอบ ๆ ที่มีความชื้น เมื่อมีลมพัดผ่านจึงเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำบนผลิตภัณฑ์ หรืออาจเกิดเมื่อบรรจุในถุง และอาจเกิดจากการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตไม่เพียงพอ จึงทำให้เกิดเชื้อราหรือยีสต์ขึ้น

2.5.4 ผลิตภัณฑ์เหนียวเยิ้มหรือมีน้ำแยกออกมา เกิดจากการที่ผลิตภัณฑ์มีน้ำตาลรีดิวซ์มากเกินไป ความเป็นกรดแปรปรวนมาก โดยเฉพาะกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำผลไม้ตามธรรมชาติ หรือปริมาณของแข็งไม่ถูกต้อง และอาจมีเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยไฮโดรคอลลอยด์ได้ปนเปื้อนลงไป

2.5.5 ผลิตภัณฑ์แข็งกระด้างหรือเหนียวแข็ง มีสาเหตุมาจากปริมาณของแข็งสูงเกินไป หรือใช้ไฮโดรคอลลอยด์ผิดเกรด และอาจใช้มากเกินไป ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนิ่มและจนเกินไป จึงทำให้ไม่น่ารับประทาน เกิดจากการต้มลิเคอร์นาน หรือใช้กรดมากเกินไป ในส่วนที่เกี่ยวกับไฮโดรคอลลอยด์ อาจจะใช้ตัวที่มีคุณภาพต่ำ ละลายไม่หมดหรือใช้น้อยเกินไป ปัญหาการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เยลลี่ ดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 ปัญหาในการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เยลลี่

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
การเกิดผลึก	1. น้ำตาลมากเกินไป	– ใช้ส่วนผสมอย่างถูกต้อง
	2. น้ำตาลไม่ละลาย	– ละลายน้ำตาลให้หมดก่อนผสม
	3. ให้ความร้อนนานเกินไป	– ให้ความร้อนอย่างรวดเร็วขณะต้ม
		– หยุดให้ความร้อนทันที เมื่อถึงจุดเกิดเจล

ตาราง 9 (ต่อ)

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
การเกิดฟองอากาศ	1. อากาศถูกจับในเยลลี่ร้อน 2. เกิดจาการเสื่อมเสีย	– กำจัดฟองอากาศออกจากเยลลี่ – ทำตามหลักการที่ดีในการผลิต
นิ่มเละจนเกินไป	1. ให้ความร้อนเกินไป 2. ใช้น้ำผลไม้มากเกินไป 3. ปริมาณน้ำผลไม้ไม่เหมาะสม 4. ปริมาณน้ำตาลไม่เหมาะสม	– หลีกเลี่ยงการให้ความร้อนมากเกินไป เพราะทำให้ความสามารถในการเกิดเจลต่ำลง – ทำตามสัดส่วนที่กำหนด
เกิดเชื้อรา และการหมัก	1. ยีสต์และราเจริญ 2. ปิดไม่ดี 3. เก็บรักษาไม่ดี	– ฆ่าเชื้อภาชนะให้ดี – ใช้ฝาปิดใหม่ และตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีรอยรั่ว หรือผิดสิ่งปกติ – เก็บในที่แห้ง – ควรเก็บในตู้เย็นหลังจากที่เปิดแล้ว

ที่มา: สุวรรณา สุภิมารส (2543)

2.6 ประเภทของอาหารตามพระราชบัญญัติอาหารที่เกี่ยวข้องกับเยลลี่

จากพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 พร้อมกฎกระทรวง และประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับปรับปรุง ปี 2560) สามารถแบ่งประเภทของอาหารออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

2.6.1. อาหารกึ่งสำเร็จรูป หมายความว่า อาหารที่ผ่านกรรมวิธีและปรุงแต่งมาบ้างแล้ว และใช้รับประทานหลังจากผ่านวิธีการอย่างง่าย ๆ และใช้เวลาสั้นโดยการเติมน้ำร้อน การต้ม หรือการเติมอาหารอื่นลงไป ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 210 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2543ก)

2.6.2. อาหารพร้อมปรุง หมายความว่า อาหารที่ได้จัดเตรียมส่วนประกอบต่าง ๆ บรรจุไว้ในภาชนะที่พร้อมจำหน่ายโดยตรงต่อผู้บริโภค เพื่อนำไปปรุงเป็นอาหารชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 237 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2544)

2.6.3. อาหารสำเร็จรูปที่พร้อมบริโภคทันที หมายความว่า อาหารที่ผลิพร้อมบริโภคที่บรรจุในภาชนะพร้อมจำหน่ายได้ทันที ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 237 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2544)

2.6.4. อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท หมายความว่า

1) อาหารผ่านกรรมวิธีที่ใช้ทำลายหรือยับยั้งการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ด้วยความร้อนภายหลังหรือก่อนการบรรจุหรือปิดผนึก ซึ่งเก็บรักษาไว้ในภาชนะบรรจุปิดสนิทเป็นโลหะ หรือวัตถุอื่นที่คงรูปสามารถป้องกันมิให้อากาศภายนอกเข้าไปได้ และสามารถเก็บรักษาได้ในอุณหภูมิปกติ

2) อาหารในภาชนะบรรจุชนิดลามิเนต (Laminate) ฉาบ เคลือบ อัด หรือติดด้วยโลหะหรือสิ่งอื่นใด หรืออาหารในภาชนะบรรจุที่เป็นขวดแก้วที่ฝามียางหรือวัสดุอื่นผนึก หรืออาหารในภาชนะบรรจุอื่น ซึ่งสามารถป้องกันมิให้ความชื้นหรืออากาศผ่านซึมเข้าภายในภาชนะบรรจุได้ในภาวะปกติ และสามารถเก็บรักษาไว้ได้ในอุณหภูมิปกติ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 355 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2556)

ดังนั้น จากการศึกษาข้างต้นเยลลี่จึงจัดเป็นอาหารสำเร็จรูปพร้อมบริโภคทันที ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 237 และประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 213 เรื่อง แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2543ข, 2544) และสามารถจัดเป็นอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 355 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2556) โดยการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเป็นอาหารอาหารสำเร็จรูปพร้อมบริโภคทันที ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 237 โดยหมายถึง อาหารที่ผลิตเรียบร้อยพร้อมบริโภคที่บรรจุในภาชนะพร้อมจำหน่ายได้ทันที (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2544) และตามบัญชีหมายเลข 2 มาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ผลิตภัณฑ์ที่ 9.1 ผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคชนิดเหลวที่มีพีเอช ≥ 4.3 เฉพาะที่ผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนโดยวิธีพาสเจอร์ไรส์หรือกรรมวิธีอื่นที่เทียบเท่า กลุ่ม 1) เครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท แนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ. 2556 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2563) ทั้งนี้ข้อกำหนดคุณภาพของเยลลี่ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทยดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 ข้อกำหนดคุณภาพของเยลลี่ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข

คุณลักษณะที่ตรวจสอบ	มผช. 518/2547ก	ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 237 และ 416
ค่า L*	–	–
ค่า a*	–	–
ค่า b*	–	–
ค่า C*	–	–
ค่า *h* (degree: *h*°)	–	–
ค่าความแข็งเจล Hardness (N)	–	–
ความยืดหยุ่นของเจล (%)	–	–
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี	–	–
การขับน้ำออกจากเจล (%)	–	–
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix)	–	–
ค่าพีเอช	–	–
จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	ไม่เกิน 10^4 ใน 1 กรัม	–
ยีสต์และรา (CFU/g)	ไม่เกิน 10^2 ใน 1 กรัม	–
โคลิฟอร์ม (MPN/g)	–	–
Escherichia coli (MPN/g)	<3 MPN	–
*Staphylococcus aureus** (CFU/g)	ไม่พบใน 1 กรัม	ไม่เกิน 10^2 ใน 1 กรัม
Bacillus cereus * (CFU/g)	–	–
*Clostridium perfringens** (CFU/g)	–	–
*Listeria monocytogeness** (พบ/ไม่พบ)	–	–
Salmonella sp.* (พบ/ไม่พบ)	–	ไม่พบใน 25 กรัม

หมายเหตุ: – หมายถึง ไม่ได้กำหนด/ระบุไว้

* หมายถึง จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 416 เรื่องกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2563)

3. การแปรรูปอาหารโดยใช้ความดันสูง

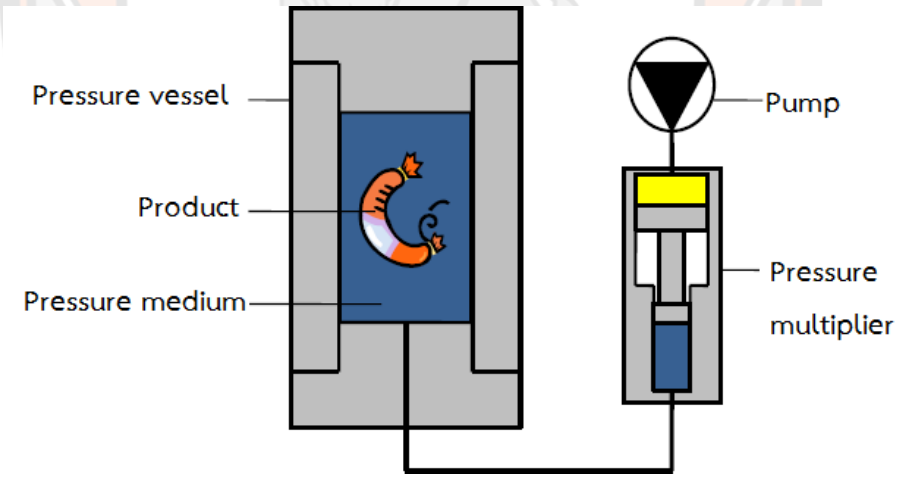
การแปรรูปอาหารโดยใช้ความดันสูง (High pressure processing: HPP) มีผลเทียบเคียงกับการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน (Thermal–processing) ระดับการพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization) ด้วยวิธีใช้ความร้อนสูง–เวลาสั้น (High Temperature Short Time: HTST) และสำหรับอาหารที่มีความเป็นกรด (Acid foods) หรือมีค่าพีเอช ≤4.5 ประสิทธิภาพของทำลายจุลินรีย์มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง (Ultra–High Temperature process; UHT) เนื่องจากสามารถทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ได้หมด แม้ว่ากระบวนการแปรรูป HPP นั้น อาจจะมีการลงทุนด้านวิศวกรรมที่สูงกว่าการแปรรูปอื่น มากถึง 10–30 เท่า แต่จะให้ผลตอบแทนได้ดีในระยะยาว เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด รักษาคุณค่าสารทางโภชนาการ คุณภาพของอาหารในด้านต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความสด สี กลิ่น และรสชาติ ใกล้เคียงธรรมชาติ ทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และสามารถเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี (ฤทธิชัย อัศวราชันย์, 2558) อาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วย HPP จะคงคุณค่าทางโภชนาการได้อย่างครบถ้วน และได้รับการยกย่องว่าเป็น Super foods ด้วยจุดเด่นของการแปรรูปอาหารที่สามารถสร้างมูลค่าที่เพิ่มเติมได้ ส่งผลให้เกิดการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปด้วยเทคโนโลยี HPP มากขึ้นโดยประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศแรกที่ประสบความสำเร็จในการนำเทคโนโลยี HPP มาใช้ในการแปรรูปอาหารระดับอุตสาหกรรม และแพร่หลายไปยังกลุ่มประเทศในสหภาพยุโรป (ฤทธิชัย อัศวราชันย์, 2559)

3.1 หลักการของการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง

การแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง เป็นการใช้ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ (400–600 MPa) ซึ่งความดันเป็นหนึ่งในตัวแปรที่สำคัญของปฏิกิริยาทางเทอร์โมไดนามิก ส่งผลทำให้เกิดงาน (Work) ในระหว่างการกดอัดในระหว่างการให้ความดัน (Pressurization) ภายใต้สภาวะ Adiabatic heat ส่งผลต่อการเพิ่มของอุณหภูมิในระบบน้อยมากประมาณ 3 องศาเซลเซียส ต่อการเพิ่มความดัน 100 MPa ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหาร แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการ HPP จะหายจากระบบทันทีที่มีการปรับสภาวะความดันกลับเข้าสู่ความดันปกติหรือความดันบรรยากาศ และมีผลต่อโครงสร้างและกระบวนการทางชีวเคมีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหาร (Microbial spoilage) จุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogen) นอกจากนี้ความดันสูงยังทำลายเอนไซม์ ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร รวมถึงสปอร์และเอนไซม์ที่ไม่ต้องการในอาหารโดยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร และทำให้อาหารมีอายุ

การเก็บรักษานานขึ้น (Farkas and Hoover, 2000) การใช้แรงดันสูงเป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้รับนิยมเชิงการค้าอย่างมากในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีการใช้แรงดันสูง (HPP) เป็นวิธีการพาสเจอร์ไรซ์ที่ใช้แรงกล (แรงดัน) ทดแทนวิธีการให้ความร้อนเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร (ฤทธิชัย อัศวราชันย์, 2558)

การแปรรูปโดยใช้ HPP ให้ผลเหมือนกับการให้ความร้อนในการแปรรูปอาหารสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียของอาหาร เช่น ยีสต์และแบคทีเรียกรดแลคติค และช่วยให้อาหารให้มีความปลอดภัยขึ้นโดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค เช่น *E. coli Salmonella* และ *L. monocytogenes* ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารโดยรักษาคุณภาพของอาหารและลดการทำลายคุณภาพขององค์ประกอบที่สำคัญในอาหารน้อยกว่า เช่น วิตามิน รสชาติ และสี ซึ่งช่วยให้การแปรรูปผลิตภัณฑ์ในลักษณะนี้มีคุณภาพเหมือนกับของสด ส่วนประกอบของอุปกรณ์ในการสร้างระบบความดันสูงประกอบด้วย ปั๊มแรงดันสูง ตัวขยายสัญญาณตัวกลางการถ่ายพลังงานกล และถังแรงดันสูง (Ferstl, 2013) ดังแสดงในภาพ 11



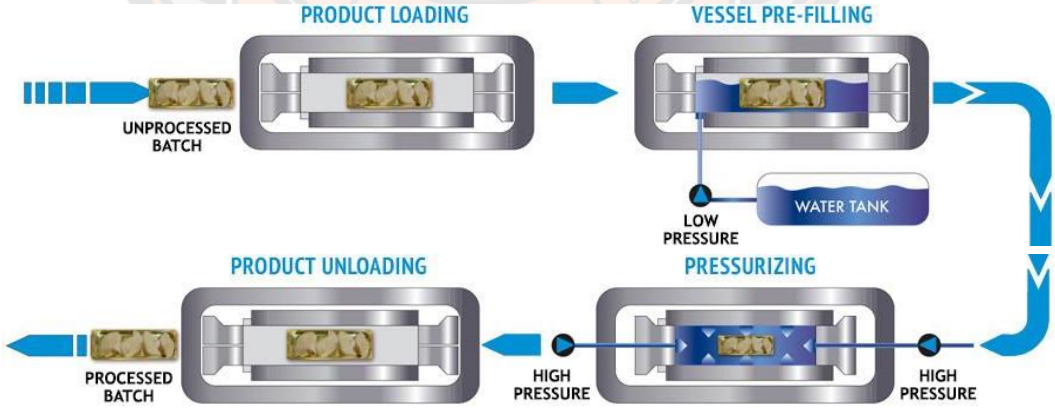
ภาพ 11 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ในการสร้างระบบความดันสูง
ที่มา: Ferstl (2013)

การผลิตอาหารด้วยความดันสูง หรือนิยมเรียกกันอีกอย่างว่าการพาสเจอร์ไรส์เย็น (Cold Pasteurization) เป็นเทคโนโลยีการผลิตอาหารที่ไม่ใช้ความร้อน แต่ใช้ความดันสูงในการผลิต หลักการของเทคโนโลยีนี้ คือ เมื่อใช้ความดันสูงประมาณ 100–1,000 MPa (1,000–10,000 บาร์)

ที่อุณหภูมิห้อง (APEC, 2017) ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิของอาหารจะสูงขึ้นเล็กน้อย วิธีการนี้ใช้เวลาในการผลิตสั้นมาก อยู่ในช่วง 2–30 นาที ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการผลิตด้วยกระบวนการนี้มี สี กลิ่น รสชาติ ที่คงสภาพเดิมใกล้เคียงธรรมชาติมากที่สุด รวมถึงยังคงคุณค่าทางโภชนาการไว้ด้วย การผลิตโดยใช้เทคโนโลยีความดันสูงนี้มี 2 แบบ คือ 1) บรรจุอาหารในบรรจุภัณฑ์แล้วผ่านให้ได้รับความดันในบรรจุภัณฑ์ และ 2) ผลิตอาหารและผ่านความดันบรรจุในลักษณะปริมาณบรรจุมาก (Bulk) แล้วจึงนำมาแบ่งบรรจุภายได้สภาวะปลอดเชื้อ (ฤทธิชัย อัศวราชันย์, 2559)

3.2 กระบวนการทำงานของเครื่องความดันสูง

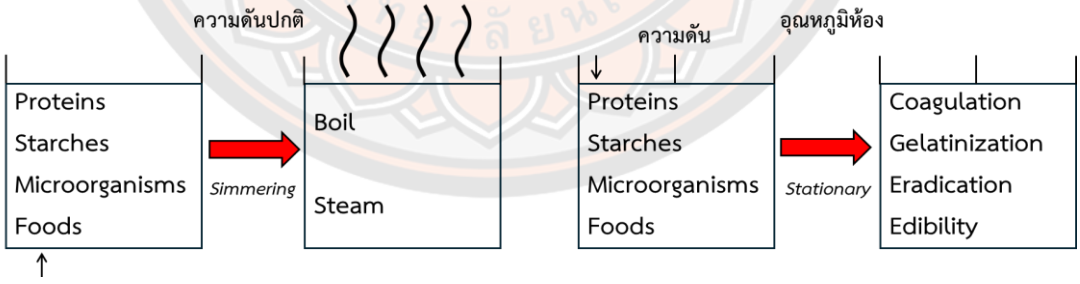
นำอาหารที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์มาใส่ในตัวถังของเครื่องความดันสูง (Pressure vessel) ปิดตัวถังและเติมน้ำซึ่งเป็นตัวกลางของระบบเข้าในตัวถังจนเต็ม ตัวปั๊มจะสร้างแรงดันสูงให้กับน้ำ (Hydrostatic pressure) ในตัวถัง ทำให้แรงดันส่งผ่านน้ำไปถึงชิ้นอาหาร อุณหภูมิของอาหารจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยระบบจะรักษาความดันให้คงที่ตลอดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ ซึ่งใช้ระยะเวลาประมาณ 30 วินาที ถึง 30 นาที ขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของจุลินทรีย์ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการตัวถังจะลดความดันลงทันที ทำให้อุณหภูมิของอาหารลดลงสู่อุณหภูมิเริ่มต้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นจึงนำอาหารออกจากตัวถังและเก็บรักษาตามอุณหภูมิที่เหมาะสมของอาหาร (Srinivas et al., 2018) โดยกระบวนการทำงานของเครื่องความดันสูง ดังแสดงในภาพ 12



ภาพ 12 กระบวนการทำงานของการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง

ที่มา: Srinivas et al. (2018)

ปัจจุบันนิยมใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้เป็นส่วนใหญ่ แต่เริ่มมีการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นบ้างแล้ว เช่น เนื้อสัตว์ อาหารทะเล ขนมพุดดิ้ง และไอศกรีมผสม เมื่อของเหลวซึ่งมีน้ำเป็นส่วนประกอบหลักถูกแรงกดดัน ปริมาตรโดยรวมของของเหลวนั้นจะลดลงเล็กน้อย มีผลทำให้สารที่ละลายหรือแขวนลอยอยู่ในของเหลวเกิดการเปลี่ยนแปลงภายใน เพื่อปรับสมดุลของการเปลี่ยนแปลง สภาวะนี้จะเป็นไปตามหลักการของเลอชาเตอลิเอ (Le Chatelier's Law) ในกรณีอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหลัก ๆ เช่น การสร้างหรือทำลายพันธะนอนโควาเลนท์ (Non–covalent) ได้แก่ พันธะไอโดรเจน พันธะเชิงไอออน และพันธะ Hydrophobic อย่างไรก็ดี พันธะโควาเลนส์จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงภายใต้ความดันสูงถึง 10,000 บาร์ ซึ่งของเหลวจะเปลี่ยนสภาวะเป็นของแข็งที่ความดันนี้ ดังนั้น สารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ที่พันธะนอนโควาเลนท์มีความสำคัญต่อโครงสร้างและการทำงาน เช่น สารประกอบและสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีน กรดนิวคลีอิค (Nucleic acids) โพลีแซกคาไรด์ (Polysaccharides) ไขมันโครงสร้างจะถูกทำลายและสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานภายใต้สภาวะความดันสูง ขณะที่สารประกอบโมเลกุลขนาดเล็กที่ไม่มีพันธะนอน–โควาเลนท์ เช่น วิตามิน กลิ่นรส ฯลฯ รวมทั้งสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ที่โครงสร้างถูกทำลายไปแล้ว เช่น ผ่านการให้ความร้อนมาแล้ว จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เกิดขึ้น (สุพรรณี เทพอรุณนัตน์, 2546) ดังแสดงในภาพ 13



ภาพ 13 กระบวนการที่เกิดกับอาหารและองค์ประกอบอาหารในน้ำเมื่อให้ความร้อนและความดันสูง
ที่มา: สุพรรณี เทพอรุณนัตน์ (2546)

ปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะความดันสูง ได้แก่ การหยุดยั้งขบวนการทางชีวเคมีของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นด้วยสมดุลอันสลับซับซ้อนของพันธะนอน–โควาเลนซ์ ปรากฏการณ์นี้รวมถึงความสามารถในการฆ่าแบคทีเรีย (แต่สปอร์ของแบคทีเรียสามารถทนต่อความดันสูงได้) และหยุดการ

ทำงาน (Deactivation) ของเอนไซม์ เนื่องจากการใช้ความดันจะให้เกิดการสูญเสียคุณสมบัติดั้งเดิม (Denature) ที่แตกต่างไปจากการใช้ความร้อน จึงเป็นที่คาดหวังว่าการประยุกต์ใช้ความดันจะทำให้ได้อาหารที่มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่แปลกใหม่เกิดขึ้น

3.3 ผลของความดันสูงต่ออาหาร

ผลของความคันสูงต่ออาหารเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่สำคัญต่อการใช้เทคโนโลยีนี้ผลิตอาหารในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากความดันสูงสามารถเปลี่ยนโครงสร้างของโปรตีนและกล้ามเนื้อ มีผลต่อการเกิดเจล (Gelatinization) ของแป้ง และการแข็งตัวของไขมัน การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในการปรับปรุงเนื้อสัมผัส (Texture) ของอาหารก็เป็นที่สนใจนอกเหนือจากการใช้ในการถนอมอาหาร ความดันสูงทำให้โครงสร้างของโปรตีนเปลี่ยนไป อันมีผลทำให้การทำงานของโปรตีนนั้นเปลี่ยนไปด้วย โปรตีนอาจะตกตะกอนหรือสร้างเจลในรูปแบบใหม่ ๆ ซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไปจากเจลที่ได้จากการให้ความร้อน (ตาราง 11) เป็นข้อมูลเปรียบที่ขบคุณสมบัติทั่วไปของโปรตีนเจลของอาหารต่าง ๆ เช่น ไข่ ปลา เนื้อ นม โปรตีนถั่วเหลืองที่เกิดจากการให้ความร้อนหรือความดัน

ตาราง 11 คุณลักษณะของโปรตีนเจลที่เกิดจากการให้ความดันหรือความร้อน

คุณลักษณะ	ความดัน	ความร้อน
การเปลี่ยนสี	ไม่เปลี่ยน	เปลี่ยน
การเปลี่ยนรสชาติ	ไม่เปลี่ยน	เปลี่ยน
การเปลี่ยนปริมาตร	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ความเงามัน	สูง	ต่ำ
ความใส	สูง	ต่ำ
ความละเอียดของเนื้อสัมผัส	สูง	ต่ำ
ความเรียบ	สูง	ต่ำ
ความแข็ง	ต่ำ	สูง
ความยืดหยุ่น (Elasticity)	มีความยืดหยุ่น	มีความยืดหยุ่น
ความสามารถในการยืดตัว (Extensibility)	สูง	ต่ำ
การยึดตัว (Adhesiveness)	สูง	ต่ำ

ที่มา: สุพรรณี เทพอรุณนัตน์ (2546)

3.4 ผลของความดันสูงต่อจุลินทรีย์

ความดันสูงทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์มีการเปลี่ยนแปลงหลายอย่าง เช่น รูปร่างของเซลล์ กลไกทางพันธุกรรม ปฏิกิริยาทางชีวเคมี เซลล์เมมเบรน และสารเคลือบบนสปอร์ เซลล์เมมเบรนเป็นส่วนที่มีความสำคัญต่อการขนส่งและหายใจของเซลล์ หากเซลล์เมมเบรน ถูกทำลายจะทำให้เซลล์ตายได้ พบว่าจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ถูกทำลายด้วยความดันสูงจะสูญเสียการทำงานของเซลล์เมมเบรนนั่นเอง นอกจากนี้อาจเกิดการสูญเสียคุณสมบัติดั้งเดิม ของโปรตีนและเอนไซม์ การสังเคราะห์ดีเอ็นเอและสารพันธุกรรมอื่น ๆ ไม่สมบูรณ์ และเกิดแข็งตัวของเมมเบรนฟอสฟอลิปิด (Membrane phospholipids) องค์ประกอบของอาหารก็มีผลต่อความต้านทานความดันสูงของจุลินทรีย์ นมและเนื้อสัตว์ช่วยป้องกันจุลินทรีย์จากความดันสูง เช่นเดียวกับน้ำตาล แต่ความเป็นกรดของอาหารทำให้จุลินทรีย์ถูกทำลายได้ง่ายขึ้น รวมทั้งทำให้อัตราการตายของเซลล์ที่บาดเจ็บหลังจากได้รับความดันสูงเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นอาหารที่เป็นกรด เช่น น้ำผลไม้จึงเหมาะที่จะใช้เทคโนโลยีความดันสูงนี้ เพราะสามารถใช้ความดันที่ไม่ต้องสูงมากทำให้อาหารยังคงความสดในเรื่องกลิ่นรส และสีเดิมของอาหารไว้ได้มาก นอกจากนี้ยังพบว่าช่วงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก็มีผลต่อปฏิกิริยาของเซลล์ต่อความดัน เซลล์ในช่วงที่กำลังเพิ่มจำนวนและเติบโตดี (Log phase) จะถูกทำลายด้วยความดันสูงได้ง่ายกว่าในช่วงอื่นรายงานสรุปการศึกษาผลการทำลายจุลินทรีย์ภายใต้ความดันสูงในช่วง 350–500 MPa ของเครื่องดื่มและผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ด้วยความดันสูงดังแสดงในตาราง 12

ตาราง 12 การตอบสนองของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และสปอร์ของจุลินทรีย์ หลังการใช้ความดันสูง

ปี	ที่มา	สภาวะ			เชื้อจุลินทรีย์	ผลิตภัณฑ์	log CFU/g
		ความดัน (MPa)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)			
1999	Ellenberg and Hoover	253	25	15	*A. hydrophila*	Ground Pork	7.0
1999	Linton et al.	550	20	5	*E. coli.*	Orange Juice	<7.0
2001	Mclements et al.	400	30	18	*B. cereus*	Skimmed Milk	3.2
2005	Bayindirli et al.	350	30	5	*S. Enteritidis*	Orange Juice Sour	>8.0
2005	Bayindirli et al.	350	30	5	*S. Enteritidis*	Cherry Juice	>8.0
2006	Koseki and Yamamoto	550	10	25	*E. coli.*	Phosphate Buffer	8.0
2006	Reddy et al.	875	10	55	*C. botulinum*	Crabmeat Blend	1.8

ตาราง 12 (ต่อ)

ปี	ที่มา	สภาวะ			เชื้อจุลินทรีย์	ผลิตภัณฑ์	log CFU/g
		ความดัน (MPa)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)			
2007	Koseki et al.	500	10	25	*L. monocytogenes*	Cooked Ham	5.1
2008	Ju et al.	600	20	80	*B.cereus*	Milk Buffer	7.5
2009	Setikaite et al.	400	1	4	*E. coli.* K12	Distilled water	7.0
2010	Shao et al.	900	5	100	*C. sporogenes*	Ultraheat–Milk	4.0
2011	Neetoo et al.	350	2	20	*E. coli.*	Green Onion	3.0
2011	Gao et al.	600	12.5	65	*C. perfringens*	Ultraheat–Milk	2.5
2013	Lukas	500	4	2	*E. coli.*	Coconut Water	5.0
2013	Lukas	500	4	2	*S. Typhimurium*	Coconut Water	5.0
2013	Lukas	500	4	2	*L. monocytogenes*	Coconut Water	5.0
2013	Daryaei et al.	520	18	40	*B. coagulans*	Tomato Juice	4.0
2015	Bover–Cid et al.	600	5	15	*L. monocytogenes*	Dry-cured hams	6.8
2015	Bover–Cid et al.	750	5	15	*L. monocytogenes*	Dry-cured hams	8.0
2017	Bover-Cid et al.	600	5	15	*S. enterica*	Dry-cured hams	7.2
2017	Bover-Cid et al.	750	5	15	*S. enterica*	Dry-cured hams	8.4
2018	Rubio et al.	600	12.5	18	*L. monocytogenes*	Spanish sausage	3.7
2020	Gouvea et al.	400	3	30	*Salmonella* spp.	Açaí juice	8.0
2020	Buerman et al.	600	1.5	5	*A. niger*	Apple juice	7.0
2021	Buerman et al.	600	1.5	5	*A. pseudoglaucus,*	Apple juice	6.0
2021	Sabillón et al.	600	1	22	*E. coli.*	Cookie dough	1.4

ที่มา: ดัดแปลงจาก Da–Wen, 2014; Vasco & Saraiva, 2023)

3.5 การประยุกต์ใช้ความดันสูงในการถนอมอาหาร

เทคโนโลยีความดันสูงสามารถทำลายหรือลดเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสีย รวมทั้งยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ทำให้อายุการเก็บรักษาของอาหารยาวนานขึ้น โดยเฉพาะอาหารที่จำเป็นต้องแช่เย็น เหมาะอย่างยิ่งที่จะใช้กับอาหารสด น้ำผลไม้ แยม สลัด เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์นม และอาหารทะเล เนื่องจากสามารถรักษารสชาติตามธรรมชาติของอาหารนั้นไว้ได้ อย่างไรก็ดีเรายังคงต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของอาหารที่เกิดขึ้นจากการให้ความดันด้วย

การใช้ HPP เป็นการแปรรูปอาหารโดยไม่ใช้ความร้อน (Non thermal processing) แต่เป็นการใช้ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ (400–600 MPa) ซึ่งความดันเป็นหนึ่งในตัวแปรสำคัญของปฏิกิริยาทางเทอร์โมไดนามิกส่งผลให้เกิดงาน (Work) ในระหว่างการกดอัดให้ความดัน (Pressurization) ภายใต้สภาวะ Adiabatic heat ส่งผลต่อการเพิ่มของอุณหภูมิในระบบน้อยมาก ประมาณ 3 องศาเซลเซียส ต่อการเพิ่มความดัน 100 MPa ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหาร แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นของการแปรรูปด้วยการใช้ HPP จะหายจากระบบทันที ที่มีการปรับสภาวะความดันกลับเข้าสู่ความดันปกติหรือความดันบรรยายกาศ (Farkas and Hoover, 2000) และมีผลต่อโครงสร้างและกระบวนการทางชีวเคมี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหาร (Microbial spoilage) จุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogen)

นอกจากนี้ ความดันสูงยังทำลายเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร รวมถึงสปอร์และเอนไซม์ที่ไม่ต้องการในอาหาร โดยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร ทำให้อาหารมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น การแปรรูปด้วย HPP มีผลเทียบเคียงกับการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน (Thermal processing) ระดับการพาสเจอร์ไรซ์ ด้วยวิธีใช้ความร้อนสูง–เวลาสั้น (HTST: High Temperature–Short Time) สำหรับอาหารที่มีความกรด (Acid foods) หรือพีเอช ≤4.5 พบว่าการทำลายจุลินรีย์มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง (Ultra–High Temperature process; UHT) เนื่องจากทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ได้หมด แม้ว่ากระบวนการแปรรูป HPP นั้นอาจจะมีการลงทุนในด้านวิศวกรรมที่สูงกว่าการแปรรูปอื่น 10–30 เท่า แต่จะให้ผลตอบแทนที่ดีในระยะยาว เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด รักษาคุณภาพของอาหารในด้านต่าง ๆ และมีความสด กลิ่น สี รสที่ใกล้เคียงธรรมชาติ ทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี (ฤทธิชัย อัศวราชันย์, 2558) ตัวอย่างผลการทำลายจุลินทรีย์ภายใต้ความดันสูงช่วง 350–900 MPa ของเครื่องดื่มและผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ดังแสดงในตาราง 13

ตาราง 13 การถนอมอาหารที่ได้จากกระบวนการความดันสูง (HPP)

ผลิตภัณฑ์	สภาวะในการให้ความดัน			ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	อุณหภูมิเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)
	ความดัน	เวลา	อุณหภูมิ		
น้ำส้ม	350	1	30	60	4
น้ำส้ม	400	10		150	25
น้ำส้ม	500	1.5		120	4
น้ำส้ม	600	1	5	150	0
น้ำเลม่อน	450	2		10	
น้ำฝรั่งแบบข้น	600	15	25	40	4
แยมสตรอเบอร์รี่	400	5	25	90	
นม	300			25	0
นม				18	5
นม				12	10
ชีสนมแพะ	450	10	2	15	
ชีสนมแพะ			10	30	
ชีสนมแพะ			25	60	
เนื้อสัตว์พร้อมทาน	600	3	20	98	4
เนื้อไก่บด	408	10	21	27	4
เนื้อไก่บด	616	10	21	70	4
เนื้อไก่บด	888	10	21	98	4
แซลมอนสเปรด	700	3		180	38
กุ้ง	200			28	
กุ้ง	400			35	
เนื้อแฮมสด	400			40	4
เนื้อแฮมสด	500			60	4
เนื้อแฮมสด	600			74	4

ที่มา: Martín, Barbosa-Cánovas and Swanson (2002)

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พรทิพย์ ธนรติกุล (2565) ศึกษาผลของสารคาราจีแนน 5 ระดับ (ร้อยละ 0.4 0.5 0.6 0.7 และ 0.8) ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก พบว่าปริมาณสารคาร์ราจีแนนมีผลต่อลักษณะเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสูตรที่ 3 (คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.6) มีคะแนนการยอมรับด้านความนุ่ม (คะแนน 7.13) และความชอบโดยรวมสูงที่สุด (คะแนน 6.90) มีค่าการแยกตัวของน้ำร้อยละ 6.00 ค่าความแข็ง 709.00 g force ค่าการยึดติด 71.32g force·sec และค่าความเหนียว 589.50 g force ค่าสี L* 73.03 ค่าสี a* -1.05 ค่า b* 6.28 องค์ประกอบทางเคมีของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก มีปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน กากใย และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 90.97 0.41 2.23 4.06 1.28 2.33 ตามลำดับ มีค่าพลังงาน 45.68 kcal มีสารประกอบฟีนอลิก 1.84 mg GAE/g และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 9.14 μmol trolox equivalents/g

สุนีย์ แวะมะ และ อาอีเซาพส์ เบ็ญหาวัล (2565) พัฒนาผลิตภัณฑ์เจลลี่จากฟ้าทะลายโจรและกระชายขาวร่วมกับโพรพอลิส จำนวน 10 สูตร ที่มีปริมาณของสมุนไพรฟ้าทะลายโจร กระชายขาว โพรพอลิส และเจลาตินในปริมาณที่แตกต่างกัน นำมาทดสอบลักษณะทางกายภาพเคมี พบว่าค่าพีเอช อยู่ในช่วง 5.25±0.05–5.63±0.07 ค่าสีสว่าง (L*) มีค่าความสว่างมากอยู่ในช่วง 28.54±0.08–23.92±0.09 โดยสูตรที่ 7 จะให้สีสว่างมากที่สุด สีเหลืองจะอยู่ในช่วง 8.69±0.39–3.95±0.23 และสีแดงมีค่าน้อยที่สุด ในช่วง 1.92±0.11–1.24±0.09 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 10 สูตร ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เจลลี่ พบว่าค่าความแข็ง (Hardness) มีค่ามากในสูตรที่ 2 4 6 8 และ 10 เท่ากับ 129.10±35.58, 132.16±8.57, 91.38±10.39, 114.05±18.63 และ 105.29±7.53 ตามลำดับ ส่งผลให้แรงที่ใช้ในการบดเคี้ยวอาหารและค่าความยืดหยุ่นลดลง สามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* และ *Bacillus* spp. ได้ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม แต่ไม่สามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH พบว่าผลิตภัณฑ์เจลลี่ทั้ง 10 สูตร จะสามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ สำหรับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เจลลี่ พบว่ามีปริมาณฟีนอลิกรวมใกล้เคียงกัน ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบมีความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์เจลลี่สูตรที่ 8 มากที่สุด มีคะแนนความชอบเท่ากับ 6.40±1.69

ปนิตา ปรีชาหาญ (2563) พัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเจลลี่พร้อมดื่มที่สามารถให้คุณค่าทางโภชนาการ และสามารถบริโภคได้ง่าย เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาดที่ขยายตัวขึ้นพร้อมกับพฤติกรรมที่เร่งรีบของผู้บริโภคในปัจจุบัน โดยเลือกใช้น้ำนมแพะซึ่งมีความโดดเด่นทางด้านโภชนาการ และมีศักยภาพทางด้านการตลาด นำมาผสมน้ำผลไม้เพื่อให้บริโภคได้ง่ายขึ้น ทำการผสมในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 4 อัตราส่วน พบว่านมแพะผสมน้ำผลไม้รสแอปเปิลในอัตราส่วนน้ำนมแพะร้อยละ 70 และ น้ำแอปเปิลร้อยละ 30 เป็นสูตรที่ผ่านการคัดเลือกจากการทดสอบทางคุณลักษณะความชอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ 9-Point Hedonic Scale โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 25 คน หลังจากนั้นนำนมแพะผสมน้ำผลไม้ที่ได้มาศึกษาอิทธิพลของสารก่อเจล โดยพิจารณาสัดส่วนของกลูโคแมนแนน และคาราจีแนน ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ 9–Point Hedonic Scale โดยผู้ทดสอบชุดเดิม พบว่าสูตรที่มีอัตราส่วนที่มีคาราจีแนนร้อยละ 0.15 ต่อ กลูโคแมนแนนร้อยละ 0.20 ได้รับคะแนนสูงสุด หลังจากนั้นนำสูตรที่ได้มาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 85 คน เพื่อประเมินการยอมรับ และการตัดสินใจซื้อ รวมถึงราคาที่ผู้บริโภคยอมรับ พบว่าผู้บริโภคมีแนวโน้มที่จะซื้อผลิตภัณฑ์เนื่องจากมีรสชาติอร่อยเนื้อสัมผัสเหนียวนุ่ม พร้อมกับมีคุณค่าทางโภชนาการ รวมถึงสะดวกในการพกพาเหมาะสมกับการเป็นอาหารเช้า หรือ ขนมรับประทานระหว่างวัน ซึ่งราคาที่เหมาะสมอยู่ที่ 35 บาทต่อขนาดบรรจุ 150 กรัม ในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์พบว่าผลิตภัณฑ์เจลลี่นมแพะผสมน้ำผลไม้พร้อมดื่มเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ภายใต้ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่356) เรื่องเครื่องดื่มในภาชนะปิดสนิท และประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 351) เรื่องนมปรุงแต่ง ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

วรลักษณ์ แสงธาราทิพย์ และคณะ (2563) พัฒนาเนื้อสัมผัสของเยลลี่กระเจี๊ยบพร้อมดื่มที่มีส่วนผสมจากเมือกกระเจี๊ยบเขียวและวุ้นเมล็ดแมงลัก (เมือกผสม)โดยใช้คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนนจากผงบุก และโลคัสบีนกัม พบว่า เมือกผสมมีผลต่อความแข็ง โดยมีค่าความแข็งสูงกว่าสิ่งทดลองที่ไม่เติมเมือกผสมที่ระดับคาร์ราจีแนนเดียวกัน ($p<0.05$) สิ่งทดลองที่ใช้เมือกผสมร่วมกับคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.25 ของน้ำหนักสูตร ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมและความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้ร่วมกับคาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.0และ 0.5 จากการทดสอบความพอดี (JAR) ค่า Net score แสดงให้เห็นว่าควรพัฒนาเนื้อสัมผัสให้มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น การวิจัยต่อมาพบว่าการใช้คาร์ราจีแนนร่วมกับกลูโคแมนแนน (1:1) ร้อยละ 0.25 ของน้ำหนักสูตรเป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช และค่าความแข็ง เท่ากับ 13.10

°Brix 2.93 และ 82.14 กรัม ตามลำดับ และมีคะแนนความชอบโดยรวมที่ระดับ 7 (ชอบปานกลาง)

ธนาวุฒิ พุทธวงค์ และคณะ (2562) ศึกษาปริมาณเจลาติน กลูโคสไซรัป และน้ำดอกแคขาวต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เยลลี่ พบว่า สูตรที่ประกอบด้วย เจลลาติน1.0 กรัม กลูโคสไซรัป 15 กรัม ผงเยลลี่ 15 กรัม น้ำตาลทราย 150 กรัม น้ำดอกแค 100 กรัม น้ำตะไคร้ 50 กรัม น้ำมะนาว 4 กรัม เป็นสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในระดับมาก มีคุณลักษณะเยลลี่ดีที่สุด คือเหลืองอ่อน กลิ่นหอมอ่อน ๆ รสหวาน และมีเนื้อสัมผัสนุ่ม เหนียวหนืด ไม่แข็ง ออกแรงบีบเนื้อไม่เละ มีค่าพีเอชเท่ากับ 3.32 และอายุการเก็บรักษาของเยลลี่ดอกแคขาวสูตรสมุนไพรไทยพบว่า แบบกระปุกจะเริ่มเปลี่ยนแปลงวันที่ 18 และบรรจุถุงซิปล็อกเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงในวันที่ 20 เนื้อสัมผัสและรสชาติเริ่มเปลี่ยนแปลง

ธีรวรรณ สุวรรณ์ และคณะ (2561) ศึกษาผลของปริมาณคาร์ราจีแนนและปริมาณน้ำตาลต่อคุณภาพของเยลลี่รางจืดที่คาร์ราจีแนนร้อยละ 1 2 และ 3 และน้ำตาลร้อยละ 9 12 และ 15 ตามลำดับ และได้ทำการศึกษาผลของประเภทใบรางจืดแบบสดและแบบแห้ง และศึกษาอัตราส่วนของน้ำใบรางจืดโดยศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อไปรางจืด คือ 95:5 90:10 และ 85:15 พบว่าสูตรที่เหมาะสมในการผลิตคาร์ราจีแนนเยลลี่รางจืด คือ น้ำรางจืดร้อยละ 82.97 (อัตราส่วนน้ำร้อยละ 95 ใบรางจืดร้อยละ 5 โดยใช้ใบรางจืดสด) น้ำตาลทรายร้อยละ 14.85 กรดซิตริกร้อยละ 0.025 และคาร์ราจีแนนร้อยละ 1.98 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นร้อยละ 85.19 ค่าปริมาณน้ำอิสระ 0.989 คุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส พบว่าค่าความแข็ง 70.6 กรัม ค่าการเกาะรวมตัว 0.51 ค่าความเหนียว 20.04 กรัม และค่าความยืดหยุ่น 0.30 ค่าสี L* 26.49 ค่า a* –2.57 และค่า b* 8.12 และตรวจไม่พบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

เอนก หาลี และคณะ (2561) ศึกษาการผลิตเยลลี่ข้าวหักไรซ์เบอรี่ โดยใช้แผนการทดลองแบบ Mixture design อัตราส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษามี 3 ปัจจัย คือ น้ำข้าวหักไรซ์เบอรี่ ร้อยละ 70–80 น้ำหญ้าหวานสกัด (3%) ร้อยละ 10–15 และน้ำตาลร้อยละ 10–15 แผนการทดลอง Mixture design สามารถสรุปสูตรตามปริมาณระดับสูงและระดับต่ำของปัจจัย คือ ส่วนผสมที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำข้าวหักไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 70–80 น้ำหญ้าหวานสกัด (3%) ร้อยละ 10–15 และน้ำมะนาวร้อยละ 4 มาผสมให้เข้ากันและส่วนผสมที่เป็นของแข็ง คือ น้ำตาลทรายร้อยละ 10–15 คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5 จากผลการวิจัยพบว่า ผลิตภัณฑ์เยลลี่ข้าวหักไรซ์เบอรี่สูตรที่ 1 (น้ำข้าวหักไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 80 น้ำหญ้าหวานสกัด (3%) ร้อยละ 10 และน้ำมะนาวร้อยละ 4 และคาร์ราจีแนน

ร้อยละ 0.5) มีค่ามีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ทั้งวิธี DPPH และ FRAP เช่นเดียวกับสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์และแอนโธไซยานิน ส่วนค่า Hardness Springiness ของแข็งที่ละลายได้และความเป็นกรด–เบสของผลิตภัณฑ์เยลลี่ข้าวหักไรซ์เบอรี่มีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อย

(วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และคณะ (2560) ศึกษาผลของการเติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดในเยลลี่ข้าวไรซ์ เบอร์รี่โดยออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design แปรปริมาณการเติมอยู่ในช่วงร้อยละ 10–20 ผลการทดลอง พบว่า เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส คะแนนความเข้มของ และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสความชอบด้านการกลืน และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบด้านการเคี้ยวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีการเติมพิวเร่เนื้อมะพร้าวอ่อนและน้ำสับปะรดในปริมาณที่เท่ากัน คือ ร้อยละ 11.5 เป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสมมากที่สุด จากการศึกษาผลของปริมาณ κ–คาร์ราจีแนนและเจลาตินต่อคุณภาพของเยลลี่ พบว่าเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีการใช้ κ–คาร์ราจีแนนร้อยละ 1.5 w/w เพียงอย่างเดียวเป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสมมากที่สุด มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี มีความแข็งไม่น้อยหรือมากจนเกินไป โดยมีค่า Hardness ค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness เท่ากับ 2264.76 g. -181.58 g.sec และ 0.71 ตามลำดับ เยลลี่ที่พัฒนาได้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคตลอดการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา และ นัทมน พุฒดวง (2559) พัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่ธัญพืช ซึ่งผลิตจากน้ำนมจากจมูกข้าวเจ้า ลูกเดือย ข้าวโพด และงาขาว โดยแปรปริมาณการใช้สารที่ทำให้เกิดเจลที่เหมาะสมในการผลิตเยลลี่ธัญพืช ได้แก่ คาร์ราจีแนน และกลูโคแมนแนน ในอัตราส่วน 9:1 เป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ0.8, ร้อยละ1.0, และร้อยละ1.2 แล้วนำผลิตภัณฑ์ไปทำการทดสอบคุณภาพทางด้านเคมี และกายภาพเพื่อหาปริมาณการใช้ที่เหมาะสม พบว่าปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลในระดับร้อยละ1.0 เป็นปริมาณที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งของเจล ค่าความเหนียว และค่าความยืดหยุ่นของอาหารใกล้เคียงกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ คือ เยลลี่คาร์ราจีแนนยี่ห้อริชเชส จากนั้นทำการศึกษาผลของอัตราส่วนของสารผสมระหว่างคาร์ราจีแนนผสมกับกลูโคแมนแนนในการผลิตเยลลี่ธัญพืช โดยกำหนดอัตราส่วนที่ระดับ 70:30 60:40 50:50 40:60 และ 30:70 แล้วนำผลิตภัณฑ์ ไปทำการทดสอบคุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัส พบว่า

อัตราส่วนที่ระดับ 70:30 ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดและสอดคล้องกับการทดสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมีที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบมากที่สุด จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นไปศึกษาคุณค่าทางโภชนาการพบว่า ผลิตภัณฑ์ประกอบไปด้วยโปรตีนร้อยละ 3.67 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 7.56 ไขมันร้อยละ 5.75 ปริมาณเถ้าทั้งหมดร้อยละ 1.80 ปริมาณเส้นใยร้อยละ 0.62 และค่าพลังงานความร้อน 96.70 กิโลแคลอรี่ต่อตัวอย่าง 100 กรัม และเมื่อนำไปศึกษาอายุการเก็บรักษาในภาชนะพลาสติกโพลีเอทธีลีน ชนิดมีฝาปิดสนิท พบว่าผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาได้นาน 12 วัน ที่อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส

เกวลิน ปารมีกาศ และคณะ (2559) ศึกษาเจลของผลิตภัณฑ์เยลลี่ฟักข้าวเสริมคอลลาเจน โดยวิเคราะห์ผลของปริมาณ เจลาติน คาร์ราจีแนน คอลลาเจน ที่มีต่อสมบัติการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เยลลี่ฟักข้าว การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 คือ ศึกษาเฉพาะสารที่ทำให้เกิดเจลในสูตรเยลลี่ฟักข้าว ซึ่งจะแปรส่วนผสมอื่น ๆ ให้คงที่ คือ น้ำตาลร้อยละ 10.46 กรดซิตริก ร้อยละ 0.17 ผงฟักข้าวร้อยละ 0.87 และน้ำร้อยละ 78.50 แล้วทำการวิเคราะห์คุณภาพของฟักข้าวผง การวิเคราะห์คุณภาพของเยลลี่ และผลการประเมินผลทางสถิติ พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของคอลลาเจนส่งผลทางลบ (แปรผกผัน) กับค่าทางกายภาพของเนื้อสัมผัสคือค่า Hardness และ Gumminess เช่นเดียวกันกับ คาร์ราจีแนนซึ่งส่งผลทางลบ (แปรผกผัน) กับค่า Cohesiveness โดยสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับเยลลี่ทางการค้า คือ เจลาติน:คอลลาเจน:คาร์ราจีแนน เท่ากับ (0.7342: 0.0173:0.2485) และสัดส่วนที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด คือ เจลาติน:คอลลาเจน:คาร์ราจีแนน (0.7782:0.0733:0.1485)

ดวงกมล ตั้งสถิตพร และคณะ (2558) พัฒนาเยลลี่พร้อมดื่มจากแกนสับปะรดและชาภูฟ้า จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ 0.5 1.5 และ 2.5 กรัม พบว่าใช้ปริมาณคาร์ราจีแนน 1.5 กรัม ต่อน้ำแกนสับปะรด 275 กรัม ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด

ศุกฤชชญา เหมะธุลิน และ กรรณิการ์ สมบุญ (2558) เสริมใยอาหารในผลิตภัณฑ์น้ำเม่าดำด้วยวุ้นเมล็ดแมงลัก ในรูปแบบเยลลี่เม่าเครื่องดื่มฟังก์ชันเพื่อสุขภาพ ศึกษาผลของการเสริมใยอาหารด้วยวุ้นเมล็ดแมงลักต่อปริมาณใยอาหาร สารประกอบฟีนอลิค และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยผลิตภัณฑ์เยลลี่เม่าเครื่องดื่มเสริมใยอาหารจากวุ้นเมล็ดแมงลักที่พัฒนาได้มีส่วนผสมของน้ำเม่าดำ และเติมวุ้นเมล็ดแมงลัก ร้อยละ 40 ซึ่งให้เครื่องดื่มเยลลีเม่าที่มีลักษณะของเหลวกึ่งแข็งข้นเป็นเจลอ่อนที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ด้วยคะแนนการยอมรับรวม 8.11 อยู่ในระดับชอบมาก

อีกทั้งให้ใยอาหารสูงถึง ร้อยละ 4.73 เพิ่มขึ้น คิดเป็น 8.92 เท่าของน้ำเม่าดำที่ไม่เติมวุ้นเมล็ดแมงลัก ให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน FRAP และ ORAC สูงถึง 83.28 mg ascorbic acid/L 812.59 μm $FeSO_4$/L และ 5,137 μmol TE/100 g ตามลำดับ

ญาดา เอกสุวรรณ และคณะ (2555) ศึกษาผลของคาร์ราจีแนนต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่ลองกอง โดยแปรปริมาณคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 จากผลการทดลองพบว่า เยลลี่ลองกองที่มีปริมาณคาร์ราจีแนนเท่ากับร้อยละ 0.7 มีปริมาณเถ้า และปริมาณของแข็งที่ละลายน้าได้ทั้งหมดและค่าความสว่างสูงกว่าเยลลี่ลองกองที่มีปริมาณคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.3 0.4 0.5 และ 0.6 เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธีการให้คะแนนตามลักษณะพบว่าเยลลี่ลองกองปริมาณคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.7 มีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงแต่ไม่แตกต่างจากเยลลี่ลองกองปริมาณคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5 และ 0.6 ในขณะที่ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้และค่าพีเอช ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม เยลลี่ลองกองที่มีปริมาณคาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.3 และ 0.4 มีคะแนนความชอบโดยรวมน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากมีรสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่คงตัว

ยุวดี พีรพรพิศาล และคณะ (2555) ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของคาร์ราจีแนน ที่ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์เยลลี่คาร์ราจีแนนผสมลูกจาก พบว่ามีการใช้ปริมาณคาร์ราจีแนนร้อยละ 1.8 (w/v) ร่วมกับกลูโคแมนแนนร้อยละ 0.1 (w/v) ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด

สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อม และคณะ (2554) พัฒนาเยลลี่คาร์ราจีแนนสูตรผัก พบว่าคาร์ราจีแนนเหมาะสม คือ ร้อยละ 1 ปริมาณน้ำผักจากมะเขือเทศ แครอท ฟักทองใช้ได้ร้อยละ 25 ขณะที่น้ำผักกะหล่ำปลีม่วงใช้ได้เพียงร้อยละ 5 เยลลี่สูตรน้ำผักแต่ละชนิดให้สีที่สวยงาม มีความแข็งน้อยกว่าตัวอย่างทางการค้า เยลลี่สูตรน้ำผักมีความยืดหยุ่น และมีความสามารถในการยึดเกาะที่ใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับตัวอย่างทางการค้า ยกเว้นเยลลี่ฟักทองที่มีความแข็งมากกว่า เนื่องจากมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง ทำให้มีค่าความแข็งมากที่สุด และการทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ไม่เกินตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เยลลี่คาร์ราจีแนนสามารถผลิตได้มีความเป็นไปได้ที่จะผลิตทางการค้า และลดการใช้สารแต่งสีและกลิ่นสังเคราะห์

ชรินรัตน์ อุดเมืองคำ (2552) ศึกษากระบวนการแปรรูปสาหร่ายไก โดยพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ของหวานประเภทเยลลี่ โดยใช้น้ำสกัดสาหร่ายไกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5.0 10.0 15.0 และ 20.0 ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละความเข้มข้น ได้ทำการแปรผันปริมาณเพกตินที่ระดับร้อยละ 0.5 1.0 และ 1.5 โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณ

สารซีลีเนียม เมื่อนำน้ำสกัดจากสาหร่ายไกทุกความเข้มข้นไปแปรรูปเป็นเยลลี่ พบว่าเยลลี่จากสาหร่ายไกมีปริมาณสารฟีนอลิก 78.43–155.44 มิลลิกรัมต่อลิตร ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระร้อยละ 13.25–28.28 ปริมาณซีลีเนียม 0.016–0.029 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบความพึงพอใจในด้านสี กลิ่น และรสชาติ ระหว่างเยลลี่สาหร่ายไกกับเยลลี่น้ำธรรมดา พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งในงานวิจัยนี้ ชี้ให้เห็นว่าสาหร่ายไกสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่ได้

ศศิธร สิทธิเนตร และ สุนิสา เครือจุ้ย (2545) พัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่ใบเตยเสริมว่านหางจระเข้ เปรียบเทียบระหว่างสูตรที่ใช้เจลาตินธรรมดาปริมาณร้อยละ 1.19 1.48 และ 1.77 และเจลาตินสำเร็จรูปปริมาณร้อยละ 1.49 1.78 และ 2.07 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าปริมาณเจลาตินธรรมดาและเจลาตินสำเร็จรูปที่เหมาะสม ได้แก่ ร้อยละ 1.77 และ 1.78 ตามลำดับ เมื่อนำมาศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าทั้ง 2 ตัวอย่าง มีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 3 วัน ผลการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี พบว่ามีค่าพีเอช เท่ากับ 4.5–4.9 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) 25–28 °Brix ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.5–0.6 ปริมาณกรดร้อยละ 0.2 และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 5–12 ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นมีอายุการเก็บรักษานาน 21 วัน และผลการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี พบว่ามีค่าพีเอช เท่ากับ 4.1–4.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 25–27 °Brix ค่า a_w 0.6–0.8 ปริมาณกรดร้อยละ 0.2 และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 10–12 และไม่พบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และรา ของเยลลี่ทั้ง 2 สูตร จากการเก็บรักษาทั้งอุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิตู้เย็น

(Zou et al., (2024) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ และคุณภาพของน้ำเสาวรสที่มีเมล็ด (PFJ–1) และไม่มีเมล็ด (PFJ–2) ที่ผ่านกระบวนการใช้ความดันสูง 600 MPa นาน 5 นาที และการพาสเจอร์ไรส์ด้วยความร้อน 85 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 วัน พบว่า PFJ–1 มีการทำงานของ Polyphenol oxidase Peroxidase และ Superoxide dismutase สูงกว่า PFJ–2 ได้แก่ ร้อยละ 76.83 68.25 และ 28.12 ตามลำดับ และความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้นร้อยละ 148.60 และ 1.47 ตามลำดับ

(Li et al., (2023) ศึกษากระบวนการใช้ความดันสูงต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำ Rosa roxburghii Tratt (RrT) โดยใช้แบบจำลอง (R^2 = 0.815–0.999) ผลการวิจัยพบว่าการใช้ความดันสูง (>100 MPa) จะช่วยเพิ่มระดับของสารประกอบที่เป็นประโยชน์ เช่น SOD (3,202–3,697 U/mL) วิตามินซี (12.39–14.08 mg/mL) สารประกอบโพลีฟีนอล (7.46–12.81 mg GAE/mL) ฟลาโวนอยด์ (89.26–648.48 μg RE/mL) กรดกัลลิก (53.55–61.46 μg/mL) คาเทชิน (23.89–51.41 μg/mL) และกรดเฟอร์ลูริก (10.82–51.34 μg/mL) นอกจากนี้ ยังสามารถเพิ่มความเข้มข้นของสารประกอบที่ให้กลิ่นหอมบางชนิด ในขณะที่ลดความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ลงได้

(Lyu et al., (2023) ศึกษาผลของความเข้มข้นของอีริทริทอลร้อยละ 0.0 1.0 3.0 5.0 7.0 และ 9.0 (w/w) ต่อคุณลักษณะของเยลลี่คาร์ราจีแนนรสพีช ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส พบว่าความเข้มข้นของอีริทริทอลในช่วงร้อยละ 0.0–5.0 มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเข้มข้นร้อยละ 5.0 นอกจากจะช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลแล้ว ยังลดการเกิด Syneresis อีกด้วย

(Lou et al., (2022) ทำการประเมินผลของการใช้ความดันสูง 300 และ 600 MPa เวลานาน 2 และ 6 นาที ตามลำดับ เปรียบเทียบกับกระบวนการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ต่ออายุการเก็บรักษา จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ การทำงานของเอนไซม์ และคุณลักษณะทางด้านคุณภาพของน้ำฮอร์ธอร์น เบอร์รี่ (Hawthorn Berry) หลังกระบวนการแปรรูปและระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการใช้ความดันสูง สามารถเก็บรักษาได้อย่างน้อย 150 วัน โดยค่าพีเอช และความเป็นกรดที่ไตเตรทได้ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE=4.98±0.03–5.10±0.07) และความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างการเก็บรักษา 30 วัน ($p<0.05$)

(Pokhrel et al., (2022) ศึกษาผลของความดันสูงต่อการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางเคมีกายภาพของน้ำส้มผสมแครอทที่ค่าพีเอชต่างกัน (พีเอช 4 5 และ 6) โดยใช้ความดัน 200–400 MPa ระยะเวลาไม่เกิน 5 นาที ในการยับยั้งเชื้อ *L. innocua* (ATCC 51742) ได้อย่างน้อย 5 log พบว่า ตัวอย่างน้ำส้มผสมแครอทที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 4 5 และ 6 ต้องใช้ความดัน 300 400 และ 400 MPa นาน 2 1 และ 3 นาที ตามลำดับ จึงจะสามารถลดเชื้อ *L. innocua* ลงได้มากกว่า 6 log

(Jessie et al., (2021) ศึกษาผลของการใช้ความดันสูงในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค *Escherichia coli* O157:H7 *Salmonella enterica* และ *Listeria monocytogenes* ในน้ำแอปเปิ้ล และเครื่องดื่มน้ำผลไม้ปรับกรดที่มีจำหน่ายทางการค้า โดยใช้แบบจำลอง log–linear และ Weibull ผลการทดลองพบว่า น้ำแอปเปิ้ล ต้องใช้ความดัน 600 MPa เป็นเวลา 1.5 นาที และเครื่องดื่มน้ำผลไม้ปรับกรดที่มีจำหน่ายทางการค้าต้องใช้ความดัน 550 MPa เป็นเวลา 1 นาที จึงจะสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคทั้ง 3 สายพันธ์ลงได้มากกว่า 5 log ตามลำดับ

(Sreedevi et al., (2021) การแปรรูปน้ำอ้อยด้วยการใช้แรงดันสูง 300–600 MPa อุณหภูมิ 30–60 องศาเซลเซียส และเวลานาน 10–25 นาที ต่อการยับยั้งการทำงานของโพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) เปอร์ออกซิเดส (POD) ความแตกต่างของสีทั้งหมด (TCD) ฟีนอลทั้งหมด (TP) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสัมพัทธ์ (AOX) ของน้ำอ้อยได้รับการประเมินโดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (RSM) พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ความดัน 523 MPa อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 11 นาที โดยมีค่า RSM ที่ต้องการ คือ 0.65 ค่าที่คาดการณ์ไว้ของการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO POD TCD TP และ AOX คือ ร้อยละ 62.0 59.0 2.8 33.0 มก. GAE/100 มล. และร้อยละ 95 ตามลำดับ ในสภาวะที่เหมาะสมนี้พบว่าสามารถลดเชื้อแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลางทั้งหมด และจำนวนเชื้อยีสต์และราลงได้ 5 log ด้วยการทำลายเชื้อก่อโรคโคลิฟอร์มได้อย่างสมบูรณ์

(Figueroa and Genovese (2019) ศึกษาชนิดของใยอาหารต่อคุณสมบัติของเยลลี่ผลไม้ โดยใช้ใยอาหารที่สกัดได้จากแอปเปิ้ล เยื่อไผ่ ไซเลี่ยมฮัสค์ และข้าวสาลี ตามลำดับ ปริมาณส่วนผสมต่อเยลลี่ 100 กรัม คือ น้ำแอปเปิ้ล 45.0 กรัม เพคติน 0.5 กรัม ซูโครส 34.0 กรัม กลูโคส 16.4 กรัม และน้ำ 3.6 กรัม โดยเสริมใยอาหารแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นร้อยละ 3.0 และใช้ใยอาหารสองชนิดร่วมกันที่อัตราส่วน 1:1 ความเข้มข้นร้อยละ 3.0 เช่นเดียวกัน ผลการทดลองพบว่าการเติมใยอาหารส่งผลให้คุณสมบัติทางด้านความหนืดเพิ่มขึ้น และค่าการขับน้ำออกจากเจลลดลง แสดงให้เห็นว่าใยอาหารช่วยเสริมความแข็งแรงของเจล และทำให้เจลมีความคงตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากเก็บรักษานาน 30 วัน ที่อุณหภูมิแช่เย็น

Ako (2015) รายงานผลของการให้อุณหภูมิที่ส่งผลต่อการเกิด Syneresis เป็นผลจากความยืดหยุ่นของเจล K–carrageenan ที่ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิ ความเข้มข้นของเกลือ (KCl) และปริมาณสารก่อเจล การเกิด Syneresis จะพบมาก (เกิดมาก) ในเจลที่มีความยืดหยุ่นปานกลาง (intermediate elasticity) และจะไม่พบการเกิด Syneresis ใน Strong elasticity gel หรือ Weak elasticity gel

Ramakrishna et al., (2015) พัฒนาสูตรเยลลี่ขนมหวานโดยใช้ Fructo oligosaccharides ร่วมกับ Sucralose ทดแทนน้ำตาลในสูตร นอกจากนี้ผลของการเติมสมุนไพร Coleus aromaticus ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ขนมหวานพบว่าสมุนไพรให้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ มีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน

5. การตรวจสอบสิทธิบัตร และอนุสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง

จากการตรวจสอบด้วยระบบสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตรออนไลน์ พบสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตรที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร จำนวน 65 รายการ ฐานข้อมูลสิทธิบัตรที่ทำการสืบค้น ได้แก่ 1) http://patentsearch.ipthailand.go.th/DIP2013/simplesearch.php keywords ที่ใช้ “เยลลี่ เยลลี่ผลไม้ และ เยลลี่พร้อมดื่ม”

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
06010 00167	ขนมเยลลี่สูตรโยเกิร์ต	ขนมเยลลี่สูตรโยเกิร์ตประกอบด้วยน้ำตาลฟรุตโตส คาราจีแนน ผงบุกกลิ่นสังเคราะห์ น้ำผลไม้ น้ำเปล่าสีธรรมชาติ กรดแลคติก และมีลักษณะพิเศษที่มีนมเปรี้ยวชนิดผงตามลำดับ	สิทธิบัตร	สุพล ชัยสถาพร	สุพล ชัยสถาพร
02010 00988	กรรมวิธีการทำไอศกรีม และกรรมวิธีการทำเยลลี่ให้ติดผิวด้านนอก	กรรมวิธีการทำไอศกรีมโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรรมวิธีการทำเยลลี่ให้ติดผิวของไอศกรีมตามการประดิษฐ์นี้จะทำให้ไอศกรีมมีลักษณะแปลกใหม่โดยมีเยลลี่ที่มีลักษณะเป็นเส้นติดที่ผิว	สิทธิบัตร	มาลัย สวัสดิ์ชูพงศ์	บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
	ของไอศกรีม	ด้านนอกของไอศกรีม น่ารับประทาน ขณะรับประทานสามารถดึงเส้นเยลลี่ออกมารับประทานเล่นได้หรืออาจทานเส้นเยลลี่พร้อมกับไอศกรีมได้			
02010 01604	สูตรการผลิตขนมเยลลี่คาร์ราจีแนนผสมบุกผง และน้ำส้มร้อยละ 15	สูตรการผลิตขนมเยลลี่คาร์ราจีแนนผสมบุกผงที่มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้ น้ำตาล ฟรุกโตส น้ำส้ม คาราจีแนนผง บุก น้ำ เจือสี แต่งกลิ่นสังเคราะห์ และใช้วัตถุกันเสียอื่น ๆ	สิทธิบัตร	ดรุณี ประสงค์ทรัพย์	สุพล ชัยสถาพร
03010 03057	กรรมวิธีการผลิตเยลลี่น้ำผลไม้สดพาสเจอร์ไรซ์	การผลิตเยลลี่น้ำผลไม้พาสเจอไรซ์ประกอบด้วยขั้นตอนที่มีลักษณะพิเศษที่การนำน้ำมันผลไม้มาปรับสภาพให้ได้ pH2.7-3.0จากนั้นทำให้เกิดเจลโดยใส่น้ำตาลหรือกรดมะนาว แล้วนำไปฆ่าเชื้อโดยพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 75-85องศาเซลเซียสนาน3-5นาทีก่อนนำไปบรรจุลงในภาชนะเก็บ รักษา	สิทธิบัตร	พรพิมล เลี้ยงสุทธิสกนธ์	พรพิมล เลี้ยงสุทธิสกนธ์
17010 06028	สารองค์ประกอบน้ำยาเยลลี่และอาหาร	สารองค์ประกอบน้ำยาเยลลี่ที่ไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนกับทำให้เย็นในการเตรียม อาหารในรูปเยลลี่โดยหลังจากทำให้ละลายในอาหารแล้วสามารถทำให้อาหารกลายเป็นเจลได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำให้เจลแข็งเกินไปตามการผ่านไปของเวลาและไม่ทำให้อาหารมีรสชาติแปลกในระดับที่เป็นปัญหา	สิทธิบัตร	เรียว อาราคาวะ นัทสึโยะ มัทสึอิ	เดอะนิชชิน ออยลิโอ กรุ๊ป, แอลทีดี.
15010 02056	เยลลี่ขึ้นรูปที่มีไส้เป็นน้ำผลไม้ และ	เยลลี่ขึ้นรูปที่มีไส้เป็นน้ำผลไม้และเนื้อผลไม้ตามการประดิษฐ์นี้มีส่วนผสม	สิทธิบัตร	วิชชา ตรีสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
	เนื้อผลไม้รวมทั้งกรรมวิธีการผลิต	ได้แก่น้ำผลไม้ และเนื้อผลไม้สารให้ความหวาน น้ำต้มสะอาดสารประกอบแคลเซียมและสารให้ความคงตัว กรรมวิธีการผลิตเริ่มจากล้างปอกเปลือกและตัดแต่งชิ้นเนื้อผลไม้นำไปนึ่งแล้วผึ่งให้เย็น บดด้วยเครื่องปั่นจนได้ของเหลวมีเนื้อหยาบหรือเนื้อเนียนละเอียดเติมสารให้ความคงตัวกลุ่มที่ 1 และสารประกอบแคลเซียมแล้วนำไปแช่เยือกแข็ง อุ่นสารให้ความคงตัวกลุ่มที่ 2 แล้วเติมส่วนผสมที่นำไปแช่เยือกแข็งจะได้เยลลี่ ผลไม้ขึ้นรูปมีไส้เป็นน้ำผลไม้และเนื้อผลไม้แล้วบรรจุใส่ภาชนะ		เกศศิณี ตระกูลทิวากร	
1501007639	สารทำให้เป็นเจลที่เหมาะสมกับการผลิตอาหารในรูปเยลลี่ที่มีแอกทีวิตีของเอนไซม์สลายเนื้อเยื่อพืชรวมอยู่	ส่วนผสมทำให้เป็นเจลผสมอยู่โดยไม่ทำให้เอนไซม์สูญเสียแอกทิวิตีโดยที่มีการผสมคาร์ราจีแนนชนิดแคปปาชนิดไอโอตา กับเจลแลนกัม ให้ความเข้มข้นของคาราจีแนนชนิดแคปปาหรือคาราจีแนนชนิดไอโอตาในของเหลวเตรียมเยลลี่นี้เป็นร้อยละ 0.23–0.27 โดยมวล และความเข้มข้นของเจลแลนกัมเป็นร้อยละ 0.080–0.090 โดยมวล ซึ่งการทำให้เป็นเจลไม่ถูกกดโดยเอนไซม์ย่อยจำพวกพอลิแซ็กคาไรด์อย่างน้อย 1 ชนิดที่มีกลุ่มเซลลูเลสหรือกลุ่มเฮมิเซลลูเลสผสมอยู่ในหมู่กลุ่มเซลลูเลสกลุ่มเพคตินเนสและ	สิทธิบัตร	ชิเซอิ คุนินากะ ชิเกมิ มาสุดะ มาซาอาคิ ไอเคย์ชิ อิโอฮาระ	มารุฮะ นิชิโระ คอร์ปอเรชั่น

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
		กลุ่มเฮมิเซลลูเลสที่คงเหลืออยู่ในของเหลวเตรียมเป็นเยลลี่			
12010 04092	เจลลี่โภชนารสมะม่วง	ประกอบด้วยน้ำร้อยละ 55.3 ผงวุ้นร้อยละ 0.27 เจลาตินร้อยละ 0.27 แซนแทนกัมร้อยละ 0.04 นมผงร้อยละ 10 เอนไซม์แลคเตสร้อยละ 0.05 น้ำตาลทรายร้อยละ 5.5 ซอร์บิทอลร้อยละ 2.84 เวย์โปรตีนร้อยละ 2.43 น้ำมันรำข้าวร้อยละ 0.9 เนื้อมะม่วงบดร้อยละ 21.8 กรดซิตริกร้อยละ 0.5 และสารแต่งกลิ่นมะม่วงร้อยละ0.1 ตามลำดับ	สิทธิบัตร	วิสิฐ จะวะสิต และคณะ	มูลนิธิทันตนวัตกรรมในพระบรมราชูปถัมภ์
12010 04093	เจลลี่โภชนารสชานม	ประกอบด้วยน้ำร้อยละ 73–76 ผงวุ้นร้อยละ 0.1–0.5 เจลาตินร้อยละ 0.1–0.5 แซนแทนกัมร้อยละ 0.04–0.09 นมผงร้อยละ 4–10 นมผงขาดมันเนยร้อยละ 3–9 เอนไซม์แลคเตสร้อยละ 0.02–0.06 มอลโตเดร็กซ์ตรินร้อยละ 4–8 ซอร์บิทอลร้อยละ 4–8 เวย์โปรตีนร้อยละ 1–4 น้ำมันรำข้าวร้อยละ 0.9–2.2 ผงชาร้อยละ 0.05–0.2 และสารแต่งกลิ่นชาร้อยละ 0.02–0.2 รวมทั้งกรรมวิธีการทำ	สิทธิบัตร	วิสิฐ จะวะสิต และคณะ	มูลนิธิทันตนวัตกรรมในพระบรมราชูปถัมภ์
98010 04790	เยลลี่กล้วยหอม	ประกอบด้วยเนื้อกล้วยหอมบด น้ำตาลทรายขาว คาร์ราจีแนน โปรแตสเซียมซิเตรท กรดซิตริก และสีผสมอาหารสังเคราะห์ และกรรมวิธีในการผลิตเยลลี่กล้วยหอมดังกล่าว	สิทธิบัตร	ลักขณา เอกปฐมศักดิ์	มูลนิธิจุฬาลงกรณ์

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
21010 06443	ผลิตภัณฑ์เยลลี่ปราศจากน้ำตาลที่มีสารสกัดใบมะรุมเป็นส่วนผสม	ส่วนประกอบสำคัญ คือ สารก่อเจล สารให้ความหวาน สารปรับรสชาติ และเพิ่มความคงตัว สารกันเสีย สารให้กลิ่นรสสังเคราะห์ และสารสกัดใบมะรุม	สิทธิบัตร	วารุณี เกตุวัตถา และคณะ	มหาวิทยาลัยบูรพา
17010 07129	เจลลี่จากน้ำตาลซูโครสผสมข้าวเจ้าเพื่อเป็นเจลสำหรับหล่อลื่นทางการแพทย์	เจลหล่อลื่นจากวัสดุผสมระหว่างซูโครสบริสุทธิ์ร้อยละ 99.95 กับผงแป้งข้าวเจ้าไทยชนิดละลายน้ำได้ มีลักษณะเป็นเจลเหลวข้นมีความหนืดในระดับกาวแป้งเปียกสามารถละลายน้ำได้ ง่ายต่อการทำความสะอาดไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางกลิ่น	สิทธิบัตร	สิทธิพร บุณยนิตย์ รังสฤษฏ์ คุณวุฒิวรางกูร บุณยนิตย์	สิทธิพร บุณยนิตย์ รังสฤษฏ์ คุณวุฒิวรางกูร บุณยนิตย์
06010 00511	ขนมเยลลี่คาราจีแนนผสมบุกผงและน้ำรังนกตุ๋น	ประกอบด้วยน้ำตาลร้อยละ 9.80–10.20 ฟรุตโตสร้อยละ 14.7–15.3 คาราจีแนนร้อยละ 0.98–1.02 ผงบุกร้อยละ 0.98–1.02 กลิ่นใบเตยร้อยละ 0.01–0.04 น้ำรังนกตุ๋นร้อยละ 10–20 น้ำร้อยละ 55.8–59.8 โปรแตสเซียมซิเตรทร้อยละ 0.05–0.15 โซเดียมมอัลจิเนตร้อยละ 0.01–0.09	สิทธิบัตร	สุพล ชัยสถาพร	สุพล ชัยสถาพร
16030 00864	ขนมเยลลี่สูตร ส่วนผสม และกรรมวิธีการผลิตขนมเยลลี่นั้น	ประกอบด้วย น้ำบริโภค น้ำผลไม้เข้มข้น หรือน้ำผักเข้มข้น หรือน้ำสมุนไพรเข้มข้น ที่ได้จากน้ำผลไม้ หรือน้ำผักหรือน้ำสมุนไพร หนึ่งชนิดหรือมากกว่า	อนุสิทธิบัตร	ปิยทิพย์ หุตะสิงห์ วันทนา โพธิ์แย้มจิตร์	บริษัท เฮสโก ฟู้ด อินดัสทรี่ จำกัด
12030 00934	กรรมวิธีการผลิตขนมไทยผสมผลไม้	กรรมวิธีการผลิตขนมอาลัวผสมผลไม้และถั่วในรูปเยลลี่ โดยใช้ผลไม้และถั่ว	อนุสิทธิบัตร	ณัฐดนัย รุจิรา	ณัฐดนัย รุจิรา

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
	และถั่วในรูปเยลลี่	มาผสมในอาลัว หลังจากที่กวนสุกแล้ว โดยใส่ผลไม้และถั่วในอัตราส่วนร้อยละ 1–60 แล้วนำไปอบ เพื่อให้ ขนมอยู่ในรูปตามคุณภาพที่ต้องการ			
14030 01156	ช็อกโกแลตไส้เยลลี่วาซาบิ	ประกอบด้วยน้ำตะไคร้ร้อยละ 18.0 น้ำเปล่าร้อยละ 12.05 น้ำตาลร้อยละ 29.52 กลูโคสไซรัปร้อยละ 4.82 เจลาตินร้อยละ 4.82 กรดซิตริกร้อยละ 0.42 ค็อตเตจชีสร้อยละ 8.98 เปปเปอร์มินต์ร้อยละ 0.18 วาซาบิร้อยละ 0.06 ดาร์กช็อกโกแลตร้อยละ 21.08	อนุสิทธิบัตร	มาตรฤดี ชุณหบัณฑิต และอารี ด้วงกำเหนิด	สำนักงานคณะกรรมการอาชีวศึกษา
17030 02158	สูตรคาราจีแนนเยลลี่ผักปลังและกรรมวิธีการผลิต	ประกอบด้วยเมือกผักปลัง น้ำตาลทราย กรดซิตริก และคาร์ราจีแนน มีกรรมวิธีการผลิตตามขั้นตอนดังนี้ นำเมือกผักปลังมาต้มให้ร้อน เติมน้ำตาลครึ่งส่วนแรก คนจนน้ำตาลละลายแล้ว ผสมคาร์ราจีแนน กรดซิตริก และน้ำตาลครึ่งส่วนที่เหลือ คนเบา ๆ ไม่ให้เกิดฟอง เทใส่ภาชนะบรรจุ ทิ้งไว้ให้คงตัวที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นแช่เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	อนุสิทธิบัตร	ธีรวรรณ สุวรรณ์ และคณะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
12030 01430	สูตรเยลลี่ที่มีส่วนผสมของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว	ประกอบด้วย เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวร้อยละ 39.16 น้ำตาลร้อยละ 23 คาร์ราจีแนนร้อยละ 1.59 ผลบุกร้อยละ 0.63 กรดซิตริกร้อยละ 0.5 น้ำร้อยละ 35.12	อนุสิทธิบัตร	ประภาพรรณ เพียรชอบ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
18030	สูตรเจลลี่ที่มี	ประกอบรวมด้วยเนื้อผลโกจิเบอร์รี่	อนุสิทธิบัตร	ชุติพงศ์	บริษัท กุยลิ้มฮึ้ง

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
02909	ส่วนผสมของเนื้อโกจิเบอร์รี่ บิลเบอร์รี่ และดอกดาวเรือง	ร้อยละ 10.0 เนื้อผลบิลเบอร์รี่ ร้อยละ 2.5 ดอกดาวเรืองร้อยละ 2.5 คาร์ราจีแนนร้อยละ 3.0 เจลาติน ร้อยละ 3.0 กลิ่นองุ่นร้อยละ 0.5 กรดซิตริกร้อยละ 0.3 ซูคราโลส ร้อยละ 0.05 โพแทสเซียมซอร์เบต 0.0075 โซเดียมเบนโซเอตร้อยละ 0.0075 และน้ำร้อยละ 78.135		กอร์ปอริยจิต	ปราชญา จำกัด
07030 00642	สูตรผลิตภัณฑ์เยลลี่คาราจีแนนเติมสารเสริมอาหารและกรรมวิธีการผลิต	ส่วนประกอบ คือ น้ำ คาราจีแนน น้ำตาลทรายหรือน้ำตาลฟรุกโตสหรือสารให้ความหวานแทนน้ำตาล น้ำพืชผักหรือน้ำผลไม้ กรดเพื่อปรับรสเปรี้ยว สารเสริมอาหาร กลิ่นรสของน้ำผลไม้ที่ใช้ และวัตถุกันเสีย ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน บรรจุในภาชนะที่เก็บรักษาคุณค่าของสารเสริมอาหารไว้	อนุสิทธิบัตร	สุรัช พัฒนวงศ์ยืนยง	บริษัท สหชลผลพืช จำกัด
14030 00551	เม็ดอมเยลลี่ที่มีส่วนผสมของน้ำตาลไซลิทอล ใยอาหารและแคลเซียม	ประกอบด้วยน้ำตาลไซลิทอล น้ำบริสุทธิ์ ใยอาหาร เจลาติน แคลเซียม วิตามินซี และสารปรุงแต่ง โดยแคลเซียมเลือกได้จากเกลือของแคลเซียม ได้แก่ ไดแคลเซียมมาเลต แคลเซียมแลคเตท แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมฟอสเฟต แคลเซียมเคซีเนต เคซีนฟอสโฟเปปไทด์–อะมอร์ฟัสแคลเซียมฟอสเฟต อย่างใดอย่างหนึ่งหรือรวมกัน สารปรุงแต่งเลือกได้จากเมลทอล สีผสมอาหาร กลิ่นผสมอาหาร	อนุสิทธิบัตร	อุษณีย์ พฤกษ์กานนท์	อุษณีย์ พฤกษ์กานนท์

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
		หรือกลิ่นผลไม้			
17030 01464	สูตรผสมเยลลี่ที่มีน้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้เป็นส่วนผสม	ประกอบด้วยน้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้ร้อยละ 2–10 สารให้ความหวานร้อยละ 3–15 น้ำผลไม้เข้มข้นร้อยละ 3–12 คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.1–2 โปตัสเซียมซิเตรทร้อยละ 0.2–0.8 สารแต่งกลิ่นผลไม้ร้อยละ 0.02–0.2 วุ้นน้ำมะพร้าวร้อยละ 4–10 น้ำร้อยละ 50–85	อนุสิทธิบัตร	กัญญรัตน์ กัญญาคำ และคณะ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
17030 02270	สูตรเยลลี่ใบย่านางพร้อมดื่มและกรรมวิธีการผลิต	ส่วนผสม คือ น้ำใบย่านาง น้ำตาล คาร์ราจีแนน ผงบุก และกรดซิตริก โดยมีกรรมวิธีการผลิตตามขั้นตอนดังนี้ เตรียมน้ำใบย่านาง โดยใช้อัตราส่วนใบย่านางร้อยละ 30 ต่อน้ำ ร้อยละ 70 ต้มน้ำใบย่านางและเติมน้ำตาลทรายร้อยละ 50 คนจน น้ำตาลทรายละลายหมด จากนั้นเติมคาร์ราจีแนน ผงบุก และกรดซิตริก คนเบาๆ ไม่ให้ เกิดฟองจนส่วนผสมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน นำส่วนผสมที่เตรียมได้เทลงในภาชนะบรรจุ และนำไปแช่เย็นในตู้เย็น	อนุสิทธิบัตร	ธีรวรรณ สุวรรณ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
16030 02267	เจลลี่ผงที่มีองค์ประกอบทางกายภาพและโภชนาการสำหรับผู้มีปัญหาการเคี้ยวและกลืน	ประกอบด้วยโปรตีนที่เลือกได้จาก เวย์โปรตีนและโซเดียมเคซิเนต คาร์โบไฮเดรตจากมอลโตเดรกซ์ตรินและซอร์บิทอล เจลาติน ผงวุ้น แซนแทนกัม ครีมเทียมหรือกะทิผงและวิตามินรวม ในรูปแบบผง เมื่อผ่านการ	อนุสิทธิบัตร	วิสิฐ จะวะสิต และคณะ	มหาวิทยาลัยมหิดล

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
		ต้มจนเดือดในหม้อสองชั้นที่มีน้ำหล่อ นำไปแช่ตู้เย็น จะทำให้มีลักษณะเป็น เจลลี่ก้อนที่อ่อนนุ่ม			
17030 02494	สูตรเครื่องดื่มเยลลี่จากน้ำคั้นต้นอ่อนข้าวและกรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าว	ประกอบด้วย น้ำคั้นต้นอ่อนข้าว สารแต่งรสหวาน สารแต่งรสเปรี้ยว คาร์ราจีแนน ผสมกันตามสัดส่วนที่คิดค้นขึ้น จนได้ผลิตภัณฑ์เป็นสูตรการผลิตเครื่องดื่มเจลลี่ที่มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว มีสีเขียวและกลิ่นรสของน้ำคั้นต้นอ่อนข้าวตามธรรมชาติ โดยมีกรรมวิธีการผลิตคือนำน้ำคั้นต้นอ่อนข้าวมาปรุงแต่งด้วยสารแต่งรสหวาน สารแต่งรสเปรี้ยว และทำให้เกิดเจลหรือวุ้นแบบอ่อนโดยการเติมคาร์ราจีแนนและให้ความร้อน	อนุสิทธิบัตร	รัตนามณี ชมชาญ และคณะ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
20030 01630	สูตรส่วนผสมและกรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่แก่นตะวัน	ประกอบด้วย น้ำแก่นตะวันเข้มข้น สารให้ความหวานไอโซมอลทูโรส เจลาติน น้ำผึ้ง กลูโคสไซรัป และกรดซิตริก มีกรรมวิธีการผลิตคือ นำหัวแก่นตะวันสดที่ผ่านการล้างน้ำสะอาดมาปอกเปลือกหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ สกัดน้ำแก่นตะวันด้วยการปั่นผสมกับน้ำสะอาด กรองด้วยผ้าขาวบาง แล้วทำให้เข้มข้นโดยต้มระเหยน้ำออก จากนั้นนำน้ำแก่นตะวันเข้มข้นผสมกับส่วนผสมทั้งหมด คนผสมตลอดเวลาภายใต้ความร้อนเพื่อให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เทลงแม่พิมพ์ทิ้งให้เซทตัว	อนุสิทธิบัตร	รัชนี เจริญพงศกร และคณะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
		ภายใต้อุณหภูมิแช่เย็น			
19030 03152	สูตรเยลลี่กล้วยน้ำว้าพร้อมดื่มเสริมไฮโดรบีดส์โพรไบโอติก และกรรมวิธีการผลิต	ประกอบด้วยน้ำกล้วยน้ำว้า ไฮโดรบีดส์โพรไบโอติก คาร์ราจีแนน มีกรรมวิธีการผลิต คือ การผลิตไฮโดรบีดส์โพรไบโอติกจากจุลินทรีย์ 2 สายพันธุ์ คือ *Lactobacillus piantarum* และ *Pediococcus pentosaceus*	อนุสิทธิบัตร	ปาลิดา ตั้งอนุรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
18030 02908	สูตรเยลลี่ที่มีส่วนผสมของถั่งเช่า และลำไยอบแห้ง	ประกอบรวมด้วยถั่งเช่าร้อยละ 9.0 เนื้อลำไยอบแห้งร้อยละ 5.0 น้ำตาลฟรุกโตสร้อยละ 5.0 คาร์ราจีแนนร้อยละ 3.0 เจลาตินร้อยละ 3.0 กลิ่นสตรอว์เบอร์รี่ร้อยละ 0.5 กรดซิตริก ร้อยละ 0.3 ซูคราโลสร้อยละ 0.05 โพแทสเซียมซอร์เบตร้อยละ 0.0075 โซเดียมเบนโซเอตร้อยละ 0.0075 และน้ำร้อยละ 74.235	อนุสิทธิบัตร	ชุติพงศ์ กอร์ปอริยจิต	บริษัท กุยลิ้มฮึ้ง ปราชญา จำกัด
18030 02910	สูตรเยลลี่ที่มีส่วนผสมของโสม แปะก๊วย และพุทราจีน	ประกอบรวมด้วยโสมร้อยละ 5.0 แปะก๊วยร้อยละ 2.5 และพุทราจีนร้อยละ 2.5 คาร์ราจีแนนร้อยละ 3.0 เจลาตินร้อยละ 3.0 กลิ่นโสมร้อยละ 0.5 กรดซิตริกร้อยละ 0.3 ซูคราโลสร้อยละ 0.05 โพแทสเซียมซอร์เบตร้อยละ 0.0075 โซเดียมเบบโซเอตร้อยละ 0.0075 และน้ำร้อยละ 83.135	อนุสิทธิบัตร	ชุติพงศ์ กอร์ปอริยจิต	บริษัท กุยลิ้มฮึ้ง ปราชญา จำกัด
19030 00108	เยลลี่มะม่วงผง	ประกอบด้วยมะม่วงผงร้อยละ 20–40 น้ำตาลซูโครสร้อยละ 10–20 น้ำตาลแมนนิทอลร้อยละ 2–5	อนุสิทธิบัตร	ปิยะดา อาชายุทธการ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
		มอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 20–50 กรดซิตริกร้อยละ 0.25 คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5–2 สีผสมอาหารสีเหลืองร้อยละ 0.01			
19030 01402	สูตรอาหารเจลสำหรับผู้ที่มีปัญหาการเคี้ยวและกลืน	มีส่วนประกอบดังนี้ หัวกะทิ นมปราศจากแลคโตส สารให้ความหวานน้ำหวานดอกมะพร้าว เกลือ น้ำมันรำข้าว ผงวุ้น ผงเจลาติน เวย์โปรตีนฟักทอง เมล็ดแมงลัก และน้ำ	อนุสิทธิบัตร	ณิตชาธร ภาโนมัยธีรภัทร์ และทัตสุระ เรืองวิชา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
19030 03270	เยลลี่ข้าวไรซ์เบอรี่ผสมหญ้าหวานและกรรมวิธีการผลิต	ประกอบด้วยน้ำข้าวไรซ์เบอรี่ สารละลายหญ้าหวาน น้ำมะนาว น้ำตาล และคาร์ราจีแนน เริ่มจาก ล้างทำความสะอาดข้าวไรซ์เบอรี่ชั่งน้ำหนักและนำไปต้มให้เดือด นาน 5 นาที กรองแยกเมล็ดข้าวออก การเตรียมน้ำหญ้าหวานความเข้มข้นร้อยละ 2 ทำโดยชั่งหญ้าหวาน 2 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม นำไปต้มที่อุณหภูมิ 80–90 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นนำน้ำข้าวไรซ์เบอรี่ผสมน้ำหญ้าหวาน มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เติมน้ำมะนาว คาร์ราจีแนน และน้ำตาลทราย ต้มจนส่วนผสมละลายหมดและเทใส่ภาชนะบรรจุหรือถ้วยพลาสติกแบบมีฝาปิด	อนุสิทธิบัตร	เอนก หาลี	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
20030 00056	เยลลี่เสาวรสเสริมหญ้าหวานและกรรมวิธีการผลิต	ประกอบด้วย เสาวรส น้ำหญ้าหวานเข้มข้นร้อยละ 2 น้ำตาลทราย น้ำสะอาด คาร์ราจีแนนและสารเพิ่ม	อนุสิทธิบัตร	เอนก หาลี	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
		ความคงตัว (CMC) โดยขั้นตอนเริ่มการเตรียมน้ำหญ้าหวานความเข้มข้นร้อยละ 2 ทำโดยชั่งหญ้าหวาน 2 กรัม ต่อน้ำ 100 กรัม นำไปต้มที่อุณหภูมิ 80–90 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นนำน้ำเสาวรส น้ำหญ้าหวานความเข้มข้นร้อยละ 2 และน้ำสะอาดมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เติมคาร์ราจีแนน สารเพิ่มความคงตัว (CMC) และน้ำตาลทรายตั้งไฟให้ได้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนส่วนผสมทั้งหมดละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน เทใส่ภาชนะบรรจุหรือถ้วยพลาสติกแบบมีฝาปิด			
19030 00847	สูตรผลิตภัณฑ์เยลลี่ใบบัวหลวง	ประกอบด้วยน้ำใบบัวหลวง น้ำตาล สารให้ความคงตัว คาร์ร่าจีแนน สารโพแทสเซียมซิเตรท กรดซิตริก และน้ำบริสุทธิ์	อนุสิทธิบัตร	อินทิรา ลิจันทร์พร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
15030 00798	เยลลี่คาราจีแนนที่มีส่วนผสมของน้ำใบย่านาง	ประกอบด้วยน้ำใบย่านาง น้ำผึ้ง เจลาติน คาร์ราจีแนน และน้ำสะอาด เป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพป้องกันการทำลายสมองจากพิษแอลกอฮอล์ พร้อมรับประทาน มีกรรมวิธีการผลิต คือ นำใบย่านางมาคั้นจนได้น้ำ เติมคาร์ราจีแนนแล้วนำไปให้ความร้อน คนจนละลายและดับไฟ เติมน้ำผึ้งและแผ่นเจลาติน คนจนส่วนผสมเข้ากัน แล้วนำไปเทลงบนแม่พิมพ์หรือ	อนุสิทธิบัตร	จินตนาภรณ์ วัฒนธร และคณะ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
		ถาด พักไว้ให้เย็นและขึ้นรูปเป็นเจลลี่			
18030 00648	เยลลี่มะม่วง	ประกอบด้วยน้ำมะม่วง น้ำตาลซูโครส น้ำตาลแมนโนส น้ำ กรดซิตริก คาร์ราจีแนน ผงบุก และสีผสมอาหารสีเหลือง รวมทั้งกรรมวิธีการทำเยลลี่มะม่วง	อนุสิทธิบัตร	ปิยะดา อาชายุทธการ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
19030 01677	สูตรเยลลี่ที่มีส่วนผสมของสมุนไพร	ประกอบด้วย น้ำชาใบย่านาง น้ำใบบัวบก น้ำใบเตย ผงวุ้น น้ำตาลทราย และกลิ่นมะลิ	อนุสิทธิบัตร	ศิวัฒ ไทยอุดม และคณะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
20030 02358	เครื่องดื่มเยลลี่น้ำกิมจิ และกรรมวิธีการผลิต	ส่วนประกอบ คือ น้ำตาลดอกมะพร้าว แป้งข้าวเหนียว หอมหัวใหญ่บด พริกชี้ฟ้าแดงใหญ่บด กระเทียมบด ขิงบด สาลี่บด แอปเปิ้ลบด พริกเกาหลีป่น น้ำปลาสูตรโซเดียมต่ำ ผักกาดขาวหั่นชิ้น แครอทเส้น หัวไชเท้าเส้น ต้นหอมหั่นท่อน น้ำผึ้ง คาร์ราจีแนน กรดซิตริก เกลือ และน้ำตาลทรายแดง	อนุสิทธิบัตร	จินตนาภรณ์ วัฒนธร และวิภาวี ทูคำมี	สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร
19030 03005	สูตรเยลลี่ที่มีส่วนผสมของน้ำกระเจี๊ยบ	ส่วนประกอบ คือ น้ำกระเจี๊ยบ น้ำบีทรูท แก่นตะวัน น้ำตาล และสารก่อเจล เพื่อผลิตเจลลี่สำเร็จรูปพร้อมรับประทานที่มีคุณค่าทางโภชนาการและเส้นใยอาหารสูง	อนุสิทธิบัตร	ฉัตรธร ศรีวงษ์ และคณะ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
04030 00304	ขนมเยลลี่คาร์ราจีแนนกลิ่นรสผลไม้	สัดส่วนของผลบุกและสัดส่วน ของน้ำผลไม้ที่ใช้ต่างจากเดิม ประกอบด้วยชิ้นขนมเยลลี่ที่มีรูปทรงเรขาคณิตกระจายอยู่ในขนมเยลลี่พื้นฐาน โดยขนมเยลลี่ที่มีรูปทรงเรขาคณิตขนาดเล็กกว่าจะอยู่ภายในขนมเยลลี่รูปทรง	อนุสิทธิบัตร	สุพล ชัยสถาพร	สุพล ชัยสถาพร

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
		เรขาคณิตที่ใหญ่กว่า			
04030 00305	กรรมวิธีผลิตขนมเยลลี่คาราจีแนนกลิ่นผลไม้ที่มีชิ้นขนมเยลลี่รูปทรงเรขาคณิตกระจายอยู่ในขนมเยลลี่พื้นฐาน	ประกอบด้วย ผสมส่วนผสมต่าง ๆ ตามสูตร การขึ้นรูปชิ้นขนมเยลลี่ให้เป็นรูปทรงเรขาคณิตซ้อนกัน และการทำให้ชิ้นขนมเยลลี่รูปเรขาคณิตกระจายในขนมเยลลี่พื้นฐาน	อนุสิทธิบัตร	สุพล ชัยสถาพร	สุพล ชัยสถาพร
19030 02381	เยลลี่ที่มีส่วนผสมของไข่ขาว	ประกอบด้วย ไข่ขาว น้ำผึ้ง เกลือ น้ำผักสกัด น้ำมะนาว สารก่อเจล และเอ็น–อะเซทิล–ดี–กลูโคซามีน (N–acetyl–D–glucosamine) โดยผสมส่วนประกอบ ทั้งหมดให้เข้ากันแล้วทำการให้ความร้อนเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เจลลี่ไข่ขาว	อนุสิทธิบัตร	ทักษพร จอกลอย และคณะ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
19030 03158	ผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่มีส่วนผสมของกระชาย	ผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่มีส่วนผสมของกระชาย ประกอบด้วย สารก่อเจล สารให้ความหวาน วิตามินและกระชาย	อนุสิทธิบัตร	ภาณุพงศ์ พุทธรักษ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
21030 00442	กัมมี่เยลลี่สมุนไพรเสริมพรีไบโอติกและวิธีการผลิต	ประกอบด้วย น้ำ สารที่ทำให้เกิดเจล สารให้ความหวาน พรีไบโอติก สารควบคุมความเป็นกรด และสารสกัดสมุนไพร เพื่อให้ได้กัมมี่เยลลี่สมุนไพรที่มีฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ เป็นสารให้ความหวาน และเป็นพรีไบโอติก และยังช่วยลดปริมาณน้ำตาล และปริมาณกลูโคสไซรัป	อนุสิทธิบัตร	สิรินดา กุสุมภ์ และคณะ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
06030 01889	สูตรผลิตภัณฑ์เยลลี่คาร์ราจีแนนเติมสารเสริมอาหารและกรรมวิธีการผลิต	ผลิตภัณฑ์เจลลี่เติมสารเสริมอาหารและกรรมวิธีการผลิตมีลักษณะเฉพาะโดยการนำส่วนประกอบ คือ น้ำคาร์ราจีแนน น้ำตาลทราย น้ำผลไม้ กรดซิตริก และสารเสริมอาหาร ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน บรรจุในภาชนะเก็บรักษาคุณค่าของสารเสริมอาหารไว้	อนุสิทธิบัตร	สุรัช พัฒนวงศ์ยืนยง	บริษัท สหชลผลพืช จำกัด
16030 00495	เยลลี่เสาวรสผสมผงบุก	มีส่วนประกอบ คือ ผงบุก เจลาติน น้ำตาลเดรกโตรส น้ำเสาวรส และ น้ำสะอาด โดยมีกรรมวิธีการผลิต คือ คือ นำผงบุก เจลาติน เดรกโตรส น้ำเสาวรส และน้ำสะอาด ผสมเข้าด้วยกัน คนไปในทางเดียวกันโดยใช้ความร้อนที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที จะได้น้ำเยลลี่ และเทลงในพิมพ์ แล้วนำไปลดอุณหภูมิลงด้วยการนำไปแช่ในตู้แช่แข็ง 10 นาที จึงยกออก แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เยลลี่คงรูป บรรจุเยลลี่เสาวรสผสมผงบุงลงในซองพลาสติกและปิดซองให้สนิท	อนุสิทธิบัตร	จิตต์ใส แก้วบุญเรือง	สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา
06030 00107	การผลิตเจลลี่สาหร่ายเห็ดลาบ	ประกอบด้วย น้ำผลไม้ น้ำตาล กรดซิตริก สาหร่ายเห็ดลาบ คาร์ราจีแนน กลิ่น โพแทสเซียมซิเตรท และสี อัตราส่วน 500:175:15:4:3: 2.5:1:0.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และทำให้มีผลิตภัณฑ์เจลลี่สาหร่ายเห็ดลาบที่ใช้บริโภคได้ตลอดทั้งปี	อนุสิทธิบัตร	อาภารัตน์ มหาขันธ์ และคณะ	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
21030	สูตรและกรรมวิธี	ส่วนผสม ได้แก่ น้ำหยวกกล้วยน้ำว้า	อนุสิทธิบัตร	ศรีเวียง	มหาวิทยาลัย

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
01725	การผลิตเยลลี่พร้อมดื่มจากน้ำหยวกกล้วยน้ำว้าเสริมใยสับปะรด	น้ำสับปะรด และน้ำตาลไม่ฟอกสี ปรับรสชาติและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ จากนั้นเติมเส้นใยสับปะรดและกรดซิตริก ปรับค่าพีเอช แล้วจึงเติมคาร์ราจีแนน คนให้ละลาย เทใส่แม่พิมพ์ พักไว้จนเซ็ทตัว จะได้เยลลี่พร้อมดื่มจากน้ำหยวกกล้วยน้ำว้าเสริมเส้นใยสับปะรด		ฤทธิศักดิ์ และคณะ	เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
10030 01102	ขนมเยลลี่ที่มีมะม่วงสุกเป็นส่วนประกอบ	ประกอบด้วย น้ำบริสุทธิ์ 500 กรัม โซเดียมซิเตรท 2.60 กรัม โซเดียมอัลจิเนท 3.60 กรัม เนื้อมะม่วงสุก 500 กรัม รวมทั้งกรรมวิธีการทำขนมเยลลี่ที่มีมะม่วงสุกเป็นส่วนประกอบนี้	อนุสิทธิบัตร	สุรวุฒิ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา	สุรวุฒิ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา
10030 01103	ขนมเยลลี่ที่มีใบบัวบกเป็นส่วนประกอบ	ประกอบด้วย น้ำบริสุทธิ์ 500 กรัม โซเดียมซิเตรท 4.50 กรัม โซเดียมอัลจิเนท 3.50 กรัม ใบบัวบก 500 กรัม รวมทั้งกรรมวิธีการทำขนมเยลลี่ที่มีใบบัวบกเป็นส่วนประกอบนี้	อนุสิทธิบัตร	สุรวุฒิ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา	สุรวุฒิ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา
10030 01104	ขนมเยลลี่ที่มีแห้วเป็นส่วนประกอบ	ประกอบด้วย น้ำบริสุทธิ์ 500 กรัม โซเดียมอัลจิเนท 3.00 กรัม เนื้อแห้ว 500 กรัม รวมทั้งกรรมวิธีการทำขนมเยลลี่ที่มีแห้วเป็นส่วนประกอบนี้	อนุสิทธิบัตร	สุรวุฒิ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา	สุรวุฒิ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา
10030 01105	ขนมเยลลี่ที่มีลำไยเป็นส่วนประกอบ	ประกอบด้วย น้ำบริสุทธิ์ 300 กรัม โซเดียมอัลจิเนท 3.00 กรัม น้ำลำไย 200 กรัม รวมทั้งกรรมวิธีการทำขนมเยลลี่ที่มีลำไยเป็นส่วนประกอบ	อนุสิทธิบัตร	สุรวุฒิ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา	สุรวุฒิ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา
10030 01106	ขนมเยลลี่ที่มีผลไม้เป็นส่วนประกอบ	ประกอบด้วย น้ำบริสุทธิ์ 500 กรัม โซเดียมอัลจิเนท 4.00 กรัม เนื้อ	อนุสิทธิบัตร	สุรวุฒิ สนิทวงศ์	สุรวุฒิ สนิทวงศ์

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
		แครรอท หรือ เนื้อสัปปะรด 500 กรัม รวมทั้งกรรมวิธีการทำขนมเยลลี่ที่มีผลไม้เป็นส่วนประกอบนี้		ณ อยุธยา	ณ อยุธยา
10030 01107	ขนมเยลลี่ที่มีแตงโมเป็นส่วนประกอบ	ประกอบด้วย น้ำบริสุทธิ์ 500 กรัม โซเดียมอัลจิเนท 6.00 กรัม เนื้อแตงโม 500 กรัม รวมทั้งกรรมวิธีการทำขนมเยลลี่ที่มีแตงโมเป็นส่วนประกอบนี้	อนุสิทธิบัตร	สุรวุฒิ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา	สุรวุฒิ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา
10030 01109	ขนมเยลลี่ที่มีผลไม้เป็นส่วนประกอบ	ประกอบด้วย น้ำบริสุทธิ์ 500 กรัม โซเดียมอัลจิเนท 1.60 กรัม เนื้อส้มเขียวหวาน หรือ เนื้อแอปเปิ้ล 500 กรัม รวมทั้งกรรมวิธีการทำขนมเยลลี่ที่มีผลไม้เป็นส่วนประกอบนี้	อนุสิทธิบัตร	สุรวุฒิ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา	สุรวุฒิ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา
18030 01714	เยลลี่ผสมเม็ดเจลบีดส์ฟักข้าวปรุงแต่งอินูลินและกรรมวิธีการผลิต	คือ น้ำผลไม้ อินูลินมอลทิทอล ซูคราโลส สารแต่งกลิ่น กรดซิตริก คาร์ราจีแนน เม็ดเจลบีดส์ฟักข้าวปรุงแต่งอินูลิน และน้ำ โดยเม็ดเจลบีดฟักมี ฟักข้าว อินูลินโซเดียมอัลจิเนต คาร์ราจีแนน สารแต่งกลิ่น และน้ำ	อนุสิทธิบัตร	สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล และคณะ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
07030 00940	เยลลี่คาร์ราจีแนนรสผลไม้	ประกอบด้วยน้ำตาล คาร์ราจีแนน โซเดียมเบนโซเอท กรดมาลิก กรดซิตริค น้ำ โลคัสบีนกัม ไตรโปแตสเซียมซิเตรท โปแตสเซียมซอร์เบท สี และกลิ่นผลไม้ในสัดส่วนกำหนดและตามขั้นตอนการผลิตเพื่อให้ได้เยลลี่ที่มีรสชาติ กลิ่น และสีเหมือนผลไม้ชนิดที่ต้องการ	อนุสิทธิบัตร	สุพล ชัยสถาพร	สุพล ชัยสถาพร
13030 01506	ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ที่มีเลือด	ประกอบด้วย น้ำ สารให้ความหวาน ไซรัป เจลาติน ผงเลือดจระเข้ระเหิด	อนุสิทธิบัตร	จินดาวรรณ สิรันทวิเนติ และ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
	จระเข้ระเหิดแห้งเป็นส่วนผสม	แห้ง วิตามินซี สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ กระบวนการผลิตประกอบด้วย การเตรียมสารละลายเจลาตินใส การเตรียมสารละลายน้ำตาลใส และการเตรียมสารแขวนลอยของเลือดจระเข้ระเหิดแห้ง		คณะ	
17030 01791	สูตรเยลลี่น้ำผักรวม และกรรมวิธีการผลิต	มีส่วนประกอบดังนี้ น้ำผักรวม (น้ำแครรอท น้ำกะหล่ำปลีม่วง น้ำมะเขือเทศ และน้ำแตงกวา) คาร์ราจีแนน น้ำตาลทราย กรดซิตริก น้ำสะอาด ผ่านกรรมวิธีการผลิตและการฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิ 90–100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 18–25 นาที แล้วทำให้เย็นทันที บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาช์	อนุสิทธิบัตร	คำรบ สมะวรรธนะ และคณะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
18030 00228	ผลิตภัณฑ์เยลลี่ให้ความชุ่มชื้นในช่องปาก	ประกอบด้วย สารสกัดแอนโทไซยานินจากข้าว สารช่วยให้ความชุ่มชื้น สารให้ความหวาน สารเพิ่มความคงตัว สารทำให้ข้น และน้ำ ใช้ในการบรรเทาอาการปากแห้ง และภาวะแทรกซ้อน เช่น การอักเสบที่เกิดขึ้นในช่องปาก จึงช่วยรักษาอาการอักเสบและแผลในช่องปาก	อนุสิทธิบัตร	ศรันยา ตันเจริญ	มหาวิทยาลัยมหิดล
19030 02841	เยลลี่จากบุกที่มีส่วนผสมของผงบุกสกัดและกรรมวิธีการผลิต	พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพในด้านการลดปริมาณน้ำตาล ทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขับถ่าย ของระบบลำไส้ ทดแทนการบริโภคผักผลไม้ในผู้สูงอายุ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เส้นบุกอบแห้ง เยลลี่จากบุก	อนุสิทธิบัตร	ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล	สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร

หมายเลข	ชื่อทรัพย์สินทางปัญญา	บทสรุปการประดิษฐ์	ประเภท	ผู้ประดิษฐ์	ผู้ครอบครองสิทธิ์
		เยลลี่บุกชินไบโอติก รวมถึงการทำฟิล์มเคลือบจากบุก			
19030 02842	เยลลี่บุกชินไบโอติก ที่มีส่วนผสมของผงบุกสกัดและวิธีการผลิต	พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เส้นบุกอบแห้ง เยลลี่จากบุก เยลลี่บุกชินไบโอติก การทำฟิล์มเคลือบจากบุก	อนุสิทธิบัตร	ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล	สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร
20030 03401	เยลลี่ผสมผงลูกหม่อน และกรรมวิธีการผลิตดังกล่าว	กรรมวิธีการผลิตดังกล่าว เริ่มจากนำผงวุ้นใส่ลงในน้ำลูกหม่อนสกัดร้อยละ 50 แล้วนำไปต้มด้วยไฟอ่อนแล้วคนผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ส่วนผสมมีอุณหภูมิเย็นลง จากนั้นนำผงลูกหม่อนใส่ลงในส่วนผสมที่ได้แล้วปั่นส่วนผสมให้เข้ากัน และวัดอุณหภูมิให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง แล้วเทใส่ภาชนะบรรจุ จากนั้นนำเข้าแช่เย็นจะได้เป็นเยลลี่ที่มีส่วนผสมของผงลูกหม่อน	อนุสิทธิบัตร	อุไรภรณ์ บูรณสุขสกุล	มหาวิทยาลัยบูรพา

ที่มา: กรมทรัพย์สินทางปัญญา (2567)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการวิเคราะห์

1.1 วัตถุดิบ

1.1.1 กล้วยน้ำว้า สายพันธ์มะลิอ่อง จาก บริษัท เนเจอร์ มี โกบอล จำกัด

1.1.2 น้ำเชื่อมกลิ่นเสาวรส (Passionfruit syrup) ยี่ห้อ ติ่งฟง, ประเทศไทย

1.1.3 น้ำเชื่อมกลิ่นน้ำผึ้งมะนาว (Honey lemon syrup) ยี่ห้อ ติ่งฟง, ประเทศไทย

1.1.4 น้ำเชื่อมกลิ่นลิ้นจี่ (Lychee syrup) ยี่ห้อ ติ่งฟง, ประเทศไทย

1.1.5 น้ำตาลทราย (Sugar) ยี่ห้อ มิตรผล, ประเทศไทย

1.1.6 กรดซิตริก (Citric acid) ยี่ห้อ เพชร, ประเทศไทย

1.1.7 พาลาทีน (Palatyne) ยี่ห้อ อีทเวล (Eat well), ประเทศไทย

1.1.8 โพลีเดกส์โตรส (Polydextrose) ยี่ห้อ อินฟินิตี้ฟู้ดส์ (Infinityfood), ประเทศจีน

1.1.9 คาร์ราจีแนน (Carrageenan) ยี่ห้อ วาดาเบเกอร์ (Wahdabaker) ประเทศเยอรมันนี

1.1.10 กลูโคแมนแนน (Glucomannan) ยี่ห้อ ยูซีเอส (UCS), ประเทศไทย

1.1.11 โลคัสบีนกัม (Locust bean gum) ยี่ห้อซิกมา (Sigma), ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.1.12 โซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate) ยี่ห้อ เคมีภัณฑ์, ประเทศไทย

1.1.13 แคลเซียมแลคเตต (Calcium lactate) ยี่ห้อ เคมีภัณฑ์, ประเทศไทย

1.2 สารเคมี และอาหารเลี้ยงเชื้อ

1.2.1 สารละลายเปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (Merck, Germany)

1.2.2 Plate count agar (Merck, Germany)

1.2.3 Dichloran rose bengal chloramphenicol (DRBC) agar (Merck, Germany)

1.2.4 Lauryl sulfate lactose broth (LST) (Merck, Germany)

1.2.5 Brilliant green lactose bile (BGLB) broth (Merck, Germany)

1.2.6 Baird–Parker agar (Merck, Germany)

1.2.7 Egg yolk tellurite emulsion 20% sterile (Merck, Germany)

1.2.8 Tryptose sulfite cycloserine (TSC) agar (Merck, Germany)

1.2.9 Egg yolk emulsion sterile (Merck, Germany)

1.2.10 *Clostridium perfringens* selective supplement (Merck, Germany)

1.2.11 Selenite cystine broth (SCB) (Merck, Germany)

1.2.12 Bismuth sulphite (BS) agar (Merck, Germany)

1.2.13 Deoxycholate citrate (DC) agar (Merck, Germany)

1.2.14 MacConkey (MAC) agar (Merck, Germany)

1.2.15 หลอดอาหารเอียง (Slant) Triple sugar iron (Merck, Germany)

1.2.16 หลอดอาหารเอียง (Slant) Lysine iron (LI) agar (Merck, Germany)

1.2.17 หลอดอาหารเอียง (Slant) Urea agar (Merck, Germany)

1.2.18 AnaeroPack–Anaero–2.5 L (AnaeroPack TM Mitsubishi gas chemical company, INC, Japan)

1.3 เครื่องมือ

1.3.1 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) (TA.XT.Plus, Stable Micro Systems Ltd., England) ใช้หัววัด SMS P/6 (Chewy confectionery item) และหัววัด SMS P/36R (Gummy confectionery item) สำหรับความแข็งของเจล (Hardness) และความยืดหยุ่น (Springiness)

1.3.2 เครื่องวัดค่าสี (Hunter Lab) (Hunter Lab Colorflex 4510, Colorflex®, Hunter Association Laboratory, Inc., USA)

1.3.3 เครื่องวัดความข้นหนืด (Brookfield viscometer) (RVDV–II+ ,Brookfield, Germany)

1.3.4 เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติการไหล (Rheometer) (MCR92/Anton Paar, Austria)

1.3.5 เครื่องวัดค่า a_w (06080031B, Aqua Lab, USA)

1.3.6 เครื่องวัดค่าพีเอช (pH–meter) (PB–10, Sartorius, Germany)

1.3.7 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Hand refractometer) (2373–E04, ATAGO CO., LTD., Japan)

1.3.8 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (FX–200i/AND, A&D Company limited, Japan)

1.3.9 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Extend ED224S, Sartorius, Germany)

1.3.10 กล้องจุลทรรศน์ชนิด Compound (BH-2/Kruss, Germany)

1.3.11 ตู้ BioHazard safety (LCD–903B/Bench, Daihan Labtech, Korea)

1.3.12 ตู้บ่มเชื้อ 37 องศาเซลเซียส (LDO–150E/Latech, Daihan Labtech, Korea)

1.3.13 ตู้บ่มเชื้อ 30 องศาเซลเซียส (IP20/ WTC binder, Binder, Germany)

1.3.14 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (LAC–5040S/Labtech, Daihan Labtech, Korea)

1.3.15 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (WAC–60/Wise clave, Daihan Labtech, Korea)

1.3.16 ตู้อบไมโครเวฟ (EMS 3027X, Electrolux, Sweden)

1.4 วิธีการวิเคราะห์

วิเคราะห์คุณภาพและความปลอดภัยของเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ ด้วยวิธีการวิเคราะห์มาตรฐานตามวิธีการของ AOAC International โดย Official methods of analysis (OMA) และ Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods American Public Health Association โดย American Public Health Association (APHA) ส่วนการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ที่แสดงถึงคุณลักษณะจำเพาะของเจลและไฮโดรบีดส์ ได้ดัดแปลงมาจากวิธีการต่าง ๆ ของนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศ ได้แก่

1.4.1 การวิเคราะห์ร้อยละของผลผลิตน้ำกล้วย (ชิดชัย ปัญญาสวรรค์, 2547)

การหาร้อยละของผลผลิตน้ำกล้วย จากสมการดังนี้

ร้อยละของผลผลิต (%Yield) = $(W_2 \times 100)/W_1$

เมื่อกำหนดให้ w_1 = น้ำหนักน้ำเริ่มต้น (กรัม)

w_2 = น้ำหนักน้ำกล้วยที่สกัดได้ (กรัม)

1.4.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเจล (ดัดแปลงจาก Belščak–Cvitanović et al., (2015)

วัดค่าความแข็งของเจล (Hardness; N) และความยืดหยุ่น (Springiness) ของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ใช้หัววัด ใช้หัววัด SMS P/6 (Chewy confectionery item) และหัววัด SMS P/36R (Gummy confectionery item) โดยกำหนดค่าความเร็วในช่วงก่อนการทดสอบเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร/วินาที ค่าความเร็วขณะทดสอบเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร/วินาที ค่าความเร็วในช่วงหลังการทดสอบเท่ากับ 10.0 มิลลิเมตร/วินาที และระยะทาง 25 มิลลิเมตร ตามลำดับ

1.4.3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของไฮโดรบีดส์ (ดัดแปลงจาก Lau et al., (2000)

วัดค่าความแข็งของไฮโดรบีดส์ (Hardness; N) โดยนำไฮโดรบีดส์แต่ละตัวอย่าง 30 เม็ด มาวัดค่าความแข็งโดยใช้หัววัด P/50 (Gummy confectionery item) ที่อุณหภูมิห้อง โดยกำหนดค่าความเร็วในช่วงก่อนการทดสอบเท่ากับ 1.0 มิลลิเมตร/วินาที ค่าความเร็วขณะทดสอบเท่ากับ 1.0 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วช่วงหลังการทดสอบเท่ากับ 10 มิลลิเมตร/วินาที และ Trigger force เท่ากับ 5 กรัม (95% Strain)

1.4.4 การวัดขนาดของไฮโดรบีดส์ (พัชรี คำประเวช และ สุธีรา วัฒนกุล, 2561)

วัดขนาดของไฮโดรบีดส์แต่ละตัวอย่างทีละเม็ด (10 เม็ด) โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier calipers) บันทึกขนาดในหน่วยมิลลิเมตร แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยด้านยาว ด้านสั้น และอัตราส่วนระหว่างด้านยาวและด้านสั้น (Ratio) เพื่อดูความกลมของไฮโดรบีดส์ โดยถ้าหากค่าอัตราส่วนระหว่างขนาดด้านยาวกับขนาดด้านสั้น มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าไฮโดรบีดส์มีความแตกต่างระหว่างด้านยาวกับด้านสั้นน้อย หมายความว่าไฮโดรบีดส์มีความกลมมาก

1.4.5 การวิเคราะห์ค่าการบวมน้ำของไฮโดรบีดส์ (ดัดแปลงจาก Gong et al., (2011)

อบแห้งไฮโดรบีดส์แต่ละตัวอย่าง จำนวน 5–10 เม็ด ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จากนั้น นำไฮโดรบีดส์ที่ผ่านการอบแล้วแช่ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 30 60 และ 120 นาที แล้วจึงชั่งน้ำหนัก เพื่อนำไปคำนวณค่าการบวมน้ำ (Swelling capacity) โดยคำนวณ จากสมการดังนี้

$$\text{Swelling capacity (\%)} = (W_t - W_0)/W_0 \times 100$$

เมื่อกำหนดให้ w_t = น้ำหนักของไฮโดรบีดส์ที่เวลาต่าง ๆ (นาที)

w_0 = น้ำหนักของไฮโดรบีดส์เริ่มต้น (กรัม)

1.4.6 วิเคราะห์ค่าการขับน้ำออกจากเจล (ดัดแปลงจาก Banerjee and Bhattacharya, 2011)

โดยบรรจุเจลปริมาตร 30 มิลลิเมตร ลงในหลอดเซนตริฟิวจ์ (Centrifuge tube) ขนาด 50 มิลลิเมตร แล้วชั่งน้ำหนัก (m_1) เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (°C) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที เทของเหลวใสออก แล้วชั่งน้ำหนักเจล (m_2) โดยคำนวณค่าการขับน้ำออกจากเจล (Syneresis) จากสมการดังนี้

$$\text{Syneresis (\%)} = [(m_1 - m_2)/m_1] \times 100$$

เมื่อกำหนดให้ m_1 = น้ำหนักสารละลายเจลเริ่มต้น (กรัม)

m_2 = น้ำหนักสารละลายเจลหลังเหวี่ยง (กรัม)

1.4.7 วิเคราะห์คุณสมบัติทางวิทยากระแสของเจล (ดัดแปลงจาก Alamprese and Mariotti, 2011)

ทำการทดสอบแบบสั่น (Oscillatory test) ด้วยเครื่องทดสอบ (Rheometer) โดยใช้หัววัดแบบ Parallel plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร ช่องว่างระหว่างตัวอย่างกับหัววัด 1 มิลลิเมตร ควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างที่ 25 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองแบบ Strain sweep test กำหนดช่วงความเครียด (%Strain) 0.01–100 และความถี่คงที่ 1 เฮิรตซ์ เพื่อทำนายช่วงวิสโคอิลาสติกเชิงเส้น (Linear viscoelastic region: LVR) จากนั้นจึงทำการทดลองแบบ Frequency sweep test กำหนดช่วงความถี่ 0.01 ถึง 100 เฮิรตซ์ และความเครียด 0.1 (%Strain) วัดค่าพารามิเตอร์ของคุณสมบัติวิสโคอิลาสติก (Viscoelastic parameters) ได้แก่ ค่าโมดูลัสสะสม (Storage modulus; G') ค่าโมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus; G") และค่ามุมสัมผัสสูญเสีย (Loss tangent; tan δ)

1.4.8 วิเคราะห์โครงสร้างของเจลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ดัดแปลงจาก Zhu et al., 2016)

ศึกษาโครงสร้างของเจลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) โดยตัดตัวอย่างเป็นชิ้น ขนาด 0.5×0.5×0.25 เซนติเมตร คงสภาพชิ้นตัวอย่างโดยนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งแบบฟรีสดราย (Freeze dry) โดยใช้เครื่องฟรีสดราย ยี่ห้อ Labconco รุ่น FreeZone 6 Lt. ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ภายใต้สุญญากาศ 0.05 Torr แล้วจึงนำชิ้นตัวอย่างที่แห้งแล้วมาติดบนแท่นวางตัวอย่าง (Stub) ด้วยเทปกาวสองหน้าชนิดคาร์บอน (Double sided carbon tape) เคลือบผิวตัวอย่างด้วยทองคำหนา 10 นาโนเมตร นำตัวอย่างไปศึกษาโครงสร้างของเจลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น Prisma E ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้โหมดสุญญากาศสูง (High vacuum mode) ที่กำลังขยาย 50 300 และ 500 เท่า ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 10 กิโลโวลต์

1.4.9 วิเคราะห์โครงสร้างสามมิติของเจลด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล (ดัดแปลงจาก Matignon et al., 2014)

ศึกษาโครงสร้างสามมิติของตัวอย่างเจลด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลชนิดที่ใช้เลเซอร์ในการสแกน (Confocal laser scanning microscopy; CLSM) โดยนำตัวอย่างมาเกลี่ยบาง ๆ บนแผ่นสไลด์ จากนั้นหยดสีย้อมลงไปแล้วใช้กระจกปิดสไลด์ปิดทับบนตัวอย่าง นำแผ่นสไลด์ไปสังเกตดูโครงสร้างภายในโดยใช้เลนส์วัตถุ (Objective lens) ที่กำลังขยาย 10 และ 20 เท่า โดยใช้สีย้อม 2 ชนิด ได้แก่ Fluorescein isothiocyanate; FITC (0.001% w/v) สำหรับย้อมสีสารก่อเจลผสม (คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม) ซึ่งจะแสดงผลเป็นสีเขียว และ Rhodamine B isothiocyanate; RITC (0.001% w/v) สำหรับย้อมสีโปรตีน ซึ่งจะแสดงผลเป็นสีแดง โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิด Argon–Ion laser ที่ความยาวคลื่น 488 และ 561 นาโนเมตร ตามลำดับ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล (Confocal microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น Ni–E ประเทศญี่ปุ่น

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 การพัฒนาสูตรน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร

พัฒนาสูตรน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างเนื้อกล้วยน้ำว้าสุกต่อปริมาณน้ำ 4 ระดับด้วยกัน คือ 1:1 1:2 1:3 และ 1:4 ตามลำดับ โดยนำตัวอย่างกล้วยน้ำว้าที่มีความสุกอยู่ในระยะ 7–8 ผิวมีสีเหลืองมีจุดกระสีน้ำตาล (สุกเต็มที่มีกลิ่นหอม) จำนวน 50 ผล มาตรวจวัดค่าอัตราส่วนบริกซ์ต่อกรด (brix/acid ratio) คำนวณจากมิลลิกรัมสมมูลของน้ำหนักกรดมาลิก (meq.wt.acid = 0.067) ปริมาณกรดทั้งหมด (กรดมาลิก) (AOAC, 2019) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าพีเอช (pH) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และนอนรีดิวซ์ (Miller, 1959; Novelina et al., 2016) เพื่อกำหนดเป็นสเปก (Spec) ของกล้วยน้ำว้าสุกที่นำมาใช้ในการผลิต จากนั้นนำน้ำกล้วยน้ำว้าตามอัตราส่วนต่าง ๆ ที่กรองได้ มาปรับค่าพีเอชด้วยกรดซิตริก ให้เท่ากับ 3.50 และปรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ให้เท่ากับ 12°Brix ด้วยน้ำตาลทราย เติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 5 ของน้ำหนักน้ำกล้วยน้ำว้าที่ได้ (ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สุดท้ายจะเท่ากับ 19°Brix) ดังแสดงในตาราง 15

ตาราง 14 ส่วนผสมน้ำกล้วยแต่ละสูตรที่แปรอัตราส่วนระหว่างเนื้อกล้วยน้ำว้าสุกต่อปริมาณน้ำ

ส่วนผสม	สิ่งทดลอง				
	T1	T2	T3	T4	T5
เนื้อกล้วยน้ำว้าสุก (กรัม)	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00
น้ำสะอาด (กรัม)	3,000.00	2,000.00	3,000.00	4,000.00	1,000.00
น้ำตาลทราย (กรัม) (12.00°Brix)	xx.xx	xx.xx	xx.xx	xx.xx	xx.xx
กรดซิตริก (กรัม) (พีเอช 3.50)	xx.xx	xx.xx	xx.xx	xx.xx	xx.xx
โพลีเดกส์โตรส (ร้อยละ)	–	5.00	5.00	5.00	5.00

กำหนดให้: T1 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 ไม่เติมโพลีเดกส์โตรส

T2 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 เติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 5.00

T3 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:2 เติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 5.00

T4 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 เติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 5.00

T5 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:4 เติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 5.00

ขั้นตอนการผลิตน้ำกล้วยน้ำว้าเริ่มจากการตัดนำกล้วยน้ำว้าเป็นลูก ๆ นำไปล้างด้วยน้ำสะอาด ปอกเปลือกแล้วนำไปนึ่งให้ใจกลางของผลกล้วยมีอุณหภูมิ 85±2 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จากนั้น นำกล้วยน้ำว้าที่นึ่งแล้วมาบดให้ละเอียดร่วมกับน้ำสะอาดตามอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วจึงนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20±2 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาให้นำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (32±2 องศาเซลเซียส) เพื่อทำให้ละลาย แล้วกรองแยกน้ำกล้วยน้ำว้า (ดัดแปลงจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2552) ดังแสดงในตาราง 16

ตาราง 15 ขั้นตอนการผลิตน้ำกล้วยน้ำว้า

ขั้นตอน	รายละเอียด	ภาพประกอบ
1. การล้างกล้วย	นำกล้วยน้ำว้าความสุกระยะ 7–8 ผิวสีเหลือง มีจุดกระสีน้ำตาล มาตัดออกเป็นลูก ๆ แล้วนำมาล้างด้วยน้ำสะอาด	
2. การนึ่งกล้วย	ปอกเปลือก ตัดแต่งส่วนที่มีรอยช้ำออก แล้วนำไปนึ่งให้ใจกลางของผลกล้วยมีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที	
3. การบด และการแช่แข็งน้ำกล้วย	บดกล้วยน้ำว้าที่นึ่งแล้วร่วมกับน้ำสะอาด ตามอัตราส่วนต่าง ๆ (1:1 1:2 1:3 และ 1:4) นำน้ำกล้วยน้ำว้าที่บดแล้วไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง	
4. การกรองน้ำกล้วย	นำน้ำกล้วยน้ำว้าที่แช่แข็งตามเวลาแล้วมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ละลาย) และทำการกรองแยกน้ำกล้วยด้วยผ้าขาวบาง	
5. การเก็บรักษา	เก็บรักษาน้ำกล้วยน้ำว้าที่ผลิตได้ไว้ที่อุณภูมิ 4 องศาเซลเซียส (แช่เย็น) หรืออุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส (แช่แข็ง) จนกว่าจะนำมาใช้	

นำตัวอย่างน้ำกล้วย และเสริมใยอาหารที่ได้ทั้ง 5 สิ่งทดลอง มาทดสอบความชอบแบบจัดอันดับ (Ranking test) ใช้กลุ่มผู้ทดสอบชิมที่ชอบรับประทานกล้วยน้ำว้า จำนวน 30 คน ในการเรียงลำดับความชอบรวมของตัวอย่างน้ำกล้วย โดยคะแนน 1 หมายถึง อันดับที่ชอบมากที่สุด และคะแนน 5 หมายถึง อันดับที่ชอบน้อยที่สุด (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547) คัดเลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนอันดับน้อยที่สุด เพื่อนำไปศึกษาในขั้นต่อไป โดยเมื่อสามารถคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเนื้อกล้วยน้ำว้าสุกต่อปริมาณน้ำได้แล้ว จึงนำน้ำกล้วยเสริมใยอาหาร (ที่จะนำไปใช้ในการผลิตเยลลี่) มาศึกษาการลดปริมาณน้ำตาลด้วยพาลาทีน (ซึ่งมีค่า Glycemic Index; GI ต่ำ) โดยแปรปริมาณของพาลาทีนในสูตรน้ำกล้วยเสริมใยอาหาร 2 ระดับ ได้แก่ ทดแทนร้อยละ 50 และ 100 ของปริมาณน้ำตาลทราย ตามลำดับ (คำนวณความหวานให้เทียบเท่ากับน้ำตาล) โดยพาลาทีนมีความหวานเป็น 2 เท่าของน้ำตาลทราย ดังแสดงในตาราง17

ตาราง 16 ส่วนผสมน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่แปรปริมาณพาลาทีนแตกต่างกัน

ส่วนผสม	สิ่งทดลอง		
	T1	T2	T3
น้ำกล้วยน้ำว้า (กรัม)	100.00	100.00	100.00
น้ำตาลทราย (ร้อยละ)	100.00	50.00	0.00
พาลาทีน (ร้อยละ)	0.00	50.00	100.00

กำหนดให้ T1 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้น้ำตาลทรายร้อยละ 100 (ไม่เติมพาลาทีน)
T2 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50
T3 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 100

วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) นำตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้า ทั้ง 3 สิ่งทดลอง มาทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยวิธี 9 Point Hedonic Rating Scales ที่กำหนดคะแนนความชอบจาก 1 คะแนน (ไม่ชอบมากที่สุด) ไปจนถึง 9 คะแนน (ชอบมากที่สุด) ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่นหอม ความข้นหนืด รสหวาน รสเปรี้ยว และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบ

ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Tukey's range test (Kirk, 1995; Lawless and Heymann, 1998) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistics 17.0, Copyright© 2017) โดยนำตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทราย มาทำการศึกษาคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (ภาพถ่าย) ค่าสี (L* a* b* C* และ *h*) ค่าความข้นหนืด (cP) (ที่ 30±2 องศาเซลเซียส) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ค่าพีเอช และปริมาณเกลือ (Kraemer and Stamm, 1924)

ตอนที่ 2 การศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อเจลที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้า

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ศึกษาสารก่อเจลผสมที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้า ได้แก่ การใช้คาร์ราจีแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 0.30 และ 0.50 ร่วมกับกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.50 0.75 และ 1 และโลคัสบีนกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.30 0.50 และ 0.75 ของน้ำหนักน้ำกล้วยเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาล สามารถกำหนดสิ่งทดลอง ดังตาราง 18

ตาราง 17 การกำหนดชนิดและปริมาณสารก่อเจลในการผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาล

สิ่งทดลอง (T)	ชนิดและปริมาณสารก่อเจลผสม		
	คาร์ราจีแนน (ร้อยละ)	กลูโคแมนแนน (ร้อยละ)	โลคัสบีนกัม (ร้อยละ)
T1	0.10	0.50	0.30
T2	0.10	0.50	0.50
T3	0.10	0.50	0.75
T4	0.10	0.75	0.30
T5	0.10	0.75	0.50
T6	0.10	0.75	0.75
T7	0.10	1.00	0.30
T8	0.10	1.00	0.50
T9	0.10	1.00	0.75

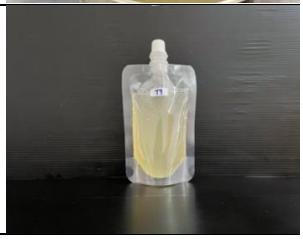
ตาราง 18 (ต่อ)

สิ่งทดลอง (T)	ชนิดและปริมาณสารก่อเจลผสม		
	คาร์ราจีแนน (ร้อยละ)	กลูโคแมนแนน (ร้อยละ)	โลคัสบีนกัม (ร้อยละ)
T10	0.30	0.50	0.30
T11	0.30	0.50	0.50
T12	0.30	0.50	0.75
T13	0.30	0.75	0.30
T14	0.30	0.75	0.50
T15	0.30	0.75	0.75
T16	0.30	1.00	0.30
T17	0.30	1.00	0.50
T18	0.30	1.00	0.75
T19	0.50	0.50	0.30
T20	0.50	0.50	0.50
T21	0.50	0.50	0.75
T22	0.50	0.75	0.30
T23	0.50	0.75	0.50
T24	0.50	0.75	0.75
T25	0.50	1.00	0.30
T26	0.50	1.00	0.50
T27	0.50	1.00	0.75

กระบวนการผลิตเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร เริ่มจากเตรียมส่วนผสม และสารก่อเจลผสม ได้แก่ คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม นำมาผสมให้เข้ากัน แล้วจึงเติมลงในน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 กวนจนส่วนผสมละลายเข้ากันดี (เป็นเนื้อเดียวกัน) ไม่จับตัวเป็นก้อน จากนั้นนำไปให้ความร้อนอุณหภูมิ 85±2 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที (กวนตลอดเวลา) เมื่อครบเวลาแล้วให้นำมาบรรจุร้อน (อุณหภูมิ 85±2 องศาเซลเซียส) ในซองเพาช์พร้อมฝา (Spouted Pouch) แบบซีล 3 ด้าน มีฝาจุก ก้นตั้ง ขนาด 8.00 x 12.00 เซนติเมตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร. โดยใช้กระบอกฉีดยา (Syring) ขนาด 50 มิลลิลิตร วางตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30±2องศาเซลเซียส) นาน 2 ชั่วโมง เพื่อให้เจลเซตตัว (ตาราง 19)

ทั้งนี้ การเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมเบื้องต้น (Screening) จะพิจารณาจากสิ่งทดลองที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบทางการค้า (Benchmark product) เช่น SAPPE, Jele Beauties หรือ We Mall เป็นต้น

ตาราง 18 ขั้นตอนการผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลร้อยละ 50

ขั้นตอน	รายละเอียด	ภาพประกอบ
1. การเตรียมน้ำกล้วย	นำน้ำกล้วยน้ำว้าที่เตรียมได้ มาเติมน้ำตาลทราย กรดซิตริก และโพลีเดกส์โตรส	
2. การเตรียมสารก่อเจล	2.1 ชั่งสารก่อเจลผสม ได้แก่ คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม (ในแต่ละสิ่งทดลอง) นำสารก่อเจลทั้ง 3 ชนิด มาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน	
	2.2 เติมสารก่อเจลผสมลงในน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่เตรียมได้ กวนจนส่วนผสมละลายเข้ากันดี (เป็นเนื้อเดียวกัน) ไม่จับตัวเป็นก้อน	
3. การให้ความร้อน	ให้ความร้อนอุณหภูมิ 85±2 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที (กวนตลอดเวลา)	
4. การบรรจุ	4.1 บรรจุร้อน (85±2 องศาเซลเซียส) ในซองเพาช์พร้อมฝา ปริมาณ 100 มล. โดยใช้กระบอกฉีดยา (Siring)	
	4.2 วางตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) นาน 2 ชั่วโมง เพื่อให้เจลเซตตัว	

วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) นำตัวอย่างเยลลี่กล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลที่คัดเลือกได้มาทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยวิธี 9 Point Hedonic Rating Scales โดยกำหนดคะแนนความชอบจาก 1 คะแนน (ไม่ชอบมากที่สุด) ไปจนถึง 9 คะแนน (ชอบมากที่สุด) ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่นหอม ความข้นหนืด รสหวาน รสเปรี้ยว และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน นำคะแนนความชอบที่ได้ในแต่ละคุณลักษณะมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี วิธี Tukey's range test (Tukey–Kramer) (Kirk, 1995; Lawless and Heymann, 1998) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistics 17.0, Copyright© 2017) คัดเลือกตัวอย่างที่ได้รับหรือมีแนวโน้มคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดเพื่อนำไปศึกษาในขั้นต่อไป

ตอนที่ 3 การผลิตไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร โดยวิธี Basic spherification

3.1 การเตรียมส่วนผสมของเหลวภายใน (Liquid core)

พัฒนาสูตรไฮโดรบีดส์จากน้ำเชื่อมกลิ่นผลไม้ชนิดต่าง ๆ (ยี่ห้อติ่งฟง) ได้แก่ กลิ่นเสาวรส น้ำผึ้งมะนาว และลิ้นจี่ โดยเริ่มจาก ละลายน้ำเชื่อมกลิ่นผลไม้ชนิดต่าง ๆ กับน้ำสะอาดในอัตราส่วน 1:3 (ดัดแปลงจากธนกิจ ถาหมี และ พิไลรัก อินธิปัญญา, 2555) จากนั้นจึงเสริมใยอาหารลงไปในน้ำผลไม้ที่เตรียมไว้ทั้ง 3 ชนิด แปรระดับความเข้มข้นของโพลีเด็กส์โตรส (Polydextrose) จำนวน 3 ระดับ (ร้อยละ 15 20 และ 25 ของน้ำหนักน้ำผลไม้) ที่เติมลงไป จากนั้นเติมโซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate) ร้อยละ 1 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด (น้ำเชื่อมกลิ่นผลไม้ที่เติมโพลีเด็กส์โตรสแล้ว) คนผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง หรือทิ้งไว้ข้ามคืน เพื่อให้โซเดียมอัลจิเนตละลาย/อิ่มตัวอย่างสมบูรณ์ โดยส่วนผสมของไฮโดรบีดส์ใยอาหารจากน้ำผลไม้ชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 20

ตาราง 19 ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร จากน้ำผลไม้ชนิดต่าง ๆ

สิ่งทดลอง	น้ำสะอาด (กรัม)	น้ำเชื่อมกลิ่นผลไม้ (กรัม)			โพลีเด็กส์โตรส (ร้อยละ)	โซเดียมอัลจิเนต (ร้อยละ)
		เสาวรส	น้ำผึ้งมะนาว	ลิ้นจี่		
T1	75	25	0	0	15	1
T2	75	25	0	0	20	1
T3	75	25	0	0	25	1
T4	75	0	25	0	15	1
T5	75	0	25	0	20	1
T6	75	0	25	0	25	1
T7	75	0	0	25	15	1
T8	75	0	0	25	20	1
T9	75	0	0	25	25	1

กำหนดให้: T1 คือ ไฮโดรบีดส์เสาวรสเสริมใยอาหาร ร้อยละ 15

T2 คือ ไฮโดรบีดส์เสาวรสเสริมใยอาหาร ร้อยละ 20

T3 คือ ไฮโดรบีดส์เสาวรสเสริมใยอาหาร ร้อยละ 25

T4 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำผึ้งมะนาวเสริมใยอาหาร ร้อยละ 15

T5 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำผึ้งมะนาวเสริมใยอาหาร ร้อยละ 20

T6 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำผึ้งมะนาวเสริมใยอาหาร ร้อยละ 25

T7 คือ ไฮโดรบีดส์ลิ้นจี่เสริมใยอาหาร ร้อยละ 15

T8 คือ ไฮโดรบีดส์ลิ้นจี่เสริมใยอาหาร ร้อยละ 20

T9 คือ ไฮโดรบีดส์ลิ้นจี่เสริมใยอาหาร ร้อยละ 25

3.2 การเตรียมส่วนผสมของเหลวภายนอก (Gelling bath)

เตรียมสารละลายแคลเซียมแลคเตท (Calcium lactate) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยใช้แคลเซียมแลคเตท 0.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร คนให้สารละลายผสมเข้ากันดี จากนั้นนำไปแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาใช้

3.3 การผลิตไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร

หยดสารละลายโซเดียมอัลจิเนต หรือของเหลวภายใน (Liquid core) (ตอนที่ 3.1) ลงในแคลเซียมแลกเตท หรือของเหลวภายนอก (Gelling bath) (ตอนที่ 3.2) เมื่อสารละลายโซเดียมอัลจิเนต สัมผัสกับสารละลายแคลเซียมแลคเตท ก็จะกลายเป็นเจลแข็งจากผิวด้านนอกเข้าไปด้านใน แช่ไว้ประมาณ 1 นาที เพื่อให้ไฮโดรบีดส์เกิดเจลได้อย่างสมบูรณ์ จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น 2–3 ครั้ง ทั้งนี้สามารถเก็บไฮโดรบีดส์ที่ผลิตไว้ได้ โดยแช่ในสารละลายน้ำผลไม้ (ชนิดที่คัดเลือกได้) ที่เติมแคลเซียมแลคเตทร้อยละ 0.5 จนกว่าจะนำมาใช้ ดังแสดงในตาราง 21

ตาราง 20 ขั้นตอนการผลิตไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร

ขั้นตอน	รายละเอียด	ภาพประกอบ
1. การเตรียมส่วนผสมของเหลวภายใน (Liquid core)	1.1 เตรียมส่วนผสมน้ำเชื่อมกลิ่นผลไม้ต่าง ๆ (ยี่ห้อติ่งฟง) ได้แก่ เสาวรส น้ำผึ้งมะนาว และลิ้นจี่ น้ำสะอาด โพลีเด็กส์โตรส (ตามอัตราส่วนต่าง ๆ) และโซเดียมอัลจิเนต	
	1.2 จากนั้นผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง หรือทิ้งไว้ข้ามคืน เพื่อให้โซเดียมอัลจิเนตละลาย/อิ่มตัวอย่างสมบูรณ์	
2. การเตรียมส่วนผสมของเหลวภายนอก (Gelling bath)	2.1 ชั่งน้ำสะอาด และแคลเซียมแลคเตท (ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด)	
	2.2 จากนั้นผสมให้ละลายเข้ากัน แล้วจึงนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาใช้	
3. การเตรียมสารละลายสำหรับเก็บรักษาไฮโดรบีดส์	เตรียมน้ำเชื่อมกลิ่นผลไม้ชนิดต่าง ๆ โพลีเด็กส์โตรส และแคลเซียมแลคเตท (0.5% ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด) ใช้เพื่อเก็บรักษาไฮโดรบีดส์ในขั้นตอนสุดท้าย	

ตาราง 21 (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด	ภาพประกอบ
4. การผลิตไฮโดรบีดส์	4.1 บรรจุส่วนผสมน้ำเสาวรสที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 1.2 ลงในภาชนะสำหรับหยด (ขวดบีบซอส)	
	4.2 เตรียมสารละลายแคลเซียมแลคเตทที่เตรียมได้จากข้อ 2.2 โดยเทสารละลายดังกล่าวปริมาณ 200 มล. ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มล.	
	4.3 หยดส่วนผสมน้ำเสาวรสที่เตรียมได้จากข้อ 4.1 ลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายแคลเซียมแลคเตท (ข้อ 4.2) โดยค่อย ๆ บีบให้ส่วนผสมน้ำเสาวรสตกลงไปที่ละหยด	
	4.4 ทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที ให้ไฮโดรบีดส์เซตตัวได้อย่างสมบูรณ์ แล้วจึงตักไฮโดรบีดส์ที่ได้ขึ้นมาด้วยตะแกรง เพื่อแยกไฮโดรบีดส์ออกจากสารละลายแคลเซียมแลคเตท	
	4.5 นำไฮโดรบีดส์ที่ได้ มาล้างด้วยน้ำสะอาด 2–3 ครั้ง	
	4.6 นำไฮโดรบีดส์ ใส่ลงในสารละลายสำหรับเก็บรักษาไฮโดรบีดส์ ที่เตรียมจากข้อที่ 3 โดยแช่ทิ้งไว้จนกว่าจะนำมาใช้	

3.4 การศึกษาความคงตัวของไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารในเยลลี่กล้วยน้ำว้า

นำไฮโดรบีดส์ที่ผลิตได้จากตอนที่ 3.3 (9 สิ่งทดลอง) เติมลงในเยลลี่กล้วยน้ำว้าที่อุณหภูมิ 85±2 องศาเซลเซียส (จากตอนที่ 2) น้ำหนักบรรจุรวม 100 กรัม (ไฮโดรบีดส์ 10 กรัม เยลลี่ 90 กรัม) แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) นาน 30 60 และ 120 นาที จากนั้นนำตัวอย่างไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารที่ได้ มาทำการวัดค่าสี (L* a* b* C* และ *h*) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ค่าความแข็ง (Lau, Tang, & Paulson, 2000) ขนาดของไฮโดรบีดส์ (พัชรี คำประเวช และ สุธีรา วัฒนกุล, 2561) ค่าการบวมน้ำ (Gong et al., 2011) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และค่าพีเ อ ช วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) มาทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยวิธี 9 Point Hedonic Rating Scales ต่อคุณลักษณะด้านสี กลิ่นหอม เนื้อสัมผัส รสหวาน รสเปรี้ยว และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน นำคะแนนความชอบที่ได้ในแต่ละคุณลักษณะมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี วิธี Tukey's range test (Tukey–Kramer) (Kirk, 1995; Lawless and Heymann, 1998) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistics 17.0, Copyright© 2017) คัดเลือกตัวอย่างที่ได้รับหรือมีแนวโน้มคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดไปศึกษาในขั้นต่อไป

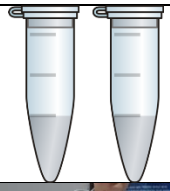
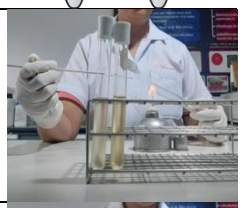
ตอนที่ 4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อโดยกระบวนการใช้ความดันสูง

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กำหนดว่า การใช้ความดันสูงในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด ต้องมีผลการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคอ้างอิง ได้แก่ *Escherichia coli* O157:H7 (*E. coli* O157:H7) และ *Listeria monocytogenes* (*L. monocytogenes*) ได้ไม่น้อยกว่า 5 log (5 log reduction) โดยสามารถใช้จุลินทรีย์ตัวแทน (Surrogate microorganism) ที่ไม่ก่อโรค แต่มีความสามารถในการทนต่อสภาวะความดันได้เท่ากับหรือมากกว่าเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคอ้างอิงนั้น ๆ เช่น ใช้เชื้อจุลินทรีย์ *Escherichia coli* K12 (*E. coli* K12) และ *Listeria innoccua* (*L. innocua*) แทนได้ โดยสภาวะการเก็บรักษาหลังพาสเจอไรส์ไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2562)

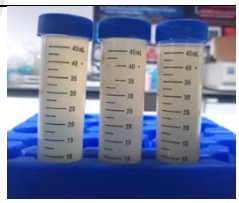
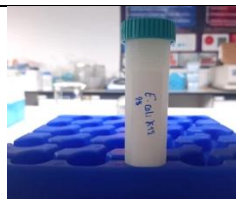
4.1 การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์

นำเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* K12 (ATCC 47076) และ *L. innoccua* (DMST 9001) จากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ประเทศไทย ซึ่งนำมาใช้เป็นตัวแทน (Surrogate) ของเชื้อ *E. coli* O157:H7 และ *L. monocytogenes* มาเพาะเลี้ยงในอาหาร Trypticase Soy Broth (TSB) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 18–20 ชั่วโมง (Early log phase) และตรวจนับจำนวนเชื้อเริ่มต้น (Initial load) ด้วยอาหาร Trypticase Soy Agar (TSA) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เขี่ยเชื้อจำนวน 1 ลูป (Loop) ใส่ลงในหลอดทดลองที่บรรจุอาหารเหลว TSB ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง (Early log phase) ปิเปตเชื้อที่บ่มครบ 18 ชั่วโมงแล้ว ปริมาตร 100 ไมโครลิตร (µl) ใส่ลงในหลอดทดลองที่บรรจุอาหารเหลว TSB ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาปิเปตเชื้อที่บ่มครบ 18 ชั่วโมงแล้ว ปริมาตร 100 µl ใส่ในขวดแก้วที่บรรจุอาหารเหลว TSB ที่ทำการฆ่าเชื้อแล้วปริมาตร 200 มล. แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง นำหัวเชื้อที่ได้มาวัดค่าความขุ่น (Optical density; OD.) ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ให้ได้ค่า OD. เท่ากับ 0.7 และ 0.9 สำหรับเชื้อ *E. coli* และ *L. Innocua* ตามลำดับ เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นประมาณ 10^8 CFU/ml จากนั้นนำหัวเชื้อที่ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกเซลล์ออกด้วยความเร็ว 4,032 ×*g* (6,000 rpm) ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที (Boziaris et al., 2021) เก็บส่วนเซลล์ (Cell pellet) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการสร้างการปนเปื้อนเทียม (Artificial inoculation) ในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร และตรวจสอบจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ได้ ขั้นตอนการเตรียมและการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ดังแสดงในตาราง 22

ตาราง 21 ขั้นตอนการเตรียมและการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

ขั้นตอน	รายละเอียด	ภาพประกอบ
1. การเตรียมเชื้อจากสต๊อก	ละลายเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* K12 ATCC 47076 และ *L. innocua* DMST 9011 ที่เก็บรักษาในหลอดเอพเพนดอร์ฟ (Eppendorf tube) ที่อุณหูมิห้อง	
2. การเพาะเลี้ยงเชื้อ	2.1 ปิเปตเชื้อ ปริมาตร 500 µl จาก Eppendorf tube เพาะเลี้ยงในหลอดบรรจุอาหารเหลว TSB ปริมาตร 10 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง	
	2.2 ขีดเชื้อลงในหลอดทดลองที่บรรจุอาหารแข็ง Trypticase Soy Agar (TSA) แบบเอียง (Slant) จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง	
3. การเตรียมเชื้อเริ่มต้น	3.1 เขี่ยเชื้อจำนวน 1 ลูป ใส่ลงในหลอดทดลองทีบรรจุอาหารเหลว TSB ปริมาตร10 มิลลิลิตร แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง (Early log phase)	
	3.2 ปิเปตเชื้อที่บ่มครบ 18 ชั่วโมง ปริมาตร100 µl ใส่ลงในหลอดที่บรรจุอาหารเหลว TSB ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง	
	3.3 ปิเปตเชื้อที่บ่มครบ 18 ชั่วโมง ปริมาณ 100 µl ใส่ขวดที่บรรจุอาหารเหลว TSB ที่ทำการฆ่าเชื้อแล้วปริมาตร 200 มิลลิลิตร บ่มอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง	
4. การวัดค่าความขุ่น	นำหัวเชื้อที่ได้มาวัดค่าความขุ่นทีความยาวคลื่น 600 nm ได้ค่าเท่ากับ 0.7 และ 0.9 สำหรับ *E. coli* และ *L. Innocua* ตามลำดับ จะได้ความเข้มข้นของเซลล์ 10^8 CFU/ml	
5. การเตรียมเซลล์จุลินทรีย์ให้เข้มข้น	5.1 นำ Cell suspension ใส่ในหลอดเซนติฟิวก์ฆ่าเชื้อแล้วปริมาตร 50 มิลลิลิตร ต่อหลอด Cell suspension จากขวดแก้ว 1 ขวด จะใส่ในหลอดเซนติฟิวก์ได้จำนวน 4 หลอด	

ตาราง 22 (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด	ภาพประกอบ
	5.2 นำ Centrifuge tube ที่เตรียมได้ไปปั่นเหวี่ยง เพื่อแยกเซลล์ออกด้วยความเร็ว 4,032 ×g (6,000 rpm) ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที	
	5.3 เทของเหลวใสด้านบน (Supernatant) เหลือตะกอนไว้ เติมน้ำกลั่นฆ่าเชื้อปริมาตร 30 มิลลิลิตร ทำให้กระจายตัวโดยใช้เครื่องผสมสาร ปั่นเหวี่ยงอีกรอบเพื่อล้างเซลล์	
	5.4 เท Supernatant ออก เหลือ Cell pellet ไว้ แล้วเติมน้ำกลั่นที่ทำการฆ่าเชื้อแล้ว ปริมาตร 3 มิลลิลิตร จากนั้นทำให้เชื้อกระจายตัวในน้ำกลั่นโดยใช้เครื่องผสมสารอีกครั้ง	
	5.5 เก็บรวบรวม Cell suspension แต่ละหลอด (3 มิลลิลิตร) ลงในหลอดเดียวกัน จะได้เชื้อปริมาตร 12 มิลลิลิตร	
	5.6 เติมน้ำกลั่นฆ่าเชื้อปริมาตร 8 มิลลิลิตร ในหลอดล้างเซลล์ที่ติดอยู่ (3 หลอด) ผสม Cell suspension ปริมาตร 12 มิลลิลิตร จะได้เซลล์เข้มข้นปริมาตร 20 มิลลิลิตร	
6. การเก็บรักษา	เก็บ Cell suspension ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้สร้างการปนเปื้อนเทียม และตรวจสอบจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ได้	

4.2 การฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารด้วยกระบวนการใช้ความดันสูง

การศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร เริ่มจากการสร้างการปนเปื้อนเทียม โดยนำ Cell suspension เข้มข้น ที่เตรียมได้จากการทดลองที่ 4.1 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (โดยพบว่าปริมาณเชื้อเริ่มต้นของ *E. coli* K12 ATCC 47076 และ *L. innocua*

DMST 9011 มีจำนวนเท่ากับ 9.8 และ 10.0 log CFU/ml ตามลำดับ) เติมลงในเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ทีบรรจุอยู่ในซองเพาช์พร้อมฝา (Spouted Pouch) แบบซีล 3 ด้าน มีฝาจุก ก้นตั้ง ขนาด 8.00 x 12.00 เซนติเมตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยต้องใส่เชื้อลงในเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร ที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 45 องศาเซลเซียส แล้วผสมให้เข้ากัน โดยจากการตรวจสอบเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 และ *L. innocua* DMST 9011 เริ่มต้น ในเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร พบว่ามีเชื้อดังกล่าว จำนวนเท่ากับ 8.05 และ 8.14 log CFU/g นำเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหารที่สร้างการปนเปื้อนเทียมแล้วมาผ่านกระบวนการใช้ความดันสูงที่ความดัน 400 500 และ 600 MPa โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดัน ระยะเวลาการคงความดัน 5 และ 10 นาที ดังแสดงในตาราง 23

ตาราง 22 สภาวะของกระบวนการใช้ความดันสูงในการฆ่าเชื้อเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร

สภาวะ	ความดัน (MPa)	เวลาฆ่าเชื้อ (วินาที)	การดึงความดัน (วินาที)	เวลาดำเนินการ (วินาที)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)
1	400	300	47	383	29
2	400	600	61	683	29
3	500	300	51	390	30
4	500	600	64	686	30
5	600	300	56	400	31
6	600	600	72	710	31

หมายเหตุ: - ช่วงการดึงความดัน (Come–up–time) หมายถึง ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มปล่อยความดันเข้าหม้อฆ่าเชื้อถึงความดันฆ่าเชื้อที่กำหนด

- เวลาดำเนินการ (Processed time) หมายถึง ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มเดินเครื่องจนกระทั่งทำการฆ่าเชื้อเสร็จสมบูรณ์

กระบวนการใช้ความดันสูงในการฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง High pressure processing: HPP รุ่น HPP 600/3–5L จากบริษัท TSUS FEBIX FOODTECH CO.,LTD. ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร แล้วจึงเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง (เพื่อดูการเซตตัวของเจล) จากนั้นจึงนำมาตรวจนับจำนวนเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 และ *L. innocua* DMST 9011 เพื่อคัดเลือกสภาวะ

ที่สามารถลดเชื้อก่อโรคทั้ง 2 ชนิด ได้มากที่สุด โดยอย่างน้อยต้องสามารถลดเชื้อได้ 5 Log reduction ตามเกณฑ์ทั่วไปและขอบเขตผลิตภัณฑ์ที่ให้ใช้กระบวนการพาสเจอไรส์ด้วยความดันสูง (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2562) ทั้งนี้รายละเอียดขั้นตอนการสร้างการปนเปื้อนเทียมและการศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยการใช้ความดันสูงในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหารดังแสดงในตาราง 24

ตาราง 23 ขั้นตอนการสร้างการปนเปื้อนเทียมและการศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการใช้ความดันสูงในเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร

ขั้นตอน	รายละเอียด	ภาพประกอบ
1. การสร้างการปนเปื้อนเทียม	1.1 บรรจุเยลลี่ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ลงในซองเพาช์พร้อมฝา จากนั้นเติม Cell suspension เข้มข้น ที่เตรียมไว้ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร	
	1.2 ตัวอย่างที่จะนำไปฆ่าเชื้อในแต่ละสภาวะ ได้แก่ ตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่ใส่เชื้อ *E.coli* K12 ATCC 47076 และ *L. innocua* DMST 9011 จำนวนอย่างละ 5 ซอง	
2. การฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการใช้ความดันสูง	2.1 นำซองเยลลี่ที่สร้างการปนเปื้อนเทียมแล้วใส่ลงในหม้อสำหรับฆ่าเชื้อ แล้วเติมน้ำสะอาด ปริมาตร 2,500 มิลลิลิตร	
	2.2 ตั้งค่าเครื่อง HPP ตามสภาวะต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษา จากนั้นกดปุ่มอัตโนมัติ เพื่อให้เครื่องทำงาน	
3. การตรวจสอบบรรจุภัณฑ์	เมื่อครบเวลาสำหรับการฆ่าเชื้อแล้ว เครื่องจะเปิดอัตโนมัติ จากนั้นนำซองเยลลี่ ออกจากตัวเครื่อง และสำรวจรอยแตก ร้าว หรือรั่วของผลิตภัณฑ์	

ตาราง 24 (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด	ภาพประกอบ
4. การเก็บรักษา	เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศา-เซลเซียส	

4.3 การผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารด้วยกระบวนการใช้ความดันสูง

ทำการผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร ด้วยกระบวนการใช้ความดันสูง โดยนำสภาวะการฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการใช้ความดันสูงที่คัดเลือกได้จากตอนที่ 4.2 มาใช้ในการผลิต จากนั้นนำเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร มาทำการศึกษาคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (ภาพถ่าย) ค่าสี (L* a* b* C* และ *h*) ด้วยเครื่อง Hunter Lab วิเคราะห์เนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็งของเจล (Hardness) และความยืดหยุ่น (Springiness) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ใช้หัววัด SMS P/6 (Chewy confectionery item) และหัววัด SMS P/36R (Gummy confectionery item) ตามลำดับ (ดัดแปลงวิธีจาก Lau et al., 2000) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และค่าพีเอช

ตอนที่ 5 การตรวจสอบคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร

นำผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร มาทำการศึกษาคุณภาพและความปลอดภัยเทียบเคียงกับข้อกำหนดคุณภาพของเยลลี่ตามมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และเชื้อจุลินทรีย์ ดังแสดงในตาราง 25

ตาราง 24 คุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร เปรียบเทียบกับข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขที่เกี่ยวข้อง

คุณลักษณะที่ตรวจสอบ	**มผช. 518/2547ก**	**ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 237 และ 416**
ค่า L*	–	–
ค่า a*	–	–
ค่า b*	–	–
ค่า C*	–	–
ค่า *h* (degree: *h*°)	–	–
ค่าความแข็งเจล Hardness (N)	–	–
ความยืดหยุ่นของเจล (%)	–	–
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี	–	–
การขับน้ำออกจากเจล (Syneresis: %)	–	–
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix)	–	–
ค่าพีเอช	–	–
ปริมาณเกลือ (%)	–	–
จุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)	ไม่เกิน 10^4 ใน 1 กรัม	–
ยีสต์และรา (log CFU/g)	ไม่เกิน 10^2 ใน 1 กรัม	–
โคลิฟอร์ม (MPN/g)	–	–
Escherichia coli (MPN/g)	<3 MPN	–
*Staphylococcus aureus** (log CFU/g)	ไม่พบใน 1 กรัม	ไม่เกิน 10^2 ใน 1 กรัม
Bacillus cereus * (log CFU/g)	–	–
*Clostridium perfringens** (log CFU/g)	–	–
*Listeria monocytogeness** (พบ/ไม่พบ)	–	–
Salmonella spp.* (พบ/ไม่พบ)	–	ไม่พบใน 25 กรัม

หมายเหตุ: – หมายถึง ไม่ได้กำหนด/ระบุไว้

* หมายถึง จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 416 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2563)

ตอนที่ 6 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารระหว่างการเก็บรักษา

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร จากตอนที่ 5 เป็นระยะเวลานาน 3 เดือน โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยทำการสุ่มตัวอย่างในวันที่ 0 1 3 5 7 14 21 30 40 50 60 75 และ 90 วัน นำมาวิเคราะห์ค่าสี (L* a* b* C* และ *h*) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ค่าการแยกตัวของน้ำ (%) ความแข็งของเจล (N) และความยืดหยุ่นของเจล (%) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าพีเอช จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อจุลินทรีย์ยีสต์และรา (APHA, 2001)

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 การพัฒนาสูตรน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร

การกำหนดคุณลักษณะของกล้วยน้ำว้าสุกที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต พบว่าวัตถุดิบกล้วยน้ำว้า ความสุกระยะ 7–8 ผิวสีเหลืองมีจุดกระสีน้ำตาล (ภาพ 14) ที่นำมาใช้ในการผลิตควรมีอัตราส่วนบริกซ์ต่อกรด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดมาลิก (Malic acid) ค่าพีเอช น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลนอนรีดิวซ์ อยู่ในช่วง 550–610 34–35°Brix ร้อยละ 0.58–0.67 4.60–4.63 44.80–46.30 มิลลิกรัม/100 กรัม (mg/100g) และ 17.70–18.40 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 26

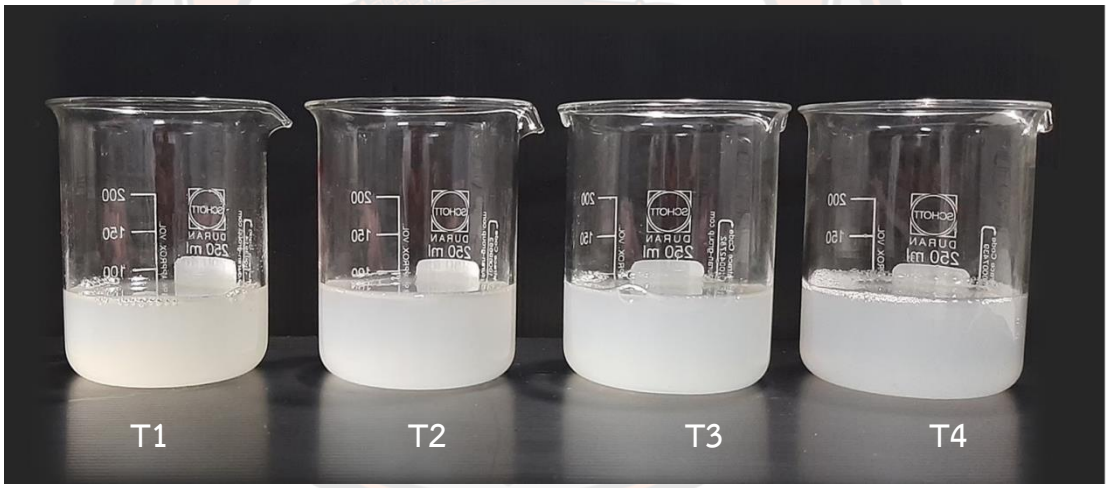
ตาราง 25 คุณลักษณะเบื้องต้นของกล้วยน้ำว้าสุกระยะ 7–8 ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต (N=50)

คุณลักษณะที่ตรวจสอบ	ตัวอย่างกล้วยน้ำว้า
อัตราส่วนบริกซ์ต่อกรด	562.67±36.08
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix)	34.92±0.18
ปริมาณกรดมาลิก (%)	0.062±0.004
ค่าพีเอช	4.61±0.04
น้ำตาลรีดิวซ์ (mg/100g)	45.44±0.61
น้ำตาลนอนรีดิวซ์ (mg/100g)	17.94±0.28

หมายเหตุ: ± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างกล้วยน้ำว้าสุกระยะ 7–8 จำนวน 50 ผล

ภาพ 14 ลักษณะของกล้วยน้ำว้าสุกระยะ 7–8 ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต

ผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างเนื้อกล้วยน้ำว้าสุกต่อปริมาณน้ำ เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาสูตรน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารต้นแบบ ผลการทดลองพบว่า ลักษณะปรากฏของน้ำกล้วยน้ำว้าที่แปรอัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ 1:1 1:2 1:3 และ 1:4 จะมีลักษณะปรากฏเป็นสีขาวขุ่น และเมื่ออัตราส่วนของน้ำเพิ่มขึ้นลักษณะปรากฏดังกล่าวจะลดลง (ภาพ 15) ค่าพีเอช และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix) ของน้ำกล้วยที่ได้จะอยู่ในช่วง 4.35–4.47 และ 4.5–5.5°Brix ตามลำดับ นอกจากนี้ พบว่าน้ำกล้วยน้ำว้าที่แปรอัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละผลผลิต (%Yield) เพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 55.37–77.98 ส่งผลทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลงจาก 3.62±0.01 บาท ต่อ 100 มิลลิลิตร ในตัวอย่าง T1 (อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:1) เป็น 1.81±0.01 บาท ต่อ 100 มิลลิลิตร ในตัวอย่าง T4 (อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:4) ดังแสดงในตาราง 27



ภาพ 15 ลักษณะปรากฏของน้ำกล้วยน้ำว้า

กำหนดให้ T1 คือ น้ำกล้วยน้ำว้า ที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:1
T2 คือ น้ำกล้วยน้ำว้า ที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:2
T3 คือ น้ำกล้วยน้ำว้า ที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:3
T4 คือ น้ำกล้วยน้ำว้า ที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:4

ตาราง 26 คุณลักษณะของน้ำกล้วยน้ำว้า ที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อปริมาณน้ำแตกต่างกัน

คุณลักษณะ	ตัวอย่าง			
	T1	T2	T3	T4
ค่าความข้นหนืด (cP) (ที่ 30±2°C)	16.90^{a}±0.16	14.95^{b}±0.14	13.15^{c}±0.21	11.50^{d}±0.35
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix)	10.00^{a}±0.00	8.50^{b}±0.00	5.50^{c}±0.00	4.50^{d}±0.00
ค่าพีเอช	4.35^{c}±0.00	4.42^{b}±0.00	4.43^{b}±0.00	4.47^{a}±0.00
ร้อยละผลผลิต (%Yield)	55.85^{d}±0.03	71.76^{c}±0.02	74.35^{b}±0.07	77.88^{a}±0.11
ต้นทุนการผลิต/100 มิลลิลิตร (บาท)	3.62^{a}±0.01	2.34^{b}±0.03	2.02^{c}±0.02	1.81^{d}±0.01

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ

กำหนดให้ T1 คือ น้ำกล้วยน้ำว้า ที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:1

T2 คือ น้ำกล้วยน้ำว้า ที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:2

T3 คือ น้ำกล้วยน้ำว้า ที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:3

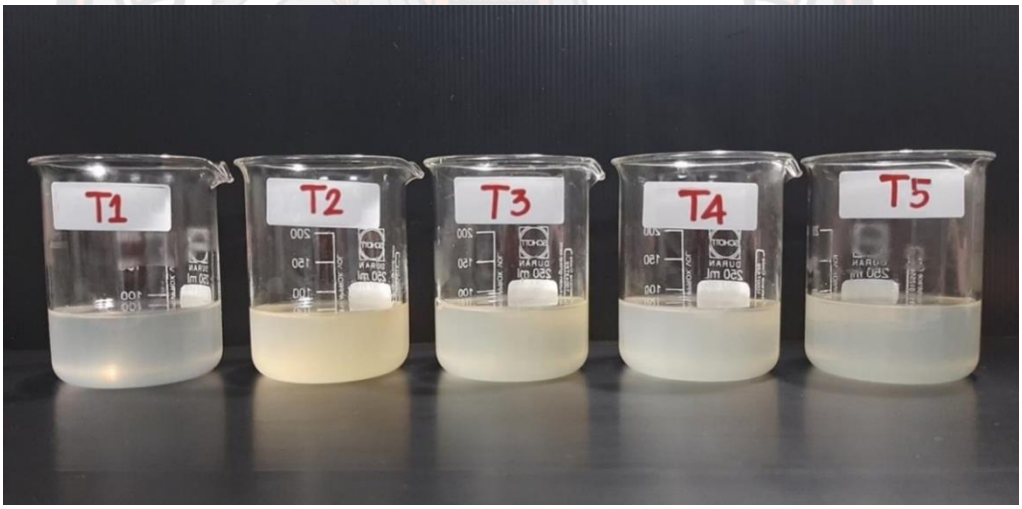
T4 คือ น้ำกล้วยน้ำว้า ที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:4

เมื่อนำน้ำกล้วยน้ำว้าที่ได้ทั้ง 4 สิ่งทดลอง มาปรับค่าพีเอช และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ให้ได้เท่ากับ 3.50 และ 12°Brix ด้วยกรดซิตริก และน้ำตาลทราย ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้าที่แปรอัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ 1:1 1:2 1:3 และ 1:4 ต้องใช้กรดซิตริก ปริมาณ 1.62 3.43 4.71 และ 6.39 กรัม ตามลำดับ และน้ำตาลทราย 22.16 75.36 193.70 และ 272.58 กรัม ตามลำดับ ของปริมาณน้ำกล้วยที่ได้ คือ 1,108 2,153 2,980 และ 3,894 กรัม ตามลำดับ (ตาราง 28) จากนั้น เติมโพลีเดกส์โตรสปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด คนให้ละลายเข้ากันดี แล้วจึงนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที พบว่าสีของน้ำกล้วยทั้ง 4 สิ่งทดลอง จะมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น และมีค่าความสว่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้าไม่เติมโพลีเดกส์โตรส ดังแสดงในภาพ 16

ตาราง 27 ส่วนผสมน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร

ส่วนผสม	ตัวอย่าง				
	T1	T2	T3	T4	T5
น้ำกล้วยน้ำว้า (กรัม)	2,980.00	1,108.00	2,153.00	2,980.00	3,894.00
น้ำตาลทราย (กรัม)	193.70	22.16	75.36	193.70	272.58
กรดซิตริก (กรัม)	4.71	1.62	3.43	4.71	6.39
โพลีเดกส์โตรส (กรัม)	–	56.59	111.59	158.92	208.65

กำหนดให้ T1 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 (ไม่เติมโพลีเดกส์โตรส)
T2 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส
T3 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:2 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส
T4 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส
T5 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:4 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส



ภาพ 16 ลักษณะปรากฏของน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร

กำหนดให้ T1 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 (ไม่เติมโพลีเดกส์โตรส)
T2 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส
T3 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:2 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส
T4 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส
T5 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:4 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส

โดยตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนของน้ำที่สูงขึ้น จะส่งผลทำให้ค่า L* ซึ่งเป็นค่าแสดงสีดำและสีขาวของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าสีแดงลดลง ค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ความเข้มสี และค่า *h*(°) หรือค่ามุมของสี (hue angle, *h*°) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ ค่า a* ติดลบมากขึ้น ค่า b* ติดลบน้อยลง ค่า C* และ *h*(°) มีค่าลดลง ตามลำดับ โดยค่า *h*(°) มีค่าอยู่ในช่วง 139.33–175.22 องศา แสดงถึงตัวอย่างมีสีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว นอกจากนี้ค่าความข้นหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix) จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกัน โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 11.15–17.06 cP (ที่ 30±2°C) และ 4.5–5.5°Brix ตามลำดับ ในขณะที่ร้อยละผลผลิต (%Yield) มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 55.37–77.98 อย่างไรก็ตามน้ำกล้วยน้ำว้าที่แปรอัตราส่วนของน้ำที่สูงขึ้นจะทำให้ต้นทุนการผลิต (บาท) ต่อ 100 มิลลิลิตร (มล.) ลดลงจาก 3.62±0.01 บาท ในตัวอย่าง T1 (น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:1) เป็น 1.81±0.01 บาท ในตัวอย่าง T4 (น้ำกล้วยน้ำว้า ที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:4) ดังแสดงในตาราง 29

ตาราง 28 คุณลักษณะของน้ำกล้วยน้ำว้าก่อนและหลังเติมโพลีเดกส์โตรส

คุณลักษณะ	ตัวอย่าง				
	T1	T2	T3	T4	T5
ค่า L*	27.45^{c}±0.02	18.13^{e}±0.1	23.73^{d}±0.09	29.28^{b}±0.03	33.4^{a}±0.03
ค่า a*	-1.97^{b}±0.01	-3.55^{e}±0.02	-2.91^{d}±0.06	-2.22^{c}±0.03	-1.01^{a}±0.06
ค่า b*	-3.40^{d}±0.04	-2.22^{a}±0.01	-2.66^{b}±0.04	-3.29^{c}±0.03	-3.96^{e}±0.05
ค่า C*	3.69^{d}±0.02	4.43^{a}±0.04	4.03^{b}±0.03	3.75^{c}±0.02	3.66^{e}±0.02
ค่า *h* (°)	144.92^{d}±0.45	175.05^{a}±0.17	162.74^{b}±0.08	157.36^{c}±0.25	139.67^{e}±0.34
ค่าความข้นหนืด (cP)(ที่ 30±2°C)	13.15^{d}±0.21	17.20^{a}±0.07	15.99^{b}±0.08	14.30^{c}±0.03	12.31^{e}±0.06
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix)	5.50^{e}±0.14	19.5^{a}±0.06	14.5^{b}±0.08	12.00^{c}±0.14	11.00^{d}±0.07
ค่าพีเอช	4.43^{b}±0.01	3.50^{b}±0.01	3.50^{b}±0.04	3.50^{a}±0.07	3.50^{b}±0.04
ต้นทุนการผลิต (บาท)/100 มล.	2.02^{e}±0.00	5.51^{a}±0.00	4.31^{b}±0.00	4.02^{c}±0.00	3.83^{d}±0.00

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

กำหนดให้ T1 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 (ไม่เติมโพลีเดกส์โตรส)
T2 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส
T3 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:2 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส
T4 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส
T5 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:4 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส

จากขั้นตอนการเตรียมน้ำกล้วยน้ำว้า พบว่าเมื่อนำกล้วยน้ำว้ามาปอกเปลือกและนำไปนึ่งผ่านไอร้อน ทำให้น้ำกล้วยที่ได้หลังกรองจะยังคงไม่เกิดสีน้ำตาล แต่เมื่อนำมาให้ความร้อน พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะเบื้องต้นของน้ำกล้วยน้ำว้าที่ได้ โดยจะมีสีเหลืองเข้มขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกล้วยน้ำว้าในครั้งนี้เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) ชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non–enzymatic browning reaction) เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์ (Reducing sugar) กับกรดอะมิโน (Amino acid) โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตผลที่ได้รับจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด เป็นสารประกอบหลายชนิด ที่ให้สีน้ำตาลและกลิ่นรสต่าง ๆ ทั้งที่พึงประสงค์ และไม่พึงประสงค์ (Mohamed et al., 2019)

การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด คือ น้ำตาลรีดิวซ์ ทั้งน้ำตาลคีโทส (Ketose) เช่น ฟรักโทส (Fructose) และแอลโดส (Aldose) เช่น กลูโคส (Glucose) จะรวมตัวกับหมู่แอมิโน (RNH_2) ของกรดแอมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็น Imines หรือ Schiff 's base มีการเรียงตัวใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (Aldose amine) หรือ คีโทสเอมีน (Ketose amine) เรียกว่า Amadori compound เช่น 1–อะมิโน–1–ดีออกซี–คีโทส เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ เมื่อมีค่าพีเอช 5 หรือต่ำกว่า ซึ่งน้ำกล้วยน้ำว้ามีค่าพีเอช เท่ากับ 4.3 ต่ำกว่า 5 และมีองค์ประกอบของน้ำตาลรีดิวซ์อยู่มากถึง 40.80 mg/100g (Akkarachaneeyakorn and Tinrat, 2018) จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น ลักษณะสีของน้ำกล้วยที่ได้จึงมีสีเข้มขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ ปุณยวีร์ รัตนศิริ และคณะ (2552) พบว่า น้ำตาลกลูโคสเป็นน้ำตาลรีดิวซิงที่มีส่วนประกอบของกลุ่มคาร์บอนิล เมื่อรวมกับกรดอะมิโนไกลซีนที่เป็นองค์ประกอบสำคัญทำให้เร่งการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เกิดสีน้ำตาลขึ้น อย่างไรก็ตาม ในสารละลายน้ำตาลซูโครสผสมกรดอะมิโนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พีเอชต่ำ (pH=4) ค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่าและมีค่า a* สูงกว่าสารละลายน้ำตาลซูโครสผสมกรดอะมิโนที่ค่าพีเอช (pH = 5 และ6) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p<0.05$) ทั้งนี้เกิดจากการเก็บรักษาซูโครสที่อุณหภูมิสูง พีเอชต่ำส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเร็วขึ้น (Pennington et al., 1990) จากนั้นจึงเกิดปฏิกิริยา Enolization ของ Amadori compounds ได้เป็นไดคีโทสเอมีนหรือไดแอมิโนซูการ์ เช่น 3–ดีออกซีเฮกโซซูโลส และเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันต่อได้เป็นอนุพันธ์ของฟูแรน (Furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซส อนุพันธ์ฟูแรน คือ 5–ไฮดรอกซีเมทิล–2–เฟอรัลดีไฮด์ (5–hydroxymethyl–2–furaldehyde หรือ HMF) จากนั้น อนุพันธ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HMF สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้จึงเรียกว่า เมลานอยดิน (Melanoidins) เป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมล (Mole per mole reaction) ซึ่งการเกิดเมลานอยดินจะเป็นการเพิ่มรสชาติและกลิ่นให้กับผลิตภัณฑ์อีกด้วย (Mohamed et al., 2019)

เมื่อนำตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ได้ไปทำการทดสอบความชอบแบบจัดอันดับ (Ranking test) โดยใช้กลุ่มผู้ทดสอบชิมที่ชอบรับประทานกล้วยน้ำว้า จำนวน 30 คน ในการเรียงลำดับคะแนนความชอบ ด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม ของตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร โดยคะแนน 1 หมายถึง อันดับที่ชอบมากที่สุด และคะแนน 5 หมายถึง อันดับที่ชอบน้อยที่สุด (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547) ผลการทดสอบพบว่าความชอบของผู้บริโภคที่มีตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร เมื่อคิดเป็นร้อยละของผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 30 คน พบว่า คุณลักษณะด้านสีและรสชาติ ของตัวอย่าง T4 ได้รับคะแนนลำดับสูงที่สุด คือ ร้อยละ 63.33 และ 40.00 ตามลำดับ และในคุณลักษณะด้านกลิ่น ตัวอย่าง T2 ได้รับคะแนนลำดับความชอบสูงที่สุด คือ ร้อยละ 56.67 ในขณะที่คุณลักษณะด้านความชอบรวม ตัวอย่าง T4 อยู่ในอันดับที่ 1 (ร้อยละ 70.00) รองลงมาได้แก่ ตัวอย่าง T5 อยู่ในอันดับที่ 2 (ร้อยละ 50.00) ตัวอย่าง T1 อยู่ในอันดับที่ 3 (ร้อยละ 66.67) ตัวอย่าง T3 อยู่ในอันดับที่ 4 (ร้อยละ 83.33) และตัวอย่าง T2 อยู่ในอันดับที่ 5 (ร้อยละ 76.67) ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 30

ตาราง 29 ร้อยละคะแนนลำดับความชอบ (Ranking score) ด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารจากผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 30 คน

คุณลักษณะ	ตัวอย่าง	ร้อยละของผู้ทดสอบชิม ในแต่ละคะแนนลำดับความชอบ					ผลรวม
		อันดับที่ 1	อันดับที่ 2	อันดับที่ 3	อันดับที่ 4	อันดับที่ 5	
สี	T1	13.33	16.67	70.00	0.00	0.00	100.00
	T2	3.33	3.33	3.33	13.33	76.67	100.00
	T3	3.33	10.00	23.33	63.33	0.00	100.00
	T4	63.33	30.00	6.67	0.00	0.00	100.00
	T5	23.33	53.33	23.33	0.00	0.00	100.00
กลิ่น	T1	36.67	26.67	36.67	0.00	0.00	100.00
	T2	56.67	20.00	20.00	3.33	0.00	100.00
	T3	13.33	46.67	33.33	6.67	0.00	100.00
	T4	30.00	46.67	23.33	0.00	0.00	100.00
	T5	33.33	26.67	40.00	0.00	0.00	100.00
รสชาติ	T1	30.00	26.67	43.33	0.00	0.00	100.00
	T2	0.00	3.33	10.00	3.33	83.33	100.00
	T3	6.67	3.33	0.00	86.67	3.33	100.00
	T4	40.00	33.33	26.67	0.00	0.00	100.00
	T5	30.00	40.00	30.00	0.00	0.00	100.00
ความชอบรวม	T1	10.00	23.33	66.67	0.00	0.00	100.00
	T2	0.00	3.33	0.00	20.00	76.67	100.00
	T3	6.67	6.67	3.33	83.33	0.00	100.00
	T4	70.00	26.67	3.33	0.00	0.00	100.00
	T5	20.00	50.00	30.00	0.00	0.00	100.00

กำหนดให้ T1 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 (ไม่เติมโพลีเดกส์โตรส)
T2 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส
T3 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:2 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส
T4 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส
T5 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:4 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบความชอบแบบจัดอันดับ ค่าเฉลี่ยอันดับความชอบ (ตาราง 31) พบว่า คุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม ของตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ได้รับการจัดอันดับให้อยู่อันดับที่ 1 หรือมีค่าลำดับน้อยที่สุด คือ ตัวอย่าง T4 ที่อัตราส่วนน้ำต่อกล้วย เท่ากับ 1:3 เนื่องมาจากอัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำมีความเหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นสารประกอบเมลานอยดิน ที่ให้สีน้ำตาลและกลิ่นรสต่าง ๆ ซึ่งเป็นการเพิ่มรสชาติและกลิ่นให้กับผลิตภัณฑ์อีกด้วย ทำให้ตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร T4 ได้รับคะแนนการจัดอันดับให้อยู่ลำดับที่ 1 หรือมีความชอบมากที่สุด ตัวอย่าง T4 จึงถูกนำมาใช้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาสูตรน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารต้นแบบในตอนต่อไป

ตาราง 30 ค่าเฉลี่ยอันดับความชอบ (Ranking score) ด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารจากผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 30 คน

คุณลักษณะ	อันดับความชอบ (ค่าเฉลี่ย)				
	T1	T2	T3	T4	T5
สี	2.60^{c}±0.04	4.51^{a}±0.08	3.46^{b}±0.01	1.41^{e}±0.03	2.04^{d}±0.05
กลิ่นหอม	2.08^{b}±0.11	1.68^{c}±0.02	2.34^{a}±0.01	1.94^{b}±0.00	2.12^{b}±0.08
รสชาติ	2.20^{c}±0.09	4.61^{a}±0.09	3.72^{b}±0.07	1.88^{d}±0.02	2.09^{cd}±0.12
ความชอบรวม	2.60^{c}±0.05	4.69^{a}±0.02	3.64^{b}±0.01	1.39^{d}±0.08	2.36^{c}±0.37

หมายเหตุ: ± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ

กำหนดให้ T1 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 (ไม่เติมโพลีเดกส์โตรส)
T2 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส
T3 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:2 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส
T4 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส
T5 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อน้ำ เท่ากับ 1:4 หลังเติมโพลีเดกส์โตรส

นำตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่คัดเลือกได้ (T4) มาทำการศึกษาการลดปริมาณน้ำตาลทรายด้วยพาลาทีน (ซึ่งมีค่า Glycemic Index: GI) ต่ำ) โดยแปรปริมาณของพาลาทีนในสูตรน้ำกล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร 2 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 50 และ 100 ของปริมาณน้ำตาลทราย โดยกำหนดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix) ของน้ำกล้วยน้ำว้าเริ่มต้น (ก่อนเติมโพลีเดกส์โตรส) เท่ากับ 12°Brix ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเยลลี่คาร์ราจีแนนพร้อมดื่มที่มีจำหน่ายทางการค้า ยี่ห้อ Sappe (11.25°Brix) ดังนั้น น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่คัดเลือกได้ คือ น้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยต่อน้ำเท่ากับ 1:3 จากเดิมที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เริ่มต้น เท่ากับ 5.5°Brix (จากตาราง 31) และต้องเติมน้ำตาลทรายปริมาณ 6.5 กรัม ต่อน้ำกล้วยปริมาณ 100 กรัม เพื่อให้ได้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เท่ากับ 12°Brix (คิดเป็นน้ำตาลทรายร้อยละ 100) โดยทำการทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 ด้วยพาลาทีน ซึ่งพาลาทีนมีความหวานสูงกว่าน้ำตาลทราย 2 เท่า จึงต้องใช้น้ำตาลทราย 3.25 กรัม ร่วมกับพาลาทีน 1.63 กรัม และใช้พาลาทีนปริมาณ 3.25 กรัม ต่อน้ำกล้วย ปริมาณ 100 กรัม ทดแทนน้ำตาลร้อยละ 100 โดยตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 32

ตาราง 31 ส่วนผสมน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่แปรปริมาณพาลาทีนแตกต่างกัน

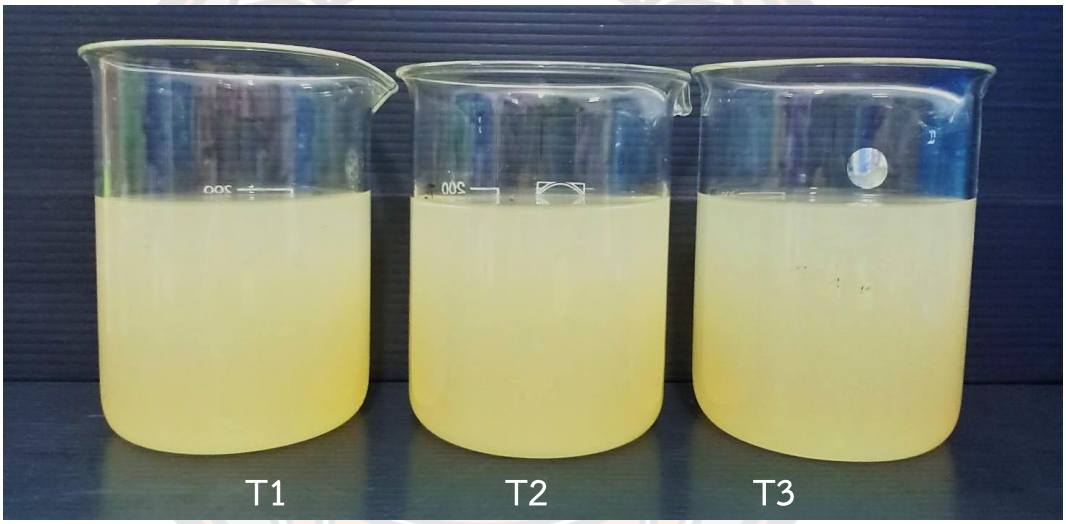
ส่วนผสม	ตัวอย่าง		
	T1 (สูตรควบคุม)	**T2**	**T3**
น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร (กรัม)	100.00	100.00	100.00
น้ำตาลทราย (กรัม)	6.50	3.25	0.00
พาลาทีน (กรัม)	0.00	1.63	3.25

กำหนดให้ T1 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้น้ำตาลทรายร้อยละ 100 (ไม่เติมพาลาทีน)

T2 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50

T3 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 100

หลังเติมพาลาทีนลงไป เมื่อสังเกตด้วยสายตาไม่พบการเปลี่ยนแปลงสีและความขุ่นของตัวอย่าง (T2 และ T3) และเมื่อทดลองใช้ช้อนคนลงในตัวอย่างก็ไม่สามารถแยกความแตกต่างของความข้นหนืด ทั้งก่อนและหลังเติมพาลาทีนได้ ซึ่งจากตาราง 32 เมื่อนำตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้น้ำตาลเป็นสารให้ความหวาน และใช้พาลาทีน มาตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี พบว่าการเติมพาลาทีนลงไปมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสี (ค่า L* a* b* C* และ *h*) (ภาพ 17) และค่าความข้นหนืด เพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยที่ค่าพีเอช ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตาม พบว่าน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารหลังเติมพาลาทีนทำให้ค่า a_w ลดลง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ร้อยละผลผลิต และต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตาราง 33



ภาพ 17 น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่แปรปริมาณพาลาทีนแตกต่างกัน

กำหนดให้ T1 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้น้ำตาลทรายร้อยละ 100 (ไม่เติมพาลาทีน)
T2 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50
T3 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 100

ตาราง 32 คุณลักษณะของน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่แปรปริมาณพาลาทีนแตกต่างกัน

คุณลักษณะ	น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่แปรปริมาณพาลาทีน		
	T1	T2	T3
ค่า L*	21.14^{b}±0.03	21.85^{a}±0.07	22.10^{a}±0.14
ค่า a*	-1.41^{b}±0.01	-0.83^{a}±0.04	-1.51^{b}±0.03
ค่า b*	-4.18^{c}±0.04	-3.50^{a}±0.01	-3.76^{b}±0.06
ค่า C*	4.46^{a}±0.04	3.61^{c}±0.04	4.12^{b}±0.06
ค่า *h* (°)	251.80^{b}±0.07	256.43^{a}±0.06	247.93^{c}±0.04
ค่าความข้นหนืด (cP) (ที่ 30±2°C)	15.63^{a}±0.11	14.50^{b}±0.04	14.30^{b}±0.03
ค่า a_w	0.858^{a}±0.004	0.808^{b}±0.001	0.814^{b}±0.002
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix)	16.50^{a}±0.00	15.40^{b}±0.00	14.20^{b}±0.00
ค่าพีเอช^{ns}	3.50±0.01	3.50±0.04	3.50±0.07
ต้นทุนการผลิต^{ns}/100 มล.(บาท)	4.02±0.00	4.77±0.00	5.55±0.00

หมายเหตุ: ± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ

กำหนดให้ T1 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้น้ำตาลทรายร้อยละ 100 (ไม่เติมพาลาทีน)
T2 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50
T3 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 100

การทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยวิธี 9 Point Hedonic Rating Scales ที่กำหนดคะแนนความชอบจาก 1 คะแนน (ไม่ชอบมากที่สุด) ไปจนถึง 9 คะแนน (ชอบมากที่สุด) ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่นหอมกล้วยน้ำว้า ความข้นหนืด รสหวาน รสเปรี้ยว และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบชิม (Untrained panelist) จำนวน 30 คน ผลการทดสอบชิม พบว่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นหอมกล้วยน้ำว้าและรสเปรี้ยวของตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้น้ำตาลทรายและพาลาทีนทั้ง 3 ตัวอย่าง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่พบว่าคะแนนด้านสี ความข้นหนืด รสหวาน และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 (T2) มีแนวโน้มคะแนนความชอบด้านความข้นหนืด รสหวาน และความชอบโดยรวมสูงกว่าในตัวอย่างอื่น ๆ และมีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้น้ำตาลทรายร้อยละ 100 (T1) ดังแสดงในตาราง 34

ตาราง 33 ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่แปรปริมาณพาลาทีนแตกต่างกัน

คุณลักษณะ	น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร		
	T1	T2	T3
สี	$6.30^{c} \pm 1.10$	$6.85^{b} \pm 1.15$	$7.77^{a} \pm 1.09$
กลิ่นหอมกล้วยน้ำว้า^{ns}	7.23 ± 0.55	7.34 ± 0.60	7.22 ± 0.60
ความข้นหนืด	$6.85^{b} \pm 1.65$	$7.45^{a} \pm 1.42$	$6.10^{c} \pm 1.42$
รสหวาน	$7.20^{b} \pm 0.75$	$8.05^{a} \pm 1.10$	$6.25^{c} \pm 0.80$
รสเปรี้ยว^{ns}	7.05 ± 0.50	7.10 ± 0.70	7.08 ± 0.60
ความชอบโดยรวม	$7.46^{a} \pm 0.65$	$7.55^{a} \pm 0.40$	$6.65^{c} \pm 0.42$

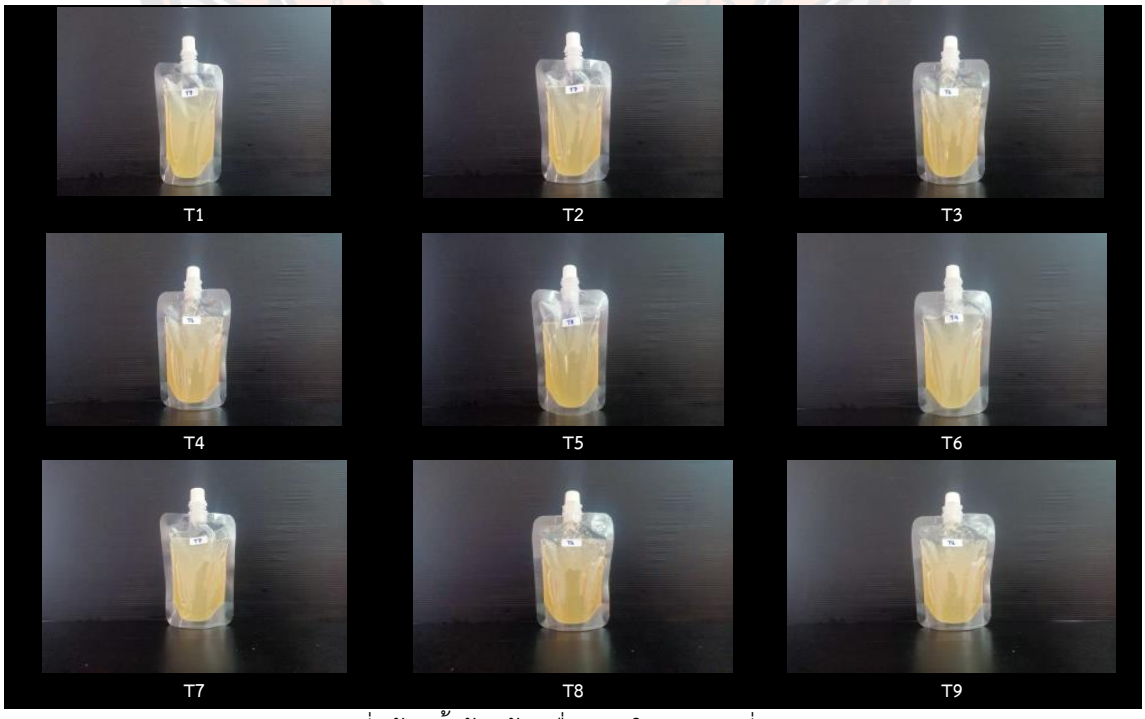
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

กำหนดให้ T1 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้น้ำตาลทรายร้อยละ 100 (ไม่เติมพาลาทีน)
T2 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50
T3 คือ น้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 100

ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบความชอบเป็นหลัก รวมถึงความเหมาะสมในการผลิต จึงคัดเลือกตัวอย่างกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 (T2) เพื่อนำไปศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อเกิดเจลที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารต่อไป เนื่องจากการเติมพาลาทีนร้อยละ 50 จะทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นเพียง 0.70 บาทต่อ 100 มิลลิลิตร ในขณะที่การเติมพาลาทีนร้อยละ 100 จะทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นถึง 1.41 บาทต่อ 100 มิลลิลิตร ซึ่งอาจส่งผลต่อการตั้งราคาจำหน่ายเพื่อการแข่งขันในอนาคต

ตอนที่ 2 การศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อเจลที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร

การศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อเจลที่เหมาะสม โดยใช้สารก่อเจล 3 ชนิด และปริมาณของสารก่อเกิดเจลที่ใช้ 3 ระดับ ได้แก่ คาร์ราจีแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.10 0.30 และ 0.50 ร่วมกับกลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 0.50 0.75 และ 1.00 และโลคัสบีนกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.30 0.50 และ 0.75 ของน้ำหนักน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลร้อยละ 50 (คัดเลือกได้จากตอนที่ 1) ผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างเยลลี่กล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารทั้ง 27 สิ่งทดลอง ที่ระดับความเข้มข้นของสารก่อเจลจากการอ้างอิงงานวิจัยก่อนหน้านี้นั้น มีลักษณะเจลที่แข็ง และจับตัวกันแน่น (ภาพ 18) ไม่สามารถบีบออกจากซองบรรจุภัณฑ์ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างเยลลี่คาร์ราจีแนนพร้อมดื่มที่มีจำหน่ายทางการค้าทั้ง 3 ยี่ห้อ (ภาพ 19) ที่มีลักษณะเป็นก้อนเยลลี่ผสมกับของเหลว มีความอ่อนตัว สามารถบีบออกมารับประทานได้ง่าย ระดับความเข้มข้นของสารก่อเจลดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากคุณลักษณะที่พึงประสงค์ของเยลลี่พร้อมดื่ม หรือเยลลี่เหลวจะต้องประกอบด้วยสารก่อเจลในปริมาณที่เหมาะสมที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในลักษณะเป็นวุ้นเหลว มีความข้นเหนียวพอเหมาะที่อุณหภูมิที่เหมาะสม ลักษณะเนื้อสัมผัสต้องหยุ่นตัวไม่แข็งกระด้าง และสามารถใช้หลอดดูดได้



ภาพ 18 ลักษณะปรากฏของเยลลี่กล้วยน้ำว้าพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร ที่แปรปริมาณสารก่อเจลแตกต่างกัน

T10
T11
T12
T13
T14
T15
T16
T17
T18
T19
T20
T21
T22
T23
T24
T25
T26
T27

ภาพ 18 (ต่อ)

กำหนดให้ T1 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.10 0.50 และ 0.30 ตามลำดับ

T2 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.10 0.50 และ 0.50 ตามลำดับ

T3 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.10 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ

T4 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.10 0.75 และ 0.30 ตามลำดับ

T5 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.10 0.75 และ 0.50 ตามลำดับ

T8 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.10 1.00 และ 0.50 ตามลำดับ

T9 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.10 1.00 และ 0.75 ตามลำดับ

T10 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.30 0.50 และ 0.30 ตามลำดับ

T11 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.30 0.50 และ 0.50 ตามลำดับ

T12 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.30 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ

T13 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.30 0.75 และ 0.30 ตามลำดับ

T14 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.30 0.75 และ 0.50 ตามลำดับ

T15 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.30 0.75 และ 0.75 ตามลำดับ

T16 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.30 1.00 และ 0.30 ตามลำดับ

T17 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.30 1.00 และ 0.50 ตามลำดับ

T18 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.30 1.00 และ 0.75 ตามลำดับ

T19 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.50 0.50 และ 0.30 ตามลำดับ

T20 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.50 0.50 และ 0.50 ตามลำดับ

T21 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.50 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ

T22 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.50 0.75 และ 0.30 ตามลำดับ

T23 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.50 0.75 และ 0.50 ตามลำดับ

T24 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.50 0.75 และ 0.75 ตามลำดับ

T25 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.50 1.00 และ 0.30 ตามลำดับ

T26 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.50 1.00 และ 0.50 ตามลำดับ

T27 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.50 1.00 และ 0.75 ตามลำดับ

จากผลการศึกษาข้างต้น ที่พบว่าระดับความเข้มข้นของสารก่อเจลดังกล่าว ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม และทำการศึกษาการปรับปรุงระดับความเข้มข้นของสารก่อเจลแต่ละชนิด โดยได้ทำการทดลองอย่างต่อเนื่อง จนพบว่าปริมาณของสารก่อเจลที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารดังกล่าว มีช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมในการนำมาศึกษา คือ คาร์ราจีแนนอยู่ในช่วงร้อยละ 0.15–0.20 กลูโคแมนแนนในช่วงร้อยละ 0.10–0.20 และโลคัสบีนกัมสามารถใช้ได้เพียงร้อยละ 0.10 เท่านั้น ดังแสดงในตาราง 35

ตาราง 34 การศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของชนิดและปริมาณสารก่อเจลในการผลิตเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 (สูตรปรับปรุง)

สิ่งทดลอง	ชนิดและปริมาณสารก่อเจลผสม		
	คาร์ราจีแนน (ร้อยละ)	**กลูโคแมนแนน (ร้อยละ)**	**โลคัสบีนกัม (ร้อยละ)**
T1	0.15	0.10	0.10
T2	0.15	0.20	0.10
T3	0.20	0.10	0.10
T4	0.20	0.20	0.10

ผลการทดลอง พบว่าเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 แปรปริมาณสารก่อเจลแตกต่างกัน ทั้ง 4 สิ่งทดลอง มีสีเหลืองออกน้ำตาลอ่อน และสามารถบรรจุลงในซองบรรจุได้พอดี (ภาพ 19) นอกจากนี้ สิ่งทดลองทั้ง 4 สิ่งทดลอง เมื่อนำไปตรวจสอบคุณลักษณะด้านต่าง ๆ พบว่ามีค่าความแข็ง และความยืดหยุ่นของเจล ใกล้เคียงกับเยลลี่คาร์ราจีแนนที่มีจำหน่ายทางการค้าทั้ง3 ยี่ห้อ ถึงแม้ว่าจะมีค่าการขับน้ำออกจากเจลแตกต่างกัน แต่เนื่องด้วยทางผู้ประกอบการ ต้องการให้เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่พัฒนาขึ้น มีลักษณะจับตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีส่วนผสมของของเหลวที่แยกตัวออกมาเหมือนกับเยลลี่คาร์ราจีแนนพร้อมดื่มที่มีจำหน่ายทางการค้าที่มีลักษณะเป็นก้อนเยลลี่ผสมของเหลวรวมอยู่ด้วย (ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน) เมื่อลองใช้มือบีบหลังจากการเซตเจลแล้ว พบว่าเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 ทุกสิ่งทดลองสามารถบีบออกมารับประทานได้โดยใช้แรงบีบไม่มากจนเกินไป

ภาพ 19 ลักษณะปรากฏของเยลลี่คาร์ราจีแนนพร้อมดื่ม: ก) ผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายทางการค้า และ ข) เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 ที่แปรปริมาณสารก่อเจลต่างกัน

กำหนดให้ T1 คือเยลลี่คาร์ราจีแนนพร้อมดื่มที่มีจำหน่ายทางการค้า ยี่ห้อ Sappe
B คือ เยลลี่คาร์ราจีแนนพร้อมดื่มที่มีจำหน่ายทางการค้า ยี่ห้อ Jele Beuty
C คือ เยลลี่คาร์ราจีแนนพร้อมดื่มที่มีจำหน่ายทางการค้า ยี่ห้อ Vitaday
T1 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ
T2 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.20 และ 0.10 ตามลำดับ
T3 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ
T4 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.20 และ 0.10 ตามลำดับ

คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ ของตัวอย่างเยลลี่กล้วยน้ำว้าพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 พบว่า ปริมาณของคาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมที่ใช้ในตัวอย่าง ส่งผลต่อค่าการขับน้ำออกจากเจล ความแข็ง และความยืดหยุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าการเพิ่มปริมาณคาร์ราจีแนน (จาก 0.15 เป็น 0.20) มีผลทำให้ค่าการขับน้ำออกจากเจลลดลง แต่ค่าความแข็ง และความยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่

การเพิ่มปริมาณกลูโคแมนแนน (จาก 0.10 เป็น 0.20) ส่งผลทำให้ค่าการขับน้ำออกจากเจลและค่าความแข็งลดลง แต่จะทำให้ค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเติมสารก่อเจลผสมที่ระดับต่าง ๆ จะไม่ทำให้ค่าพีเอชและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตาราง 36

ตาราง 35 ลักษณะทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 ที่แปรปริมาณสารก่อเจลแตกต่างกัน เปรียบเทียบกับเยลลี่คาร์ราจีแนนพร้อมดื่มที่มีจำหน่ายทางการค้า

ตัวอย่าง	ค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด				
	ค่าพีเอช	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix)	การขับน้ำออกจากเจล (%)	ความแข็ง (N)	ความยืดหยุ่น (%)
A	3.82^{b}±0.02	11.30^{b}±0.07	69.37^{a} ±0.01	36.26^{b}±1.19	33.01^{a}±0.48
B	3.95^{a}±0.01	9.15^{c}±0.07	61.94^{b}±0.02	34.24^{b}±1.44	19.12^{d}±0.83
C	3.70^{c}±0.01	2.20^{d}±0.14	57.79^{c}±0.04	42.22^{a}±2.97	0.00^{f}±0.00
T1	3.81^{b}±0.04	12.00^{a}±0.00	3.23^{d}±0.01	27.65^{c}±0.04	17.19^{e}±0.05
T2	3.80^{b}±0.01	12.00^{a}±0.00	3.02^{e}±0.03	29.99^{c}±0.02	16.34^{e}±0.01
T3	3.80^{b}±0.05	12.00^{a}±0.00	3.08^{e}±0.02	36.23^{b}±0.05	30.03^{b}±0.06
T4	3.81^{b}±0.05	12.00^{a}±0.00	2.67^{f}±0.02	37.34^{b}±0.01	22.74^{c}±0.05

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)
± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทำซ้ำ 3 ซ้ำ

กำหนดให้ T1 คือเยลลี่คาร์ราจีแนนพร้อมดื่มที่มีจำหน่ายทางการค้า ยี่ห้อ Sappe
B คือ เยลลี่คาร์ราจีแนนพร้อมดื่มที่มีจำหน่ายทางการค้า ยี่ห้อ Jele Beuty
C คือ เยลลี่คาร์ราจีแนนพร้อมดื่มที่มีจำหน่ายทางการค้า ยี่ห้อ Vitaday
T1 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ

T2 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.20 และ 0.10 ตามลำดับ

T3 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ

T4 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.20 และ 0.10 ตามลำดับ

จากตาราง 36 พบว่าชนิดและปริมาณของสารก่อเจลทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ ปริมาณคาร์ราจีแนน และกลูโคแมนแนน เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการขับน้ำออกจากเจล ความแข็ง และความยืดหยุ่น จึงทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อยืนยันผลจากปัจจัยดังกล่าวและทำการหาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย โดยจากตาราง 37 พบว่าทั้งปริมาณคาร์ราจีแนน และกลูโคแมนแนน (ปัจจัย A และ B ตามลำดับ) เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการขับน้ำออกจากเจล ความแข็ง และความยืดหยุ่นเจล ($p \leq 0.05$) ของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 ทั้งนี้ยังพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย ($p \leq 0.05$) ด้วย โดยพบว่าการเพิ่มปริมาณคาร์ราจีแนนและลดปริมาณกลูโคแมนแนนจะทำให้ค่าการขับน้ำออกจากเจลมีค่าลดลง ในขณะที่ความแข็งของเจลจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับ (ปริมาณการใช้) ของคาร์ราจีแนนและกลูโคแมนแนน ส่วนความยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดปริมาณของคาร์ราจีแนนและเพิ่มปริมาณของกลูโคแมนแนน ดังแสดงในภาพ 20

ตาราง 36 ปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะเจลของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 ที่แปรปริมาณสารก่อเจลแตกต่างกัน

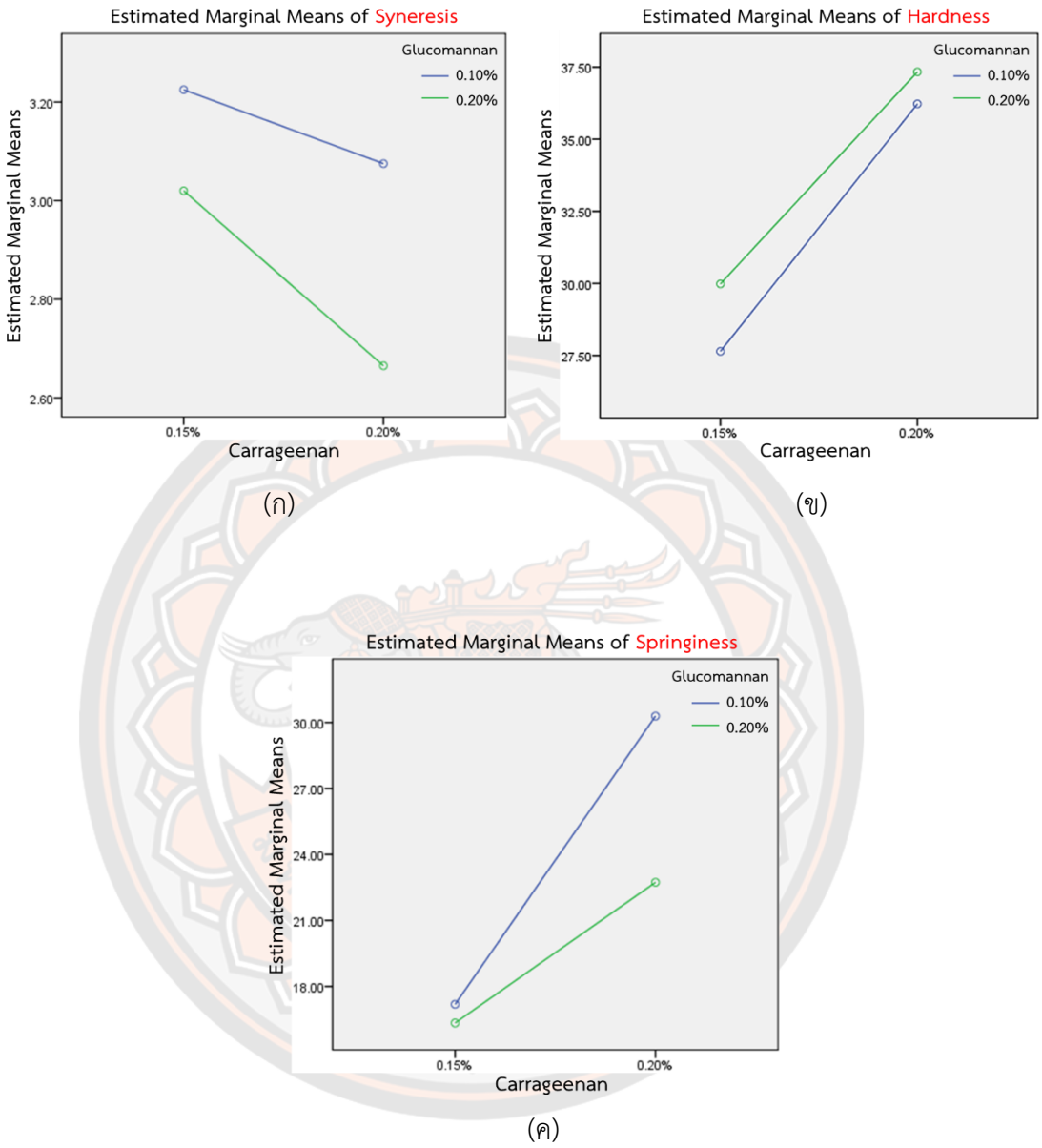
ค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด	ปัจจัย A	ปัจจัย B	ปฏิสัมพันธ์ (AxB)
	(P)	(P)	(P)
การขับน้ำออกจากเจล	<0.001*	<0.001*	<0.001*
ความแข็ง	<0.001*	<0.001*	<0.001*
ความยืดหยุ่น	<0.001*	<0.001*	<0.001*

หมายเหตุ : P หรือค่า sig เป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน

* คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

กำหนดให้ ปัจจัย A คือ ปริมาณคาร์ราจีแนน 2 ระดับ (0.15% และ 0.20%)

ปัจจัย B คือ ปริมาณกลูโคแมนแนน 2 ระดับ (0.10% และ 0.20%

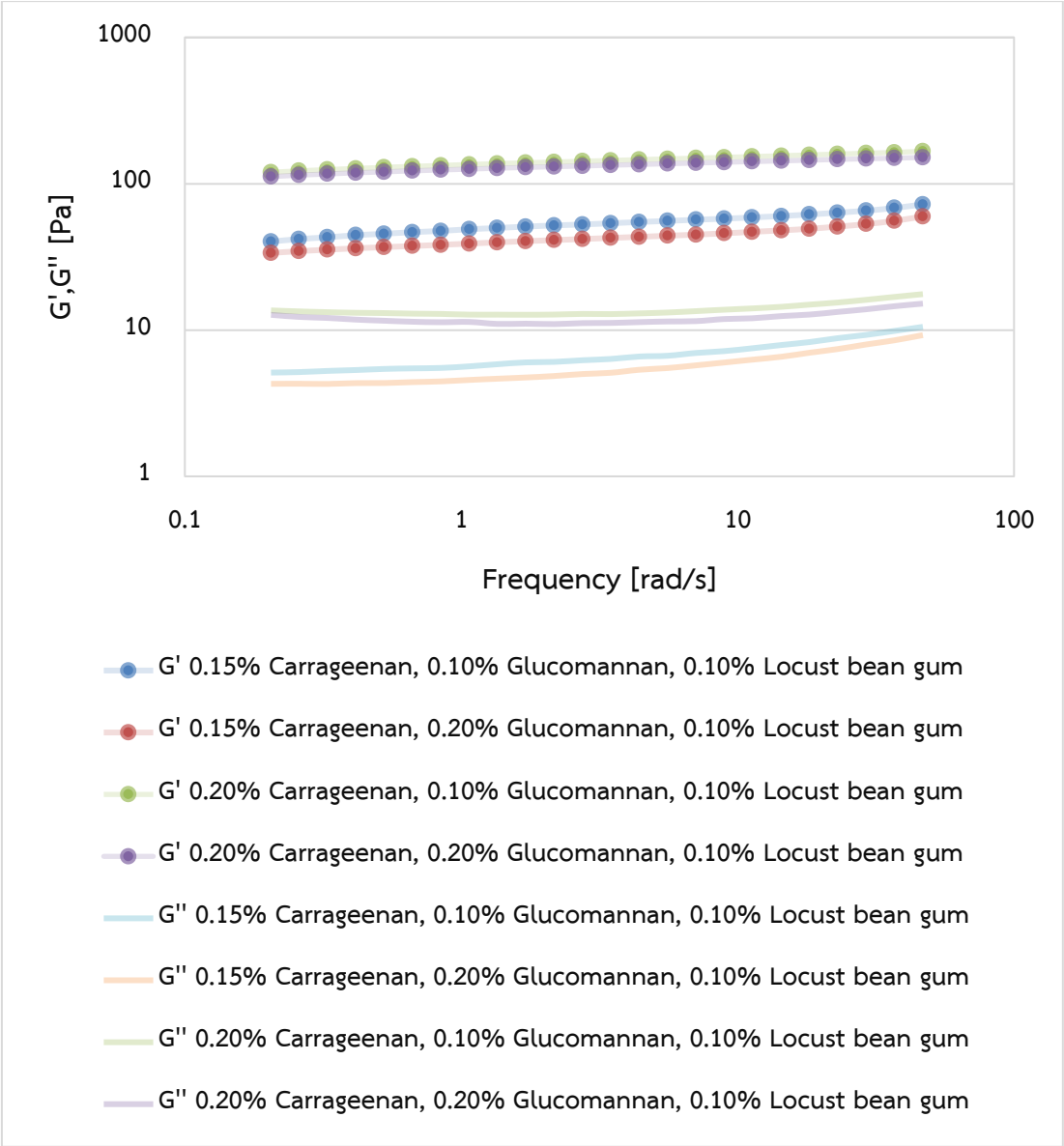


ภาพ 20 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์ราจีแนนและกลูโคแมนแนนที่มีผลต่อลักษะเจลของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50: ก) การขับน้ำออกจากเจล ข) ความแข็ง และ ค) ความยืดหยุ่น

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทาง Rheology ของเจลในสิ่งทดลอง ทั้ง 4 สิ่งทดลอง โดยทำการทดสอบแบบสั่น (Oscillatory test) ด้วยเครื่องทดสอบ (Rheometer) เพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ของคุณสมบัติวิสโคอิลาสติก (Viscoelastic parameters) ได้แก่ ค่าโมดูลัสสะสม (Storage modulus; G') ค่าโมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus; G") และค่ามุมสัมผัสสูญเสีย (Loss tangent; tan δ) พบว่าเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 ที่แปรปริมาณของสารก่อเจลแตกต่างกัน จำนวน 4 สิ่งทดลอง จะมีช่วงวิสโคอิลาสติกเชิงเส้น (LVR) เท่ากับ 1%

ผลการทดลองพบว่า ค่า G' ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณพลังงานที่วัสดุสะสมไว้หรือได้รับกลับคืนมาต่อหนึ่งรอบของการเสียสภาพแบบสั่น โดยหากค่า G' มีค่าสูง จะบ่งบอกถึงองค์ประกอบของตัวอย่าง (สิ่งทดลอง) ที่แสดงพฤติกรรมแบบยืดหยุ่น (มีคุณสมบัติเป็นของแข็งมากกว่าของเหลว) (ปาริดา จันทร์สว่าง, 2563) มากกว่าตัวอย่างที่มีค่า G' ต่ำกว่า ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า สิ่งทดลองที่ 4 (เติมคาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.15 และ 0.10 ตามลำดับ) จะมีค่า G' สูงที่สุด รองลงมาคือ สิ่งทดลองที่ 3 (คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ) สิ่งทดลองที่ 2 (เติมคาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.15 และ 0.10 ตามลำดับ) และสิ่งทดลองที่ 1 (เติมคาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ) ตามลำดับ โดยมีค่า G' ในช่วง 26.85–1139.30 Pa 26.67–1078.70 Pa 104.19–580.53 Pa และ 23.91–480.44 Pa ตามลำดับ และยังพบว่าค่า G' ของทั้ง 4 สิ่งทดลอง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเพิ่มความถี่ (Frequency) ที่ทำให้เกิดการสั่น (ภาพ 21)

ขณะที่ค่า G" ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณพลังงานที่สูญเสียในรูปของการกระจายพลังงานต่อหนึ่งรอบของการเสียสภาพแบบสั่น บ่งบอกถึงองค์ประกอบของตัวอย่าง (สิ่งทดลอง) ที่แสดงพฤติกรรมแบบไหลหนืด (ตัวอย่างมีคุณสมบัติเป็นของเหลวมากกว่าของแข็ง) (ปาริดา จันทร์สว่าง, 2563) ดังนั้นตัวอย่างใดที่มีค่า G" สูง ก็จะมีลักษณะเป็นของเหลวมากว่าตัวอย่างที่มีค่า G" ต่ำกว่า ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่า G' โดยสิ่งทดลองที่ 4 จะให้ค่า G" สูงที่สุด รองลงมา คือ สิ่งทดลองที่ 3 สิ่งทดลองที่ 2 และสิ่งทดลองที่ 1 ตามลำดับ มีค่า G" ในช่วง 2.94–1331.10 Pa 2.87–1057.60 Pa 10.44–1,708.10 Pa และ 8.731–1301.20 Pa ตามลำดับ และยังพบว่าค่า G" ของทั้ง 4 สิ่งทดลอง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเพิ่มความถี่ที่ทำให้เกิดการสั่นเช่นเดียวกับที่พบในค่า G' ดังแสดงในภาพ 21

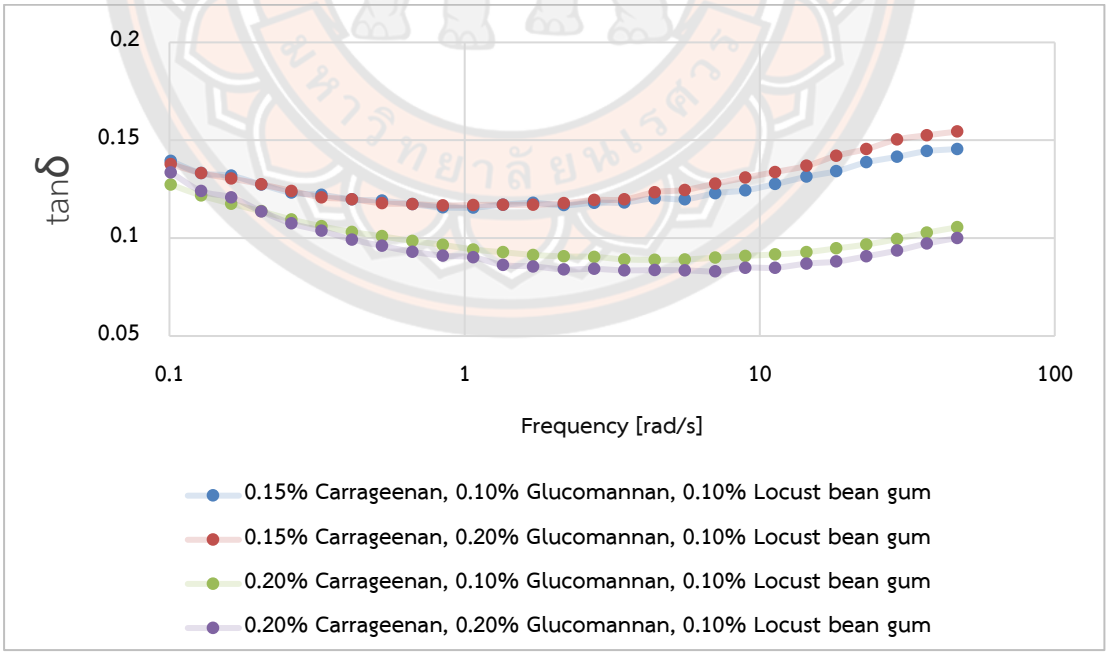


ภาพ 21 ผลของความถี่ต่อค่า Storage modulus (G') และค่า Loss modulus (G") ของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลอง พบว่าสิ่งทดลองที่ทั้ง 4 จะมีค่า G' สูงกว่า G" ตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ ซึ่งเป็นลักษณะของตัวอย่างที่มีความยืดหยุ่นและแข็งแรงหรือลักษณะคล้ายเจล (Gel–like) (Rao and Agarwal, 1999) โดยเมื่อพิจารณาค่า G' กับค่าความถี่ พบว่าตัวอย่างมีลักษณะของกราฟ G' เพิ่มขึ้นเมื่อค่าความถี่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงคุณลักษณะของเจลอ่อน (Weak gel) (Clark and Ross–Murphy, 1987) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Biliaderis et al., (1992) พบว่า ตัวอย่างแป้งเปียก

สตาร์ชถั่วเขียวความเข้มข้นร้อยละ 6 แป้งเปียกฟลาวกล้วยความเข้มข้นร้อยละ 6 และแป้งเปียกสตาร์ชข้าวโพดความเข้มข้นร้อยละ 6 จะมีค่า G' และ G" เพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น และมีค่า G'>G" ตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ ซึ่งเป็นลักษณะของตัวอย่างที่มีความยืดหยุ่นและแข็งแรง (Rao and Agarwal, 1999) นอกจากนี้ กมลวรรณ สืบแสน (2562) พบว่าเจลกล้วยที่เตรียมได้จากคาร์ราจีแนน มีค่า G' และ G" อยู่ในช่วง 847.26–3748.66 Pa และ 174.70–609.53 Pa ตามลำดับ โดยการเพิ่มค่าความแข็งของเจลกล้วยที่เตรียมได้จากไฮโดรคอลลอยด์ทุก ๆ ชนิด (จาก 10,000 เป็น 20,000 N/m^2) ส่งผลให้ค่า G' และค่า G" เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สอดคล้องกับค่า tanδ ที่แสดงสัดส่วนของการแสดงสถานะเป็นวัสดุไหลหนืดต่อสถานะยืดหยุ่น (G"/G') ดังนั้นถ้าค่า (tanδ) =0 หมายถึง วัสดุแสดงลักษณะยืดหยุ่น (อิลาสติกสมบูรณ์) tanδ >1 หมายถึง วัสดุนั้นมีความไหลหนืดมากกว่าความยืดหยุ่น และ tanδ <1 หมายถึง วัสดุนั้นมีความยืดหยุ่นมากกว่าความไหลหนืด จากผลการศึกษา พบว่าเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 ทั้ง 4 สิ่งทดลอง จะมีค่า tanδ มากกว่า 0 แต่น้อยกว่า 1 แสดงถึงคุณสมบัติทางวิสโคอิลาสติกระหว่างวัสดุที่มีความยืดหยุ่นและไหลหนืด ดังแสดงในภาพ 22



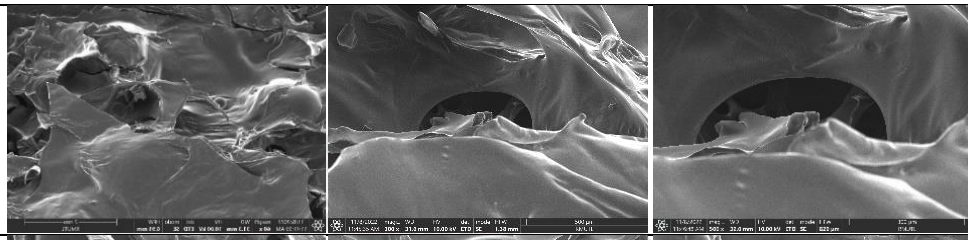
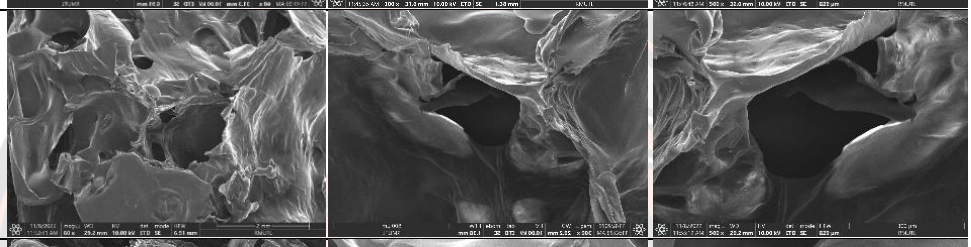
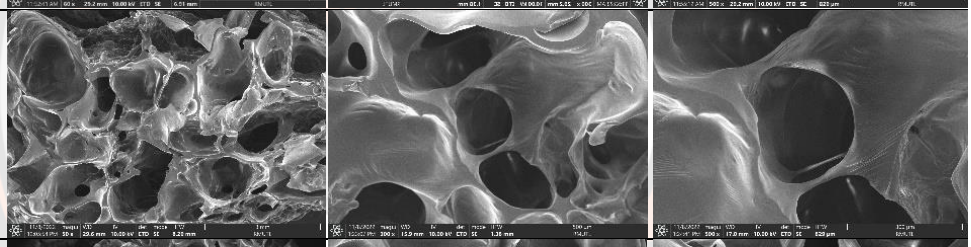
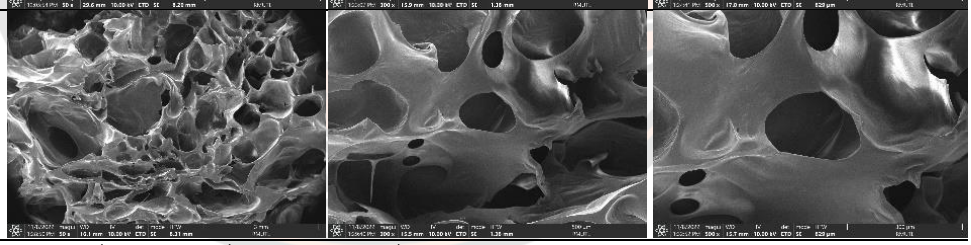
ภาพ 22 ผลของความถี่ต่อค่า Loss tangent (tanδ) ของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ดังนั้น เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 เติมคาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ (สิ่งทดลองที่ 1) มีค่าเฉลี่ย tanδ เข้าใกล้ 0 มากที่สุด (0.10) รองลงมา ได้แก่ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 เติมคาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.20 และ 0.20 ตามลำดับ (สิ่งทดลองที่ 2) เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 เติมคาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ (สิ่งทดลองที่ 3) และเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 เติมคาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ (สิ่งทดลองที่ 1)

โดยจะมีค่าเฉลี่ย tanδ เท่ากับ 0.10 0.13 และ 0.13 ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่า สิ่งทดลองที่ 1 มีค่า tanδ น้อยกว่าสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 แสดงว่า เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 ที่เติมคาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.20 มีความเป็นวิสโคอิลาสติกที่มีลักษณะเจลที่ใกล้เคียงลักษณะเจลแข็ง (Strong gel) มากกว่า (Steffe, 1996) สอดคล้องกับงานวิจัยของ (กมลวรรณ สืบแสน, 2562) พบว่า ค่า tanδ ของเจลกล้วยที่เตรียมได้จากอะการ์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.10–0.13 ในขณะที่เจลกล้วยที่เตรียมได้จากคาร์ราจีแนนมีค่าอยู่ในช่วง 0.16–0.21 และเจลกล้วยที่เตรียมได้จากเจลาตินมีค่าอยู่ใน ช่วง 0.06–0.07 โดยการเปลี่ยนแปลงค่า tanδ ของเจลกล้วยที่เตรียมได้จากอะการ์และเจลลาตินค่อนข้างอยู่ในช่วงแคบ มีเพียงเจลที่เตรียมจากคาร์ราจีแนนเท่านั้นที่การเพิ่มขึ้นของความแข็ง ส่งผลให้ค่า tanδ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้ ผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่า ความแข็งของจลมีผลกระทบต่อค่า G' และค่า G" เมื่อพิจารณาจากค่า G' ของเจลกล้วยจะเห็นได้ว่า ยิ่งเพิ่มความแข็งของเจล ยิ่งทำให้เจลที่เตรียมได้มีพลังงานสะสมและมีพฤติกรรมคล้ายของแข็งมากยิ่งขึ้น และการมีค่า G' ที่สูงกว่า G" และยังมีค่า tanδ ต่ำ บ่งบอกด้วยว่าเจลกล้วยที่เตรียมได้ก่อนข้างยืดหยุ่น (ปิยะดา อาชายุทธการ, 2560)

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเจลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ในการตรวจสอบความเป็นรูพรุนภายในโครงสร้างของเจล เพื่อศึกษาเอกลักษณ์ของเจล เนื่องจากมีความสำคัญต่อความแข็งแรงของโครงสร้างภายในเจล ที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของโมเลกุล ซึ่งสามารถอธิบายได้ทางสัณฐานวิทยา เช่น จำนวนและขนาดของรูพรุน หรือลำดับการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในโครงสร้างเจล (Jiang et al., 2019) ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ κ–คาร์ราจีแนน จากร้อยละ 0.15 เป็นร้อยละ 0.20 ความแข็งแรงของเจลจะเพิ่มขึ้น โดยสังเกตได้จากลักษณะของพื้นผิวจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ตาราง 38) โดยลักษณะพื้นผิวของเจลที่มีความเข้มข้นของ κ–คาร์ราจีแนนต่ำกว่า (T1 และ T2) จะมีความเรียบ มีจำนวนของรูพรุนน้อย และรูพรุนมีขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 366.90–443.4 μm เส้นโครงสร้างร่างแหจากการรวมตัวกันระหว่างสายเกลี่ยวพันธะคู่ (Double helices) ที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรวมตัวกันของสารก่อเจลผสมมีจำนวนน้อยมาก ในขณะที่ลักษณะพื้นผิวของเจลที่มีความเข้มข้นของคาร์ราจีแนนสูง (T3 และ T4) จะพบว่ามีจำนวนรูพรุนมากกว่า และรูพรุนมีขนาดเล็กกว่า โดยมีขนาดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 196.13–243.60 μm มีเส้นโครงสร้างร่างแหที่จัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ (ตาราง 39) การเพิ่มปริมาณของ κ–คาร์ราจีแนนที่เป็นสารให้ความคงตัวในสูตรผลิตภัณฑ์ ส่งผลทำให้เจลมีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น โครงสร้างของเจลทำหน้าที่ประสานกันเป็นร่างแห เจลจึงมีความแข็งแรง มีความคงตัว และมีความยืดหยุ่นมากขึ้น จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เยลลี่สูตรที่มีปริมาณ κ–คาร์ราจีแนนมากที่สุดเป็นสูตรที่มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (อธิชา เนตรบุตร และคณะ, 2565)

ตาราง 37 โครงสร้างระดับจุลภาคของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50 300 และ 500 เท่า

สิ่งทดลอง	กำลังขยาย		
	50x	300x	500x
T1			
T2			
T3			
T4			

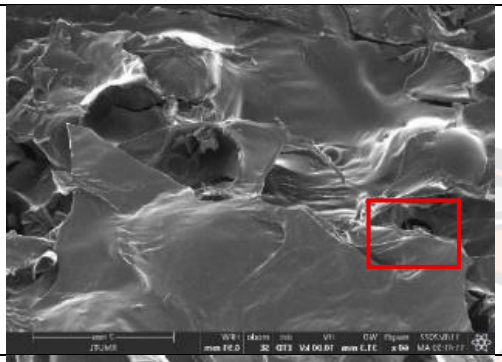
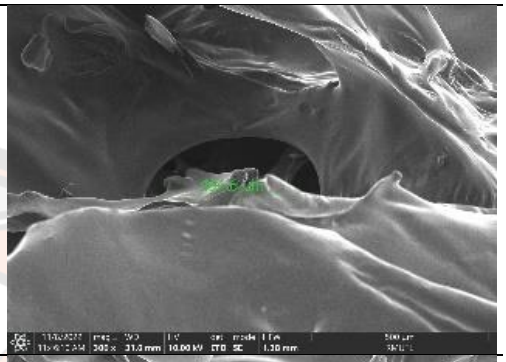
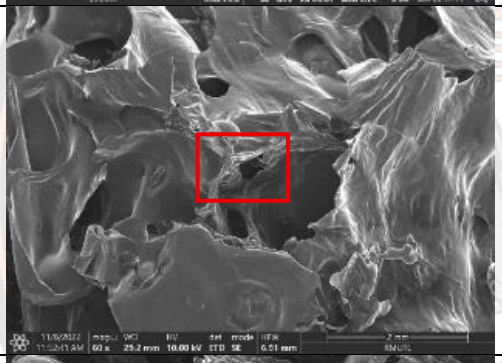
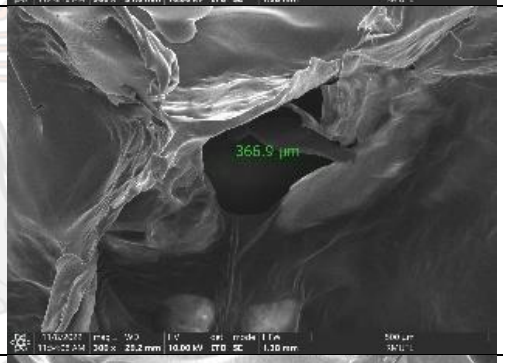
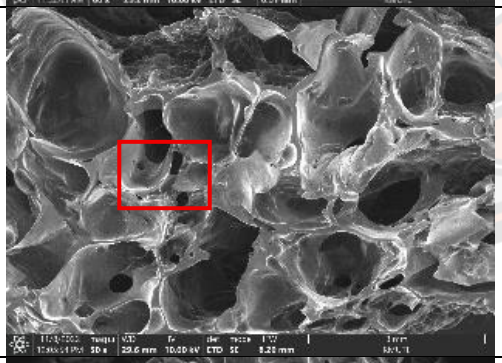
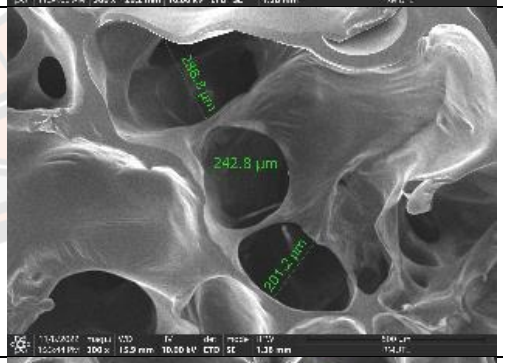
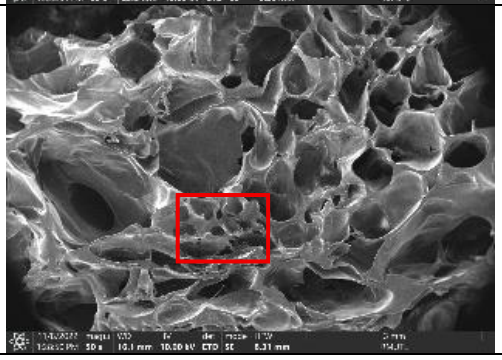
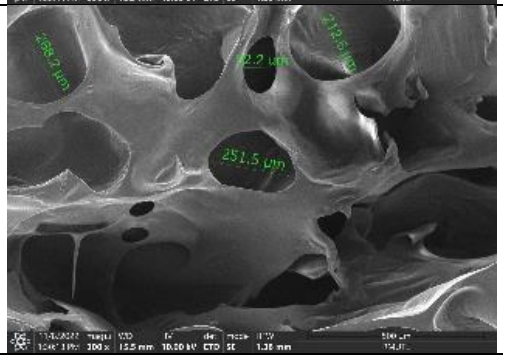
กำหนดให้ T1 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ

T2 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.20 และ 0.10 ตามลำดับ

T3 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ

T4 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.20 และ 0.10 ตามลำดับ

ตาราง 38 ลักษณะของรูพรุนที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างระดับจุลภาคของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏ	
	50x	300x
T1		
T2		
T3		
T4		

กำหนดให้ T1 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ

T2 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.20 และ 0.10 ตามลำดับ

T3 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ

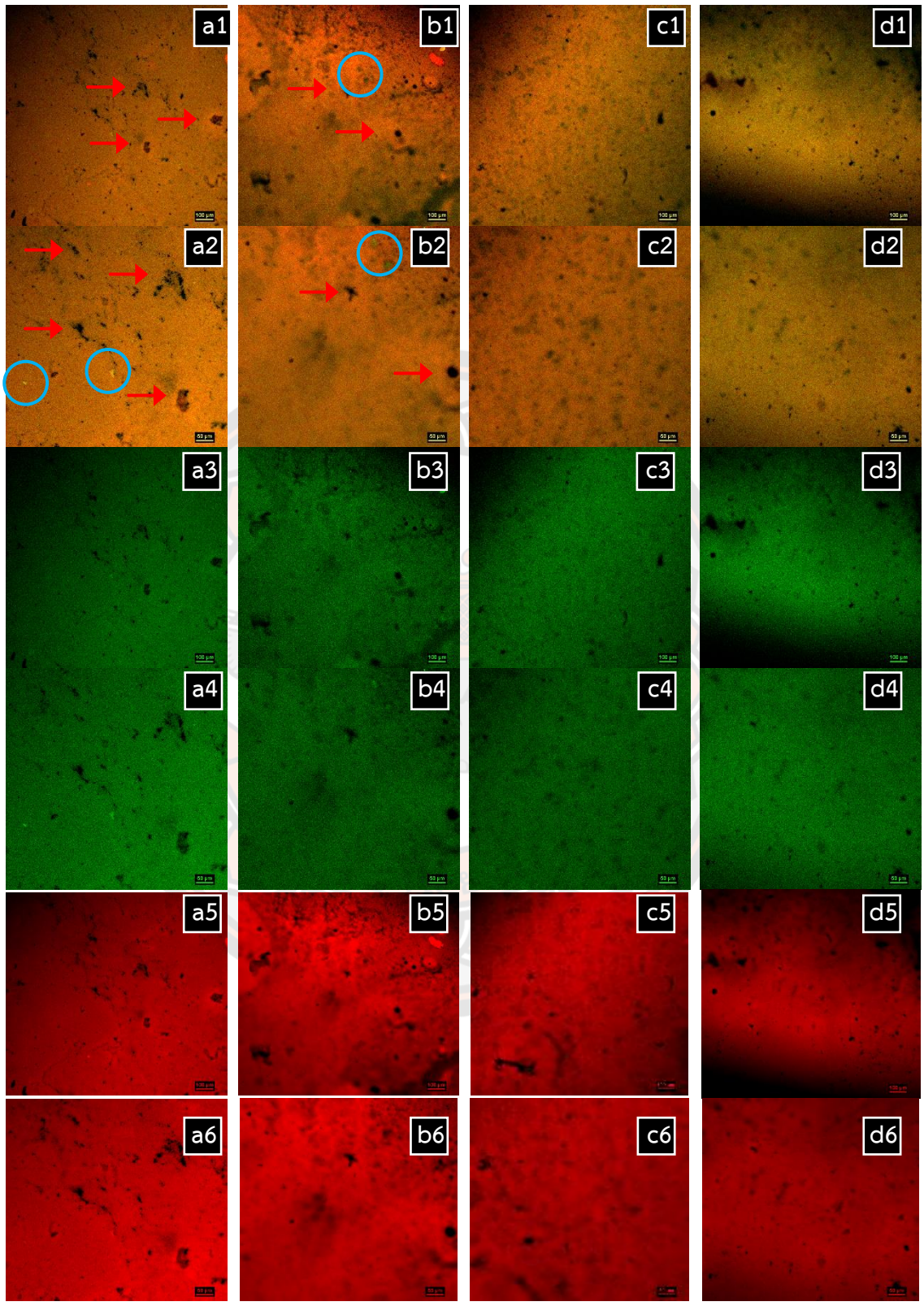
T4 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.20 และ 0.10 ตามลำดับ

กลูโคแมนแนนมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดีและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เมื่อนำมาใช้ในระบบการสร้างเจลของคาร์ราจีแนน สายของกลูโคแมนแนนจะเข้าไปรวมตัวที่บริเวณผิวหน้าของคาร์ราจีแนนในขณะเกิดการสร้างเจลส่งผลทำให้ Double helices ที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้น (Williams et al., 1995) ดังนั้น เมื่อเพิ่มปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลในการเตรียมผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ Double helices ที่เกิดขึ้นในระบบมีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้โครงร่างตาข่ายของเจลมีความแข็งแรง และมีความคงตัวมากขึ้น (ญาดา เอกสุวรรณ และคณะ, 2555) สอดคล้องกับผลการทดลองที่กล่าวไว้ข้างต้น (ตาราง 37) ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณคาร์ราจีแนนจะทำให้ค่าความแข็ง ของเจลเพิ่มขึ้น และค่าการขับน้ำออกจากเจลจะลดลง เนื่องจากเจลที่มีความแข็งแรงสูงจะสามารถกักเก็บน้ำไว้ภายในเจลได้ดี และจำนวนรูพรุนที่เพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มโอกาสการเกิดอันตรกิริยากับหมู่ฟังก์ชันภายในโครงสร้างของที่ทำให้เจลสามารถดูดซับของเหลวไว้ได้ในปริมาณมากขึ้น จึงทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำน้อยลง (Stanley, 1995; Teow et al., 2018) ขณะที่โครงสร้างของ κ–คาร์ราจีแนนเป็นเจลที่มีความแข็งแรง และไม่ยืดหยุ่นกับเกลือของโพแทสเซียมตลอดจนเป็นเจลที่มีความเปราะกับเกลือแคลเซียม (McHugh, 2003) ทั้งนี้การเติมผงบุกซึ่งมีองค์ประกอบของสารประกอบกลูโคแมนแนนที่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำและทำให้พองตัวจนเกิดโครงสร้างของเจลและสามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดเจลได้ดีขึ้นในสาร κ–คาร์ราจีแนน ส่งผลให้เกิดการเสริมฤทธิ์นำไปสู่ปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของ κ–คาร์ราจีแนนและผงบุกที่มีความแข็งแรงมากขึ้น (Gao and Nishinari, 2004) อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณของคาร์ราจีแนน และกลูโคแมนเพิ่มขึ้นนอกจากจะส่งผลทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นแล้ว ยังทำให้ค่าความยืดหยุ่นของเจลเพิ่มขึ้นอีกด้วย

นอกจากนี้ ยังพบว่าปริมาณของกลูโคแมนแนนที่เพิ่มขึ้น (มากกว่าร้อยละ 0.10) จะส่งผลทำให้เจลมีความยืดหยุ่นลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Kohyama et al., (1995) พบว่าเจลที่เตรียมจาก κ–คาร์ราจีแนนผสมกับกูลโคแมนแนนจะมีความแข็งแรงมากกว่าเจลที่เตรียมจาก κ–คาร์ราจีแนนเพียงชนิดเดียว เนื่องจากกลูโคแมนแนนมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดีและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เมื่อนำมาใช้ในระบบการสร้างเจถของคาร์ราจีแนนสายของกลูโคแมนแนนจะเข้าไปรวมตัวที่บริเวณผิวหน้า Double helices ของคาร์ราจีแนนในขณะเกิดการสร้างเจล (Williams et al., 1995) จึงทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นมากกว่าการใช้คาร์ราจีแนนเพียงอย่างเดียว และลดค่าการแยกตัวของน้ำลงได้ (Charalambous and Doxastakis, 1989) และการศึกษาของ วราศรี และคณะ (2563) พบว่า ชนิดและปริมาณของสารที่ทำให้เกิดเจลมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ตลอดจนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ($p<0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากสารผสมระหว่างคาร์ราจีแนนร่วมกับกลูโคแมนแนน ในอัตราส่วน 9:1 ที่ระดับร้อยละ 0.20 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($P<0.05$)

การวิเคราะห์โครงสร้างสามมิติของเจลด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลชนิดที่ใช้เลเซอร์ในการสแกน (Confocal laser scanning microscopy; CLSM) เพื่อศึกษาการกระจายตัวของสารก่อเจลในตัวอย่างฆเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร ทั้ง 4 สิ่งทดลอง พบว่าการกระจายตัวของสารก่อเจลผสม โดยในสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 มีลักษณะโครงสร้างของเจลที่แข็งแรงมากที่สุดจะมีการกระจายตัวของสารก่อเจลผสมอย่างสม่ำเสมอ ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 และ 2 จะมีการกระจายตัวของสารก่อเจลผสมไม่สม่ำเสมอ โดยภาพที่ได้จาก CLSM สามารถใช้อธิบายการก่อตัวของโครงสร้างเครือข่าย และความสามารถกระจายตัวในแต่ละเฟสของสารก่อเจลผสมได้ เพื่อใช้สังเกตโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างสารก่อเจลผสมระหว่าง κ–คาร์ราจีแนนและกลูโคแมนแนน (Dai et al., 2020; Khin et al., 2021) โดยจากภาพที่ทับซ้อนกันระหว่างสีเขียว และสีแดง (ภาพ 23: a1–d1 และ a2–d2 ตามลำดับ) พื้นที่สีดำ คือ เฟสของน้ำหรือของเหลวซึ่งอยู่ภายในโครงสร้างรูพรุนของสารก่อเจลผสม พื้นที่สีเขียว คือ โครงสร้างของโพลีแซ็กคาไรด์ (สารก่อเจล) ที่ใช้สีย้อม FITC (Fluorescein isothiocyanate) แสดงผลเป็นสีเขียว (ภาพ 23: a3–d3 และ a4–d4 ตามลำดับ) และพื้นที่สีแดง คือ เฟสของน้ำกล้วยน้ำว้าพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 ที่ใช้สีย้อม RITC (Rhodamine B isothiocyanate) แสดงผลเป็นสีแดง (ภาพ 23: a5–d5 และ a6–d6 ตามลำดับ) จากภาพ พบว่า ตัวอย่างของเจลที่มีความเข้มข้นของ

κ–คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.15 จะมีพื้นที่สีดำ หรือโครงสร้างรูพรุนที่ใช้กักเก็บน้ำไว้ภายใน จะมีขนาดใหญ่ และมีจำนวนมากกว่าตัวอย่างอื่น ๆ อีกทั้งยังเรียงตัวกันแบบไม่เป็นระเบียบ (ภาพ 23: a1–b1 และ a2–b2 ตามลำดับ) ซึ่งถ้าหากพื้นที่สีดำมีขนาดใหญ่ หมายถึงมีการเรียงตัวของโครงสร้างเจลที่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ เจลที่ได้จะมีความแข็งแรงน้อย มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ (พรทิพย์ ธนรติกุล, 2565) นอกจากนี้ เมื่อเพิ่มปริมาณหรือความเข้มข้นของกลูโคแมนแนน จากร้อยละ 0.10 เป็นร้อยละ 0.15 ในขณะที่ความเข้มข้นของ κ–คาร์ราจีแนนคงที่ (ร้อยละ 0.15) จะทำให้โครงสร้างของเจลเกิดการรวมตัวกันอยู่เป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ ไม่กระจายและจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ โดยสังเกตได้ชัดเจนจากพื้นที่สีเขียวในภาพ b2 (วงกลมสีฟ้า) ซึ่งจะมีปริมาณและขนาดใหญ่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างของเจลที่มีการใช้ปริมาณกลูโคแมนแนนต่ำกว่าในภาพ a2 (วงกลมสีฟ้า) เนื่องจาก การใช้ระดับความเข้มข้นของ κ–คาร์ราจีแนนเท่าเดิม ทำให้โครงร่างสามมิติมีจำนวนเท่าเดิม เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของกลูโคแมนแนน โมเลกุลกลูโคแมนแนน จึงไม่สามารถยึดเกาะกับโครงร่างสามมิติของ κ–คาร์ราจีแนนได้อย่างพอดี จึงทำให้โครงสร้างเกิดการเชื่อมกันเอง (Kaya et al., 2015) สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Domínguez–Courtney et al., 2015) แสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงของเจลแปรผันตามกับปริมาณการใช้คาร์ราจีแนน โดยเมื่อปริมาณคาร์ราจีแนนน้อย จะทำให้เนื้อสัมผัสของเจลไม่แข็งตัว เยลลี่ที่ได้จึงมีลักษณะอ่อนนุ่ม (Esuwan et al., 2012) และคาร์ราจีแนนที่มีความเข้มข้นน้อยเกินไป จะทำให้เกิดเจลได้ไม่ดี (วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และคณะ, 2560) เจลที่เกิดขึ้นในระบบจึงเกิดการรวมตัวกันระหว่างพันธะคู่ไม่สมบูรณ์ หรือเจลมีการสร้างร่างแหไม่สมบูรณ์ เมื่อไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันจึงทำให้จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (Navasearttavisootr et al., 2002) และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาคุณสมบัติทาง Rheology ของเจลข้างต้น (ภาพ 21) ตัวอย่าง a และ b ในภาพ 23 มีคุณสมบัติเป็นของไหลมากกว่าของแข็ง ทำให้โครงสร้างของเจลมีความหนาแน่นของโครงสร้างร่างแหระดับปานกลาง ความสามารถในการยึดเกาะกับพันธะจึงน้อย สารก่อเจลผสมในระบบจึงกระจายตัวได้ไม่ดี (Kreungngern and Chaikham, 2016) ความเหนียวและค่าพลังงานยึดเกาะจะลดลง ลักษณะเจลที่ได้จะอ่อน มีโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง (พรทิพย์ ธนรติกุล, 2565)



ภาพ 23 ลักษณะโครงสร้างสามมิติของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 จากกล้องคอนโฟคอลชนิดที่ใช้เลเซอร์ในการสแกน (CLSM)

กำหนดให้ a คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ

b คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.20 และ 0.10 ตามลำดับ

c คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ

d คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม κ–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.20 และ 0.10 ตามลำดับ

a1–d1 คือ พื้นที่ทับซ้อนระหว่างสีเขียวและสีแดง ที่กำลังขยาย 10 เท่า

a2–d2 คือ พื้นที่ทับซ้อนระหว่างสีเขียวและสีแดง ที่กำลังขยาย 20 เท่า

a3–d3 คือ พื้นที่สีเขียวที่กำลังขยาย 10 เท่า

a4–d4 คือ พื้นที่สีเขียวที่กำลังขยาย 20 เท่า

a5–d5 คือ พื้นที่สีแดงที่กำลังขยาย 10 เท่า

a6–d6 คือ พื้นที่สีแดงที่กำลังขยาย 20 เท่า

อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ κ–คาร์ราจีแนนจากร้อยละ 0.15 เป็นร้อยละ 0.20 พบว่า จะทำให้โครงสร้างร่างแหของเจลมีการกระจายตัวได้ดี พื้นที่สีดำ หรือโครงสร้างรูพรุนที่กักเก็บน้ำไว้ภายใน จะมีขนาดเล็ก และเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบเจำนวนมาก สังเกตได้จากพื้นที่สีเขียวและสีแดงที่มีความเชื่อมโยงกัน เชื่อมพันธะต่อกันอย่างเป็นระเบียบและสม่ำเสมอ (ภาพ 23; c1–c2 และ d1–d2 ตามลำดับ) ทำให้ภาพที่มองเห็นจะมีทั้งเส้นโครงสร้างร่างแหที่เป็นสีเขียวของสารก่อเจล ห่อหุ้มเฟสของน้ำกล้วยที่เป็นสีแดงจนแทบจะกลายเป็นสีเดียวกัน และพื้นผิวมีความเรียบเนียนสม่ำเสมอ ไม่มีรูพรุนสีดำขนาดใหญ่ที่มองเห็นได้ชัดเหมือนกับตัวอย่างที่มีปริมาณ κ–คาร์ราจีแนนน้อยกว่า และในรูพรุนขนาดเล็กที่พบนั้น ก็ยังคงมองเห็นโครงสร้างเครือข่ายของสารก่อเจลผสมและพันธะของน้ำกล้วยน้ำว้าเรียงตัวกันอยู่ภายในอย่างเป็นระเบียบ (ภาพ 23; c1–c2) นอกจากนี้ เมื่อปริมาณของ κ–คาร์ราจีแนน และกลูโคแมนแนนเพิ่มขึ้น จะทำโครงสร้างร่างแหของเจลที่ได้จับตัวกันจนแน่น สังเกตได้จากเส้นโครงสร้างร่างแหที่เป็นสีเขียวของสารก่อเจลผสม เรียงสลับกับพันธะของน้ำกล้วยที่เป็นสีแดงจนกลายเป็นสีเดียวกัน จนเห็นช่องว่างสีดำ หรือรูพรุนได้น้อยมาก แต่ก็ยังคงมีความเรียบเนียนของพื้นผิวอยู่ (ภาพ 23; d1–d2)

แสดงถึงสารก่อเจลผสมมีการกระจายตัวได้ดี และจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบ เนื่องมาจากเมื่อปริมาณของ κ–คาร์ราจีแนนสูงขึ้น ทำให้จำนวน Junction zone เพิ่มขึ้นและมีโอกาสจับกับพันธะต่าง ๆ ได้มากขึ้น เกิดเป็นเจลที่มีโครงสร้างแข็งแรงขึ้น (Esuwan et al., 2012; Rattanapanone, 2002) เมื่อเพิ่มปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลในการเตรียมผลิตภัณฑ์ จึงทำให้พันธะคู่ที่เกิดขึ้นในระบบมีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้โครงร่างตาข่ายของเจลมีความแข็งแรง และมีความคงตัวมากขึ้น (กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา และ นัทมน พุฒดวง, 2559) แสดงให้เห็นว่าระบบการเกิดเจลระหว่างสาร κ–คาร์ราจีแนนผสมผงบุกมีความแข็งแรงซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของสายเกลี่ยวพันธะคู่ของ κ–คาร์ราจีแนนที่ดูดซับสายกลูโคแมนแนนไว้บริเวณผิวหน้า ส่งผลให้โครงสร้างของเจลผสมมีความแข็งแรงมากขึ้น สอดคล้องกับผลการศึกษาค่าการแยกตัวของน้ำที่พบว่าผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่มีค่าการแยกตัวของน้ำลดลง จะมีค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น เนื่องจากเจลที่มีความแข็งแรงสูงจะสามารถกักเก็บน้ำไว้ภายในเจลได้ดี จึงทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำน้อยลง (Langendorff et al., 2000) คุณสมบัติเนื้อสัมผัสที่ดีดังกล่าว ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวและเปลี่ยนสภาพได้ยากขึ้น ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น จึงสามารถกล่าวได้ว่า เจลที่เกิดขึ้นในระบบนั้นเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างสายเกลียวพันธะคู่ ของสารก่อเจลผสม ได้แก่ κ–คาร์ราจีแนน และกลูโคแมนแนน ส่วนหนึ่งของเกลียวจะเป็นเส้นตรงสามารถเชื่อมสัมพันธ์กันและมีโครงสร้างเจลแบบสามมิติในแคทไออ อนที่เหมาะสม เจลลักษณะนี้ เป็นเจลที่มีความคงตัวต่อการแช่แข็งและทำละลาย และมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับโปรตีนในอาหารได้อย่างหลากหลาย รวมทั้งปฏิกิริยาทางไฟฟ้า และช่วยเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์อาหารได้ (Lopez-Pena and Mc-Clements, 2014) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fang et al. (2024) สามารถสังเกตการก่อตัวของโครงสร้างเครือข่าย และการกระจายตัวของสารก่อเจลผสมเฟสของไฮโดรเจลผสม KC และ STG มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอในน้ำ โดย STG กระจายอย่างหลวม ๆ มากกว่าเนื่องจากไม่ได้ก่อตัวเป็นเจล และการรวมตัวของ KC นั้นเด่นชัดกว่า เจลผสม KC–STG แสดงสัณฐานวิทยาที่ซ้อนกันและรวมกันโดยมีโครงสร้างที่เชื่อมโยงกันมากขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ การผสมโพลีแซ็กคาไรด์สองชนิดส่งผลให้เกิดการสร้างสายโซ่ขนาดใหญ่ขึ้นในระบบ และการกระจายตัวของสายโซ่มีความหลากหลายมากขึ้น

ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลร้อยละ 50 ที่แปรปริมาณสารก่อเจลแตกต่างกันทั้ง 4 ตัวอย่าง ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่นหอมกล้วยน้ำว้า เนื้อสัมผัส รสหวาน รสเปรี้ยว และความชอบโดยรวม

ใช้กลุ่มผู้ทดสอบชิม จำนวน 30 คน (ภาพ 24) พบว่าตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง มีคะแนนความชอบด้านสีกลิ่นหอม รสหวาน และรสเปรี้ยว ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างคุณลักษณะดังกล่าวข้างต้นของตัวอย่างทั้ง 4 สิ่งทดลองได้ อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบชิมรับรู้ได้ถึงความแตกต่างด้านเนื้อสัมผัสของเจล จึงทำให้มีคะแนนความชอบด้านความข้นหนืด ของเจลของตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่มีความแตกต่างกัน ($p\leq0.05$) โดยเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารตัวอย่าง T3 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของเจลสูงที่สุด อยู่ในระดับชอบมาก (ระดับ 8) ส่วนในตัวอย่าง T2 T4 และ T1 ได้รับคะแนนรองลงมา อยู่ในระดับชอบปานกลาง (ระดับ 7) ในส่วนของคะแนนความชอบโดยรวม พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของเจล โดยตัวอย่าง T3 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม (เฉลี่ย) สูงที่สุด คือ 8.05 คะแนน รองลงมา คือ ตัวอย่าง T1 T2 และ T4 ซึ่งได้รับคะแนนเท่ากับ 7.29 7.32 และ 7.34 คะแนน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของเจลเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อคะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่างเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลร้อยละ 50 ดังแสดงในตาราง 40

ภาพ 24 ตัวอย่างเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 ในการทดสอบชิม

กำหนดให้ T1 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม **κ**–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ

T2 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม **κ**–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.20 และ 0.10 ตามลำดับ

T3 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม **κ**–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ

T4 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม **κ**–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.20 และ 0.10 ตามลำดับ

ตาราง 39 ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50

คุณลักษณะ	**ตัวอย่างเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร**			
	T1	**T2**	**T3**	**T4**
สี^{ns}	7.32±0.05	7.30±0.02	7.34±0.01	7.32±0.05
กลิ่นหอมกล้วยน้ำว้า^{ns}	7.28±0.08	7.29±0.08	7.37±0.08	7.33±0.02
เนื้อสัมผัส	7.16^{c}±0.04	7.34^{b}±0.01	8.19^{a}±0.05	7.32^{b}±0.02
รสหวาน^{ns}	7.30±0.07	7.36±0.15	7.31±0.01	7.36±0.01
รสเปรี้ยว^{ns}	7.19±0.04	7.27±0.07	7.24±0.11	7.35±0.04
ความชอบโดยรวม	7.29^{b}±0.08	7.32^{b}±0.08	8.05^{a}±0.23	7.34^{b}±0.02

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน

กำหนดให้ T1 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม **κ**–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ

T2 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม **κ**–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.15 0.20 และ 0.10 ตามลำดับ

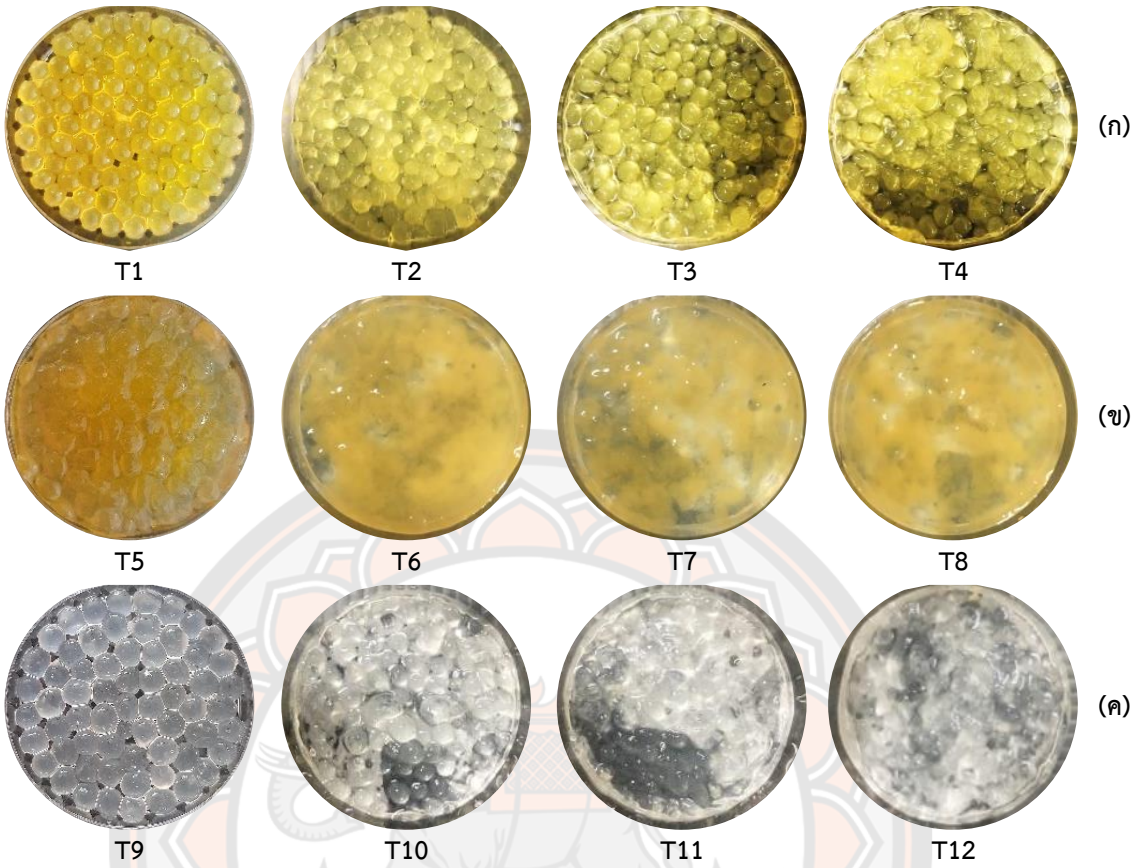
T3 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม **κ**–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ

T4 คือ เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติม **κ**–คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.20 และ 0.10 ตามลำดับ

จากการศึกษาข้างต้น จึงคัดเลือกตัวอย่างเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนร้อยละ 50 เติมคาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัมร้อยละ 0.20 0.10 และ 0.10 ตามลำดับ (T3) มาใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป ซึ่งนอกจากจะได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดและแตกต่างกับตัวอย่างอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แล้ว ยังพบว่าได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของเจลที่สูงกว่าและแตกต่างจากในตัวอย่างอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังมีคุณลักษณะทางด้านกายภาพ ได้แก่ ค่าความแข็ง และค่าความยืดหยุ่น ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายทางการค้า (Benchmark) อีกด้วย

ตอนที่ 3 การผลิตไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร โดยวิธี Basic spherification

พัฒนาสูตรไฮโดรบีดส์จากน้ำเชื่อมกลิ่นผลไม้ชนิดต่าง ๆ (ยี่ห้อติ่งฟง) ได้แก่ น้ำเชื่อมกลิ่นเสาวรส กลิ่นน้ำผึ้งมะนาว และกลิ่นลิ้นจี่ โดยเริ่มจาก ละลายน้ำเชื่อมกลิ่นผลไม้ชนิดต่าง ๆ ร่วมกับน้ำสะอาดในอัตราส่วน 1:3 จากนั้นจึงเติมโพลีเด็กส์โตรสลงไป โดยแปรระดับความเข้มข้นของโพลีเด็กส์โตรส จำนวน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 15 20 และ 25 ของน้ำหนักสารละลายน้ำผลไม้ ผลการทดลองพบว่า ไม่สามารถสร้างไฮโดรบีดส์ให้ฟอร์มตัวเป็นทรงกลม หรือคงรูปอยู่ได้ เมื่อใช้ความเข้มข้นของปริมาณใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรส ร้อยละ 15 20 และ 25 ของน้ำหนักสารละลายน้ำผลไม้ โดยไฮโดรบีดส์ที่ผลิตได้นั้นจะมีลักษณะเหลว นิ่มเละ และไม่เป็นทรงกลม และลักษณะดังกล่าวแปรผันตรงกับความเข้มข้นของโพลีเดกส์โตรสเมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรบีดส์ที่ไม่เสริมใยอาหาร ดังแสดงในภาพ 25



ภาพ 25 ลักษณะปรากฏของไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรสที่ความเข้มข้นต่าง ๆ:ก) ไฮโดรบีดส์จากน้ำเชื่อมกลิ่นเสาวรส ข) ไฮโดรบีดส์จากน้ำเชื่อมกลิ่นน้ำผึ้งมะนาว และ ค) ไฮโดรบีดส์จากน้ำเชื่อมกลิ่นลิ้นจี่

กำหนดให้ T1 คือ ไฮโดรบีดส์เสาวรส ไม่เติมโพลีเดกส์โตรส
T2 คือ ไฮโดรบีดส์เสาวรสเติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 15
T3 คือ ไฮโดรบีดส์เสาวรสเติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 20
T4 คือ ไฮโดรบีดส์เสาวรสเติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 25
T5 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำผึ้งมะนาว ไม่เติมโพลีเดกส์โตรส
T6 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำผึ้งมะนาวเติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 15
T7 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำผึ้งมะนาวเติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 20
T8 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำผึ้งมะนาวเติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 25
T9 คือ ไฮโดรบีดส์ลิ้นจี่ ไม่เติมโพลีเดกส์โตรส
T10 คือ ไฮโดรบีดส์ลิ้นจี่เติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 15
T11 คือ ไฮโดรบีดส์ลิ้นจี่เติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 20
T12 คือ ไฮโดรบีดส์ลิ้นจี่เติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 25

กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของโพลีเดกส์โตรสเพิ่มขึ้น จะทำให้ลักษณะของไฮโดรบีดส์ที่ผลิตได้มีความเหลว นิ่มเละ และไม่เป็นทรงกลมมากขึ้น เนื่องจาก โพลีเดกส์โตรส จัดเป็นใยอาหารประเภทละลายน้ำได้ มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี จึงทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของไฮโดรบีดส์อัลจิเนตเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากผลของสารตั้งต้นมีผลต่อการเกิดเจลของอัลจิเนต ความแข็งแรงของไฮโดรบีดส์อัลจิเนตจะลดลง พร้อมทั้งต้องใช้เวลาในการเกิดเจลที่นานขึ้น เมื่อจำนวนสายของกรดกูลูโรนิค (Guluronic acid block, G–block) เพิ่มสูงขึ้น (Jørgensen et al., 2007) ซึ่งอัตราส่วนระหว่างกรดแมนนูโรนิกและกรดกูลูโรนิกในโครงสร้างของแอลจิเนตมีผลต่อลักษณะของเจลที่เกิดขึ้น เช่น แอลจิเนตที่มีกรดแมนนูโรนิกสูงจะได้เจลที่มีลักษณะยืดหยุ่นและมีความอ่อนนุ่ม ในทางตรงกันข้ามแอลจิเนตที่มีกรดกูลูโรนิกสูงเจลจะมีลักษณะไม่ยืดหยุ่นและแข็ง และแอลจิเนตที่มี MG–blocks สูง เจลจะมีลักษณะแข็งปานกลาง และละลายน้ำได้ดี (นวัชวรรณ คลองสติ, 2562) และโพลีเดกส์โตรส เมื่อละลายน้ำแล้วจะดูดซับน้ำไว้กับตัว ทำให้สารละลายอัลจิเนตที่ใช้มีความหนืดเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ได้ไฮโดรบีดส์ทรงกลมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ตลอดจนทำให้เกิดรูปทรงที่ไม่เป็นทรงกลมและมีปลายแหลม (Tail formation) เกิดขึ้น (Swapnil et al., 2014) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Sarker et al. (2014) พบว่า เจลที่เกิดจากการผสมอัลจิเนตและเจลาตินมีผลทำให้สัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิว (Surface morphology) เกิดความไม่เรียบเนียนและมีลักษณะผิวขรุขระ ไม่สม่ำเสมอ และ Panouillé and Larreta–Garde (2009) ได้อธิบายเพิ่มเติมว่าไฮโดรเจลที่เกิดจากการผสมระหว่างอัลจิเนตและเจลาตินนั้น ในช่วงแรกแคลเซียมไอออนจะเข้าจับกับสายพอลิเมอร์ของอัลจิเนตและเกิดเป็นเจลแบบทนร้อน (Irreversible alginate gel) และภายหลังจากที่อุณหภูมิเย็นตัวลงจะเกิดเจลของเจลาตินที่เป็นเจลแบบไม่ทนต่อความร้อน (Reversible gelatin gel) โดยพบว่าโครงสร้างของเจลผสมระหว่างโซเดียมอัลจิเนและเจลาตินเกิดการยุบตัวซึ่งอาจเป็นเพราะมีการแยกส่วนของพอลิเมอร์แต่ละชนิดในระหว่างการเกิดเจล (Panouillé and Larreta–Garde, 2009; Sarker et al., 2014) นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) จะส่งผลต่อความคงตัวของอัลจิเนต โดยขึ้นอยู่กับสัดส่วนของ Mannuronic acid ต่อ Guluronic acid ที่มีอยู่ในอัลจิเนต และจะแปรเปลี่ยนไปตามสายพันธุ์ของสาหร่ายสีน้ำตาลที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตอัลจิเนต เนื่องจาก โมโนเมอร์ของอัลจิเนตนั้นมีค่าคงที่การแตกตัว (Dissociation constants, pKa) แตกต่างกัน ซึ่งพบว่า Mannuronic acid และ Guluronic acid มีค่า pKa เท่ากับ 3.38 และ 3.65 ตามลำดับ (Haug and Norsk institutt for tang–og tareforskning, 1964; Nussinovitch, 1997) โดยส่วนใหญ่สารละลายอัลจิเนตจะมี

ความคงตัวที่ pH 5–11 แต่หากมีค่า pH ต่ำกว่า 5 หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ที่อยู่ในรูปอิสระ (-COO-) จะเริ่มอยู่ในรูป COOH ทำให้แรงผลักทางไฟฟ้า (Electrostatic repulsion) ระหว่างสายของอัลจิเนตลดลง จากนั้นสายของอัลจิเนตจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและเกิดพันธะไฮโดรเจน จึงส่งผลให้สารละลายอัลจิเนตมีค่าความหนืดที่สูงขึ้น (King, 2019) และอัลจิเนตจะไม่มีเสถียรภาพเมื่อค่าความเป็นกรดด่างมากกว่า 10 (pH>10) เพราะจะเกิดการแยกตัวกันของโมโนเมอร์ ทำให้ความหนืดของอัลจิเนตลดลง แต่หากค่า pH น้อยกว่า 3.5 เจลของกรดอัลจินิค (Alginic acid) จะเกิดขึ้นทำให้ความหนืด และความแข็งแรงของอัลจิเนตลดลงเช่นเดียวกัน (Draget et al., 1994) โดยพบว่าชนิดของน้ำเชื่อมกลิ่นผลไม้ก่อนนำมาเติมอัลจิเนตมีค่า pH เริ่มต้นอยู่ที่ (2.95 2.74 และ 3.10) สำหรับน้ำเชื่อมกลิ่นเสาวรส น้ำผึ้งมะนาว และลิ้นจี่ ตามลำดับ (ค่า pH น้อยกว่า 3.5) ร่วมกับการใช้ปริมาณของใยอาหารที่มากเกินไป ทำให้ไฮโดรบีดส์ที่ผลิตได้ไม่มีเสถียรภาพ จึงไม่สามารถขึ้นรูปได้ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารนี้ นอกจากจะเป็นเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของใยอาหารซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักในการพัฒนาไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารครั้งนี้แล้ว ยังพบว่าชนิดและปริมาณของใยอาหารที่ทำการเติมลงในอัลจิเนตนั้น มีความสามารถในการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและความสามารถในการอุ้มน้ำ ตลอดจนลักษณะปรากฏภายนอกของไฮโดรบีดส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยการเลือกใช้ชนิดและปริมาณของใยอาหารให้ถูกต้องและเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งควรพิจารณาจากโครงสร้างและองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการพัฒนาเป็นหลัก ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการคัดเลือกน้ำเชื่อมกลิ่นเสาวรส เพื่อนำมาใช้ในการทดลองผลิตไฮโดรบีดส์ใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรสความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อไป ด้วยการลดปริมาณความเข้มข้นของโพลีเด็กส์โตรสลงเหลือร้อยละ 1 3 และ 5 ของน้ำหนักสารละลายน้ำเสาวรส โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 1 และแคลเซียมแลคเตตร้อยละ 0.5 เท่ากัน ดังแสดงในตาราง 41

ตาราง 40 ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตไฮโดรบีดส์ใยอาหาร จากน้ำผลไม้ชนิดต่าง ๆ

สิ่งทดลอง	ส่วนผสม (กรัม)			
	น้ำสะอาด	น้ำเชื่อมกลิ่นเสาวรส	โพลีเด็กส์โตรส	โซเดียมอัลจิเนต
T1	75.00	25.00	0.00	1
T2	75.00	25.00	1.00	1
T3	75.00	25.00	3.00	1
T4	75.00	25.00	5.00	1

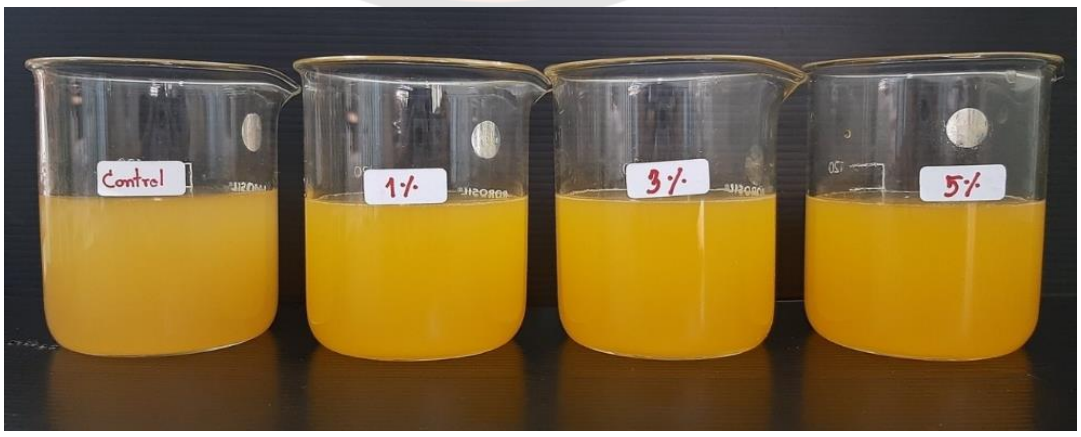
กำหนดให้ T1 คือ ไฮโดรบีดส์เสาวรส ไม่เติมโพลีเดกส์โตรส (สิ่งทดลองควบคุม)

T2 คือ ไฮโดรบีดส์เสาวรสเติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 1

T3 คือ ไฮโดรบีดส์เสาวรสเติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 3

T4 คือ ไฮโดรบีดส์เสาวรสเติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 5

ผลการพัฒนาสูตรไฮโดรบีดส์เสาวรสเสริมใยอาหาร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต ร้อยละ 1 (w/v) โดยแปรระดับความเข้มข้นของโพลีเด็กส์โตรสให้เหมาะสม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 3 และ 5 ของน้ำหนักสารละลายน้ำเสาวรส พบว่า เมื่อทิ้งไว้ข้ามคืน หรือ 12 ชั่วโมง มีลักษณะสีส้มใส (ภาพ 26) หลังนำมาหยดลงในสารละลายแคลเซียมแลคเตทความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (w/v) ซึ่งแช่ไว้ในสารละลายดังกล่าวนาน 1 นาที แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด 2–3 ครั้งจะสามารถขึ้นรูปทรงกลมของไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารได้เป็นอย่างดี โดยมีลักษณะทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 เซนติเมตร (ภาพ 27) ก่อนนำไปเติมลงในเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร



ภาพ 26 น้ำเสาวรสเสริมใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรสที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพ 27 ลักษณะปรากฏของไฮโดรบีดส์เสาวรส: ก) ไม่เติมโพลีเดกส์โตรส (สิ่งทดลองควบคุม) ข) เติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 1 ค) เติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 3 และ ง) เติมโพลีเดกส์โตรสร้อยละ 5

เมื่อนำไฮโดรบีดส์เสาวรสเสริมใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรสความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ผลิตได้มาเติมลงในเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) นาน 30 60 และ 120 นาที แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนาน 5 นาที จากนั้นนำมาบรรจุร้อนลงบรรจุภัณฑ์ที่เตรียมไว้ น้ำหนักบรรจุรวม 100 กรัม (ไฮโดรบีดส์ 10 กรัม เยลลี่ 90 กรัม) เพื่อทดสอบความคงตัวของไฮโดรบีดส์ ดังแสดงในภาพ 28

ภาพ 28 ลักษณะปรากฏของตัวอย่างเยลลี่กล้วยน้ำว้าเสริมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร

กำหนดให้ T1 คือ เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ร้อยละ 1

T2 คือ เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ร้อยละ 3

T3 คือ เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ร้อยละ 5

ไฮโดรบีดส์ที่ผลิตได้มีลักษณะกลม มีขนาดใกล้เคียงกับ โดยมีขนาดด้านยาวอยู่ในช่วง 4.35–5.06 mm. และขนาดด้านสั้นอยู่ในช่วง 4.03–4.81 mm และจากการคำนวนณอัตราส่วนขนาดของไฮโดรบีดส์ทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่าไฮโดรบีดส์ใยอาหารทุกตัวอย่างมีลักษณะกลม (ตาราง 42) โดยขนาดของไฮโดรบีดส์เกิดจากหลายปัจจัย เช่น ขนาดของหัวเข็มที่ใช้หยด ปริมาณของกรดกูลูโรนิกในโครงสร้างของแอลจิเนต และความหนืดของสารละลาย (Wichchukit et al., 2013) และขนาดของไฮโดรบีดส์ยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของกรดกูลูโรนิกในโครงสร้างของแอลจิเนต (Martinsen et al., 1992; Selimoglu and Elibol, 2010) ซึ่งถ้าภายในโครงสร้างของแอลจิเนตมีปริมาณกรดกูลูโรนิกสูง ส่งผลให้แคลเซียมสามารถสร้างพันธะเชื่อมระหว่างแอลจิเนตที่อยู่ใกล้กันทำให้เกิดโครงสร้าง Egg box ได้ดี ไฮโดรบีดส์จึงมีลักษณะกลมมากขึ้น ซึ่งไฮโดรบีดส์ใยอาหารทั้ง 3 ตัวอย่าง มีความเข้มข้นของแอลจิเนตเท่ากัน ไฮโดรบีดส์ที่ผลิตได้จึงมีขนาดใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตาราง 42

ตาราง 41 ขนาดของไฮโดรบีดส์เสาวรสที่ไม่เสริมและเสริมใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรส (N=30 เม็ด)

สิ่งทดลอง	ขนาดด้านยาว (mm.)	ขนาดด้านสั้น (mm.)	อัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้น
1	5.06^{a}±0.06	4.81^{a}±0.02	1.04^{h}±0.01
2	4.73^{d}±0.04	4.15^{f}±0.01	1.15^{c}±0.00
3	4.80^{c}±0.01	4.06^{h}±0.01	1.18^{ab}±0.00
4	5.03^{a}±0.03	4.19^{e}±0.02	1.19^{a}±0.00
5	4.71^{d}±0.02	4.06^{h}±0.01	1.17^{b}±0.00
6	4.92^{b}±0.02	4.42^{b}±0.01	1.12^{d}±0.01
7	4.56^{e}±0.01	4.21^{e}±0.01	1.09^{g}±0.02
8	4.73^{d}±0.01	4.25^{d}±0.01	1.12^{def}±0.01
9	4.76^{cd}±0.01	4.30^{c}±0.01	1.12^{de}±0.00
10	4.51^{e}±0.01	4.11^{g}±0.01	1.11^{efg}±0.01
11	4.51^{e}±0.01	4.11^{g}±0.00	1.10^{fg}±0.00
12	4.35^{f}±0.04	4.11^{g}±0.01	1.06^{h}±0.01
13	4.71^{d}±0.02	4.03^{i}±0.00	1.17^{b}±0.00

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ ใช้ตัวอย่างไฮโดรบีดส์จำนวนทั้งสิ้น 30 เม็ด

กำหนดให้

T1 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่ไม่เติมโพลีเด็กส์โตรส (ตัวอย่างควบคุม)

T2 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1

T3 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 3

T4 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5

T5 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 30 นาที

T6 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 3 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 30 นาที

T7 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 30 นาที

T8 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 60 นาที

T9 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 3 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 60 นาที

T10 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 60 นาที

T11 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 120 นาที

T12 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 3 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 120 นาที

T13 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 120 นาที

การเปลี่ยนแปลงสีของไฮโดรบีดส์ พบว่าค่าสี (L* a* b* C* และ *h*) ของไฮโดรบีดส์ที่ไม่เสริมและเสริมใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 3 และ 5 ก่อนนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที (สิ่งทดลองที่ 1–4) มีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 3 และ 5 ที่ทิ้งไว้ 30 60 และ 120 นาที และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที (สิ่งทดลองที่ 5–13) ก็พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะมีค่า L* และค่า *h* ที่เพิ่มขึ้น (สว่างขึ้น) แต่จะมีค่า a* b* และ C* ลดลง (สีอ่อนลง) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มสิ่งทดลองที่ 1–4 ดังแสดงในตาราง 43

ตาราง 42 ค่าสี L* a* b* C* และ *h* ของไฮโดรบีดส์เสาวรสเสริมใยอาหาร หลังเติมลงในเยลลี่

สิ่งทดลอง	ค่าสี				
	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*	ค่า C*	ค่า *h*
1	35.99^{h}±0.13	1.83^{b}±0.04	45.32^{a}±0.03	45.37^{a}±0.02	87.63^{k}±0.04
2	39.13^{f}±0.04	1.47^{c}±0.04	43.53^{b}±0.03	43.56^{b}±0.01	88.08^{j}±0.06
3	39.13^{f}±0.01	2.22^{a}±0.02	45.33^{a}±0.01	45.40^{a}±0.01	87.24^{l}±0.02
4	37.13^{g}±0.28	1.10^{d}±0.01	40.51^{c}±0.08	40.39^{c}±0.02	88.42^{i}±0.04
5	40.24^{e}±0.06	-1.20^{h}±0.01	25.61^{f}±0.01	25.67^{f}±0.02	92.71^{f}±0.01
6	40.45^{e}±0.00	-2.06^{m}±0.02	23.30^{h}±0.05	23.33^{i}±0.03	94.94^{a}±0.08
7	40.37^{e}±0.09	-1.05^{g}±0.01	27.39^{e}±0.01	27.38^{e}±0.03	92.13^{g}±0.04
8	40.66^{d}±0.00	-1.59^{j}±0.02	22.90^{i}±0.07	23.05^{j}±0.07	93.94^{d}±0.06
9	40.75^{d}±0.00	-1.72^{k}±0.00	25.25^{g}±0.05	25.25^{g}±0.04	93.91^{d}±0.01
10	40.29^{e}±0.00	-1.81^{l}±0.01	22.38^{j}±0.04	22.46^{k}±0.02	94.68^{b}±0.04
11	41.11^{c}±0.00	-1.57^{j}±0.01	20.70^{k}±0.01	20.73^{l}±0.04	94.33^{c}±0.03
12	41.59^{b}±0.00	-0.88^{f}±0.01	28.33^{d}±0.03	28.32^{d}±0.02	91.97^{h}±0.02
13	42.40^{a}±0.00	-1.45^{i}±0.01	23.37^{h}±0.02	23.42^{h}±0.02	93.59^{e}±0.02

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ ใช้ตัวอย่างไฮโดรบีดส์จำนวนทั้งสิ้น 30 เม็ด

กำหนดให้

T1 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่ไม่เติมโพลีเด็กส์โตรส (ตัวอย่างควบคุม)

T2 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1

T3 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 3

T4 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5

T5 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 30 นาที

T6 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 3 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 30 นาที

T7 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 30 นาที

T8 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 60 นาที

T9 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 3 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 60 นาที

T10 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 60 นาที

T11 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 120 นาที

T12 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 3 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 120 นาที

T13 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 120 นาที

ไฮโดรบีดส์ที่ไม่เสริมและเสริมใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 3 และ 5 ก่อนให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที (สิ่งทดลองที่ 1–4) และกลุ่มของไฮโดรบีดส์ เสริมใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 3 และ 5 ที่ทิ้งไว้ 30 60 และ 120 นาที ในเยลลี่ ก่อนนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที (สิ่งทดลองที่ 5–13) (ตาราง 44) มีค่า a_w และค่าพีเอช ใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 0.682–0.734 และ 3.37–3.83 ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มคงที่ของค่า a_w และค่าพีเอช ระหว่างระยะเวลาที่ทิ้งไว้ในเยลลี่นาน 30 60 และ 120 นาที และไม่ได้

รับผลกระทบจากการให้ความร้อน เนื่องจากการเกิดเจลของอัลจิเนตไม่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ แต่จำเป็นต้องมีการเติมแคลเซียมเพื่อเกิดเป็นโครงสร้างรังไข่ (Egg box structure) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง และไม่หลอมละลาย (Melt) เมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิสูง จึงนิยมใช้อัลจิเนตในการผลิตผลิตภัณฑ์เทียม เช่น ผลไม้เทียมไข่ปลาเทียมเป็นต้น (ประจงเวท สาตมาลี, 2560) ถ้าหากให้ความร้อนแก่อัลจิเนตที่อุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานานหลายชั่วโมง จะทำให้เกิดการแยกตัวกันของโมโนเมอร์ (Depolymerization) และส่งผลให้ความหนืดของอัลจิเนตลดลง และสารละลายอัลจิเนตยังมีความคงตัวและทนต่อสภาวะการแช่แข็งได้เป็นอย่างดี โดยพบว่าเมื่อนำสารละลายอัลจิเนตไปแช่แข็งหรือนำมาละลาย ความหนืดของสารละลายอัลจิเนตก็จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง (นวัชวรรณ คลองสติ, 2562)

ตาราง 43 สมบัติทางกายภาพและเคมีของไฮโดรบีดส์เสาวรสที่ไม่เสริมและเสริมใยอาหาร

สิ่งทดลอง	ค่า a_w	ความแข็ง* (N)	การบวมน้ำ (%)	ค่าพีเอช	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix)
1	0.721^{e}±0.001	404.43^{b}±1.84	47.11^{k}±0.07	3.37^{d}±0.01	15.0^{d}±0.0
2	0.692^{f}±0.001	393.42^{c}±0.81	51.57^{j}±0.06	3.41^{c}±0.01	17.0^{c}±0.0
3	0.721^{e}±0.001	376.23^{d}±1.38	56.19^{i}±0.04	3.40^{c}±0.00	19.8^{b}±0.0
4	0.682^{g}±0.001	423.52^{a}±2.47	58.71^{h}±0.09	3.40^{c}±0.00	21.4^{a}±0.0
5	0.730^{bc}±0.001	376.14^{d}±1.27	69.09^{c}±0.01	3.81^{b}±0.01	15.0^{d}±0.0
6	0.732^{a}±0.001	362.95^{e}±3.53	67.10^{f}±0.01	3.81^{b}±0.01	15.0^{d}±0.0
7	0.726^{d}±0.001	374.77^{d}±5.40	63.19^{g}±0.00	3.81^{b}±0.01	15.0^{d}±0.0
8	0.734^{a}±0.001	354.10^{g}±2.57	69.11^{bc}±0.01	3.83^{a}±0.01	15.0^{d}±0.0
9	0.728^{c}±0.001	360.32^{f}±2.22	67.46^{d}±0.02	3.80^{b}±0.01	15.0^{d}±0.0
10	0.733^{b}±0.002	375.33^{d}±3.46	67.07^{f}±0.05	3.81^{b}±0.01	15.0^{d}±0.0
11	0.733^{a}±0.001	346.93^{h}±2.16	69.50^{a}±0.07	3.81^{b}±0.00	15.0^{d}±0.0
12	0.732^{a}±0.002	361.26^{f}±1.46	69.19^{b}±0.03	3.80^{b}±0.49	15.0^{d}±0.0
13	0.733^{a}±0.002	376.22^{d}±0.81	67.27^{e}±0.07	3.80^{b}±0.00	15.0^{d}±0.0

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ ใช้ตัวอย่างไฮโดรบีดส์จำนวนทั้งสิ้น 30 เม็ด

กำหนดให้

T1 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่ไม่เติมโพลีเด็กส์โตรส (ตัวอย่างควบคุม)

T2 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1

T3 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 3

T4 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5

T5 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 30 นาที

T6 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 3 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 30 นาที

T7 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 30 นาที

T8 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 60 นาที

T9 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 3 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 60 นาที

T10 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 60 นาที

T11 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 120 นาที

T12 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 3 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 120 นาที

T13 คือ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5 และเติมในเยลลี่ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้นาน 120 นาที

อย่างไรก็ตาม พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยในกลุ่มของไฮโดรบีดส์ที่ไม่เสริมและเสริมใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 3 และ 5 ก่อนนำไปให้ความร้อน จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่ 15.0 17.0 19.8 และ 21.4°Brix ตามลำดับ ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรส แต่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที คือ ในสิ่งทดลองที่ 5–13 พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในทุกสิ่งทดลองจะลดลงเหลือเพียง 15.0°Brix เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการแพร่ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในไฮโดรบีดส์ที่มีปริมาณสูงกว่าไปยังเยลลี่ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าจนเข้าสู่สมดุล

ค่าความแข็งและค่าการบวมน้ำ เป็นค่าที่แสดงถึงความคงตัวของไฮโดรบีดส์ที่จะสามารถคงตัวอยู่ในเยลลี่ได้ โดยไฮโดรบีดส์ที่ดีควรมีค่าความแข็งสูงและค่าการบวมน้ำต่ำ โดยจากตาราง 21 พบว่าไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5 (สิ่งทดลองที่ 4) มีค่าความแข็งสูงที่สุด คือ 423 N ในขณะที่มีค่าการบวมน้ำน้อยเป็นอันดับที่ 4 คือ ร้อยละ 58.71 รองจากไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่ไม่เติมโพลีเด็กส์โตรส ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 และร้อยละ 3 (สิ่งทดลองที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม เมื่อทิ้งไว้ 30 60 และ 120 นาที ในเยลลี่ หลังนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที พบว่าค่าการบวมน้ำของสิ่งทดลองที่ 4 (ไฮโดรบีดส์เสาวรสเติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5) เพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 4.48–8.56 ในขณะที่เม็ดบีดสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 1 และ 3 (สิ่งทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ) ค่าการบวมน้ำจะเพิ่มขึ้นสูงถึงร้อยละ 17.52–17.93 และร้อยละ 10.91–11.27 ตามลำดับ

จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรสที่เติมโพลีเด็กส์โตรสร้อยละ 5 จะมีความคงตัวเมื่อเติมลงไปในเยลลี่มากว่าในสิ่งทดลองอื่น ๆ โดยความคงตัวจะเพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับการเพิ่มใยอาหารจากโพลีเด็กส์โตรส แต่ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าการใช้ปริมาณโพลีเด็กส์โตรสสูงกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนักน้ำเสาวรส นั้น จะไม่สามารถสร้างไฮโดรบีดส์ให้ฟอร์มตัว หรือคงรูปอยู่ได้ตั้งแต่ในขั้นตอนการผลิตไฮโดรบีดส์ สอดคล้องกับผลการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของตัวอย่างเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหารทั้ง 3 ตัวอย่าง ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่นหอม รสหวาน รสเปรี้ยว เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้กลุ่มผู้ทดสอบชิม จำนวน 30 คน (ภาพ 29) พบว่าตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นหอม เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร

ร้อยละ 5 ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นหอม เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด คือ 7.45 7.15 และ 7.77 คะแนนตามลำดับ และทั้งนี้ยังพบว่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส ทั้ง 3 ตัวอย่าง แตกต่างกันอย่างชัดเจน คือ อยู่ในระดับเฉย ๆ (5 คะแนน) ไปจนถึงชอบปานกลาง (7 คะแนน) ในขณะที่คะแนนความชอบด้านสี รสหวาน และรสเปรี้ยวของตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) จากผลการศึกษาข้างต้น จึงได้คัดเลือกตัวอย่างเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ร้อยละ 5 (T3) ซึ่งนอกจากจะได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดและแตกต่างกับตัวอย่างอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แล้ว ยังพบว่าได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงกว่าและแตกต่าง ($p\leq0.05$) จากในตัวอย่างอื่น ๆ อีกด้วย ดังแสดงในตาราง 45

ภาพ 29 เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร

กำหนดให้ T1 คือ เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ร้อยละ 1
T2 คือ เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ร้อยละ 3
T3 คือ เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ร้อยละ 5

ตาราง 44 ผลประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร

คุณลักษณะที่ประเมิน	ตัวอย่างเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร		
	T1	T2	T3
สี^{ns}	7.22±0.45	7.15±0.50	7.10±0.55
กลิ่นหอม	6.66^{b}±0.85	7.45^{a}±0.90	6.20^{b}±0.80
รสหวาน^{ns}	7.50±0.95	7.48±0.90	7.45±0.90
รสเปรี้ยว^{ns}	7.65±1.10	7.63±1.12	7.62±1.20
เนื้อสัมผัส	6.10^{b}±0.53	7.15^{a}±1.20	5.20^{c}±0.90
ความชอบโดยรวม	6.20^{b}±0.80	7.77^{a}±0.51	5.30^{c}±0.65

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน

กำหนดให้ T1 คือ เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ร้อยละ 1

T2 คือ เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ร้อยละ 3

T3 คือ เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ร้อยละ 5

ตอนที่ 4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อโดยกระบวนการใช้ความดันสูง

ผลการศึกษาพบว่า ที่ระดับความดันเดียวกันแต่ระยะเวลาการให้ความดันต่างกัน (300 และ 600 วินาที) จะให้มีค่า Log reduction ของเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 ที่แตกต่างกัน โดยระยะเวลาการให้ความดันที่นานกว่า (600 วินาที) จะให้ค่า Log reduction ที่มีค่าสูงกล่าว (ลดเชื้อลงได้มากกว่า) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 ความดัน คือ 400 500 และ 600 MPa โดยพบว่าที่ระยะเวลาการให้ความดันนาน 300 วินาที ปริมาณเชื้อ *E.coli* K12 ATCC 47076 ที่รอดชีวิตหลังฆ่าเชื้อ คือ 4.87 4.76 และ 4.55 log CFU/g ตามลำดับ ที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้น 8.05 log CFU/g โดยมี Log reduction อยู่ที่ 3.18 3.30 และ 3.51 ตามลำดับ ในขณะที่การใช้ความดัน 400 500 และ 600 MPa ระยะเวลา 600 วินาที ที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากัน ปริมาณเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 รอดชีวิตหลังฆ่าเชื้อ คือ 4.82 4.72 และ 4.29 ตามลำดับ และมี Log reduction อยู่ที่ 3.24 3.33 และ 3.78 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 46

กรณีของเชื้อ *L. innocua* DMST 9011 ที่สภาวะการฆ่าเชื้อเดียวกัน สามารถลดปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตหลังฆ่าเชื้อได้ดีกว่าเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 คือมีค่า Log reduction ที่สูงกว่าในกรณีของ *E. coli* K12 ATCC 47076 นั่นเอง โดยการให้ความดัน 400 500 และ 600 MPa ระยะเวลา 300 วินาที ปริมาณเชื้อ *L. innocua* DMST 9011 ที่รอดชีวิตหลังฆ่าเชื้อ คือ 3.49 3.17 และ 2.87 log CFU/g ตามลำดับ ที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้น 8.14 log CFU/g โดยมี Log reduction อยู่ที่ 4.46 4.97 และ 5.27 ตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาการให้ความดันนาน 600 วินาที จะพบปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตหลังฆ่าเชื้อ 3.39 3.07 และ 2.74 ตามลำดับ และมี Log reduction อยู่ที่ 4.75 5.07 และ 5.40 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 47

ตาราง 45 ความสามารถในการลดเชื้อ *Escherichia coli* K12 ATCC 47076 ในเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหารด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความดันที่สภาวะต่าง ๆ

ความดัน (MPa)	ปริมาณเชื้อเริ่มต้น (log CFU/g)	ปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตหลังฆ่าเชื้อ (log CFU/g)		Log reduction	
		300 วินาที	600 วินาที	300 วินาที	600 วินาที
400	8.05±0.07	4.87±0.02	4.82±0.00	3.18±0.04	3.24±0.08
500	8.05±0.07	4.76±0.01	4.72±0.00	3.30±0.06	3.33±0.07
600	8.05±0.07	4.55±0.03	4.29±0.05	3.51±0.06	3.78±0.05

หมายเหตุ: ± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ตาราง 46 ความสามารถในการลดเชื้อ *Listeria innocua* DMST 9011 ในเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความดันที่สภาวะต่าง ๆ

ความดัน (MPa)	ปริมาณเชื้อเริ่มต้น (log CFU/g)	ปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตหลังฆ่าเชื้อ (log CFU/g)		Log reduction	
		300 วินาที	600 วินาที	300 วินาที	600 วินาที
400	8.14±0.01	3.49±0.03	3.39±0.01	4.46±0.04	4.75±0.00
500	8.14±0.01	3.17±0.03	3.07±0.07	4.97±0.04	5.07±0.06
600	8.14±0.01	2.87±0.08	2.74±0.06	5.27±0.08	5.40±0.05

หมายเหตุ: ± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด หลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ พบว่าที่ความดัน 400 500 และ 600 MPa ระยะเวลานาน 5 และ 10 นาที ไม่สามารถลดเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 ลงได้ ตามเกณฑ์ทั่วไปและขอบเขตผลิตภัณฑ์ที่ให้ใช้กระบวนการพาสเจอไรส์ด้วยการใช้ความดันสูง ที่ระบุว่าสภาวะที่ใช้จะต้องสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคอ้างอิงได้ไม่น้อยกว่า 5 log (5 log reduction) ในขณะที่ความดัน 500 และ 600 MPa ระยะเวลานาน 10 นาที จะสามารถลดเชื้อ *L. innocua* DMST 9011 ลงได้ถึง 5.07 และ 5.40 log CFU/g ตามลำดับ

จากผลการศึกษานี้ จึงสรุปได้ว่า การให้ความดันที่ 600 MPa เป็นสภาวะที่มีประสิทธิภาพและแนวโน้มในการลดเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 สายพันธุ์ ลงได้ ตามเกณฑ์ทั่วไปและขอบเขตผลิตภัณฑ์ที่ให้ใช้กระบวนการพาสเจอไรส์ด้วยการใช้ความดันสูง แต่ยังจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของอุณหภูมิตัวกลางส่งผ่านแรงดัน (น้ำ) และระยะเวลาการให้ความดันที่จะสามารถลดเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 และ *L. innocua* DMST 9011 ลงได้ไม่น้อยกว่า 5 log

ผลการศึกษาเพิ่มเติมของอุณหภูมิตัวกลางส่งผ่านแรงดัน (น้ำ) และระยะเวลให้ความดัน (ตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ) เมื่อนำเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 ที่สร้างการปนเปื้อนเทียม มาผ่านการให้ความดันสูง 600 MPa โดยใช้น้ำที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดัน ใช้ระยะเวลานาน 10 15 20 25 และ 30 นาที ตามลำดับ (ตาราง 48) เพื่อคัดเลือกสภาวะที่สามารถลดเชื้อก่อโรคทั้ง 2 ชนิด ได้ดีที่สุด โดยอย่างน้อยต้องสามารถลดเชื้อได้ 5 Log reduction ตามเกณฑ์ทั่วไปและขอบเขตผลิตภัณฑ์ที่ให้ใช้กระบวนการพาสเจอไรส์ด้วยการใช้ความดันสูง (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2562)

ตาราง 47 สภาวะการใช้ความดัน 600 MPa ในการฆ่าเชื้อเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร

สภาวะ	ความดัน (MPa)	เวลาฆ่าเชื้อ (วินาที)	ช่วงการดึงความดัน (วินาที)	เวลาดำเนินการ (วินาที)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)
1	600	10	51	11.50	35
2	600	15	66	16.73	35
3	600	20	60	21.60	35
4	600	25	67	26.48	35
5	600	30	66	31.47	35
6	600	10	58	11.62	40
7	600	15	64	16.70	40
8	600	20	59	21.58	40
9	600	25	60	26.37	40
10	600	30	65	31.45	40

หมายเหตุ: - ช่วงการดึงความดัน (Come–up–time) หมายถึง ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มปล่อยความดันเข้าหม้อฆ่าเชื้อถึงความดันฆ่าเชื้อที่กำหนด

- เวลาดำเนินการ (Processed time) หมายถึง ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มเดินเครื่องจนกระทั่งทำการฆ่าเชื้อเสร็จสมบูรณ์

ผลการศึกษาพบว่า ที่ระดับความดัน 600 MPa แต่ใช้อุณหภูมิตัวกลางส่งผ่านแรงดัน (น้ำ) และระยะเวลาการให้ความดันที่แตกต่างกันนั้น จะทำให้ค่า Log reduction ของเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 เพิ่มขึ้น (ลดเชื้อลงได้มากขึ้น) ตามอุณหภูมิของน้ำและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ โดยการใช้ตัวกลางส่งผ่านแรงดันที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการให้ความดันนาน 10 15 20 25 และ 30 นาที พบว่าค่า Log reduction ของเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 จะมีค่าเท่ากับ 4.39 5.66 5.99 6.19 และ 6.43 ตามลำดับ ซึ่งจากปริมาณเชื้อเริ่มต้น 8.05 log CFU/g พบว่าปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตหลังการให้ความดัน 600 MPa ที่ระยะเวลานาน 10 15 20 25 และ 30 นาที จะลดลง คือ 2.81 2.44 2.13 1.19 และ 1.74 ตามลำดับ ในขณะที่การใช้การใช้ตัวกลางส่งผ่านแรงดันที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จะสามารถลดเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 ได้มากกว่าการใช้น้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดันโดยพบว่ามีค่า Log reduction เพิ่มขึ้นเป็น 5.78 6.15 6.46 6.69 และ 6.58 เมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความดันนาน 10 15 20 25 และ 30 นาที ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 49

กรณีของเชื้อ *L. innocua* DMST 9011 ที่ระดับความดัน 600 MPa ในสภาวะของอุณหภูมิตัวกลางส่งผ่านแรงดันและระยะเวลาการให้ความดันเดียวกัน จะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเชื้อ *L. innocua* DMST 9011 ได้ดีกว่าเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 โดยการใช้ตัวกลางส่งผ่านแรงดันที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการให้ความดันนาน 10 15 20 25 และ 30 นาที พบว่าค่า Log reduction ของเชื้อ *L. innocua* DMST 9011 จะมีค่าเท่ากับ 5.86 6.34 6.39 7.23 และ 8.27 ตามลำดับ และพบว่าการเพิ่มระยะเวลาการให้ความดันนาน 30 นาที จะสามารถทำลายเชื้อ *L. innocua* DMST 9011 ได้ทั้งหมด (8.05 log CFU/g) ไม่พบเชื้อดังกล่าวที่รอดชีวิตในตัวอย่าง ในขณะที่ หากเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ใช้เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดัน เป็นอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้ค่า Log reduction เพิ่มขึ้นเป็น 6.72 8.27 8.27 8.27 และ 8.27 ตามลำดับ โดยหลังการให้ความดันนาน 10 นาที จะพบปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตเพียง 1.56 log CFU/g และพบว่าการเพิ่มระยะเวลาการให้ความดันนาน 15 20 25 และ 30 นาที จึงสามารถทำลายเชื้อดังกล่าวได้ทั้งหมด โดยไม่พบเชื้อ *L. innocua* DMST 9011 ที่รอดชีวิตในตัวอย่างเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ดังแสดงในตาราง 50

ตาราง 48 ความสามารถในการลดเชื้อ *Escherichia coli* K12 ATCC 47076 ในเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความดันสูง 600 MPa ที่สภาวะต่าง ๆ

เวลาที่ใช้ (นาที)	ปริมาณเชื้อเริ่มต้น (log CFU/g)	ปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตหลังฆ่าเชื้อ (log CFU/g)		Log reduction	
		35°C	45°C	35°C	45°C
10	8.59±0.04	4.20^{a}±0.02	2.81^{a}±0.08	4.39^{a}±0.02	5.78^{a}±0.03
15	8.59±0.04	2.93^{b}±0.07	2.44^{b}±0.14	5.66^{b}±0.03	6.15^{ab}±0.10
20	8.59±0.04	2.60^{b}±0.01	2.13^{b}±0.07	5.99^{c}±0.03	6.46^{bc}±0.03
25	8.59±0.04	2.40^{b}±0.02	1.19^{b}±0.00	6.19^{d}±0.02	6.69^{bc}±0.04
30	8.59±0.04	2.17^{b}±0.01	1.74^{b}±0.06	6.43^{e}±0.06	6.58^{c}±0.02

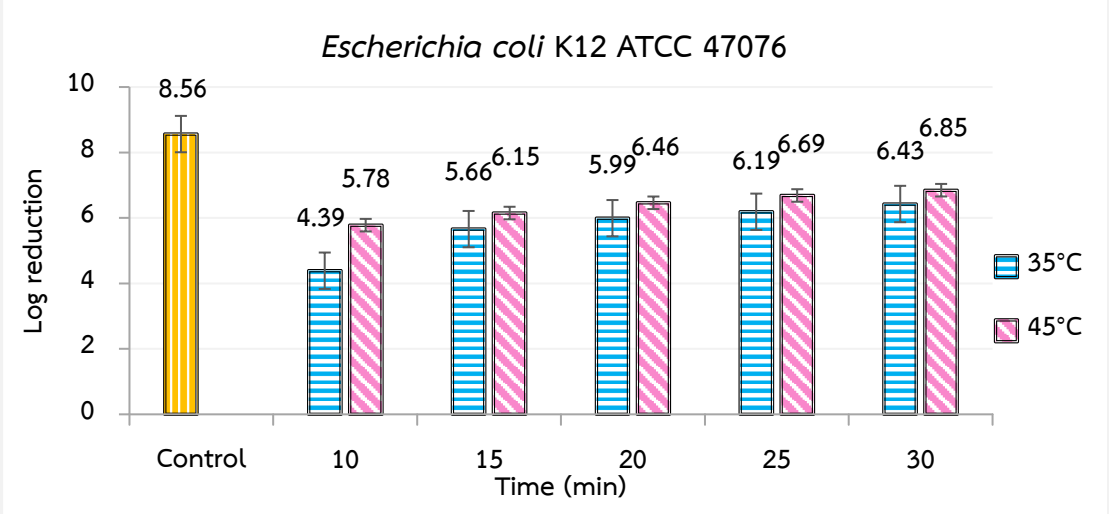
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)
± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน

ตาราง 49 ความสามารถในการลดเชื้อ *Listeria innocua* DMST 9011 ในเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความดันสูง 600 MPa ที่สภาวะต่าง ๆ

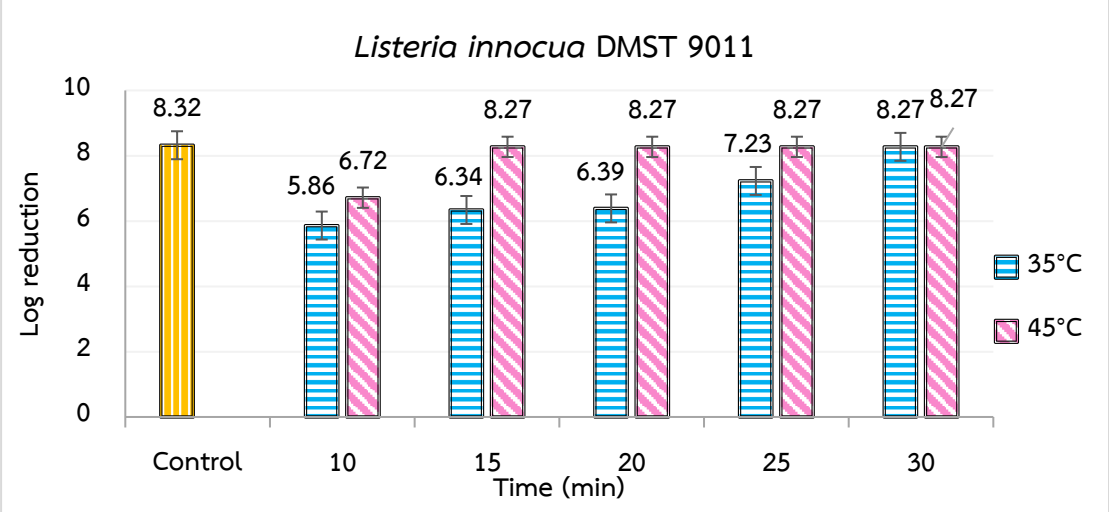
เวลาที่ใช้ (นาที)	ปริมาณเชื้อเริ่มต้น (log CFU/g)	ปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตหลังฆ่าเชื้อ (log CFU/g)		Log reduction	
		35°C	45°C	35°C	45°C
10	8.27±0.07	2.41^{a}±0.04	1.56^{a}±0.02	5.86^{a}±0.11	6.72^{b}±0.09
15	8.27±0.07	1.93^{b}±0.06	0.00^{b}±0.00	6.34^{a}±0.01	8.27^{a}±0.07
20	8.27±0.07	1.83^{bc}±0.01	0.00^{b}±0.00	6.39^{a}±0.13	8.27^{a}±0.07
25	8.27±0.07	1.04^{c}±0.05	0.00^{b}±0.00	7.23^{b}±0.13	8.27^{a}±0.07
30	8.27±0.07	0.00^{c}±0.00	0.00^{b}±0.00	8.27^{b}±0.07	8.27^{a}±0.07

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)
± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าตัวอย่างเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร ที่ผ่านการให้ความดัน 600 MPa โดยเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ ที่เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดันเป็น 35 และ 45 องศาเซลเซียส (จากเดิมที่ใช้อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส) ที่ระยะเวลาการให้ความดันที่แตกต่างกันนั้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 และเชื้อ *L. innocua* DMST 9011 โดยทำให้ค่า Log reduction เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพ 30 และ 31 ตามลำดับ



ภาพ 30 ประสิทธิภาพในการลดเชื้อ *Escherichia coli* K12 ATCC 47076 ในเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหารด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความดัน 600 MPa ที่สภาวะต่าง ๆ



ภาพ 31 ประสิทธิภาในการลดเชื้อ *Listeria innocua* DMST 9011 ในเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหารด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความดัน 600 MPa ที่สภาวะต่าง ๆ

จากผลการศึกษาข้างต้น พบว่ากระบวนการใช้ความดันสูง (High Pressure Processing: HPP)ในตัวอย่างเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร ตามเกณฑ์ทั่วไปและขอบเขตผลิตภัณฑ์ที่ให้ใช้กระบวนการพาสเจอไรส์ด้วยการใช้ความดันสูง ซึ่งต้องสามารถลดเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 และเชื้อ *L. innocua* DMST 9011 ทั้ง 2 สปีชีส์ ลงได้ไม่น้อยกว่า 5 Log reduction (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2562) สามารถใช้การให้ความดัน 600 MPa โดยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ ที่เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดันเป็น 35 และ 45 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาการให้ความดันที่เหมาะสมได้ โดยสามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมได้ 2 สภาวะ ดังนี้

1. การใช้เวลาในการให้ความดันสั้นที่สุด คือ ที่ 10 นาที ต้องใช้อุณหภูมิของน้ำ ที่เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดันที่ 45 องศาเซลเซียส โดยจะสามารถลดเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 และเชื้อ *L. innocua* DMST 9011 ลงได้ 5.78 และ 6.72 log CFU/g ตามลำดับ

2. การใช้เวลาในการให้ความดันที่ 15 นาที ต้องใช้อุณหภูมิของน้ำ ที่เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดันที่ 35 องศาเซลเซียส โดยจะสามารถลดเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 และเชื้อ *L. innocua* DMST 9011 ลงได้ 5.66 และ 6.34 log CFU/g ตามลำดับ

ดังนั้นจากผลการศึกษาดังกล่าวข้างต้น จึงได้คัดเลือกสภาวะการใช้ความดันสูง 600 MPa อุณหภูมิของน้ำที่เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดันที่ 45 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการให้ความดันนาน 10 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาในขั้นต่อไป

การผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร ด้วยกระบวนการใช้ความดันสูง โดยนำสภาวะการฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการใช้ความดันสูงที่คัดเลือกได้จากตอนที่ 4.2 มาใช้ในการผลิต จากนั้นนำเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร มาทำการศึกษาคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (ภาพถ่าย) ค่าสี (L* a* b* C* และ *h*) ด้วยเครื่อง Hunter Lab วิเคราะห์เนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็งของเจล (Hardness) และความยืดหยุ่น (Springiness) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ใช้หัววัด SMS P/6 (Chewy confectionery item) และหัววัด SMS P/36R (Gummy confectionery item) ตามลำดับ (ดัดแปลงวิธีจาก (Lau, Tang, & Paulson, (2000) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ค่าพีเอช (AOAC, 2019) และปริมาณเกลือ (Kraemer and Stamm, 1924.) ดังแสดงในตาราง 51

ตาราง 50 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหารด้วยกระบวนการใช้ความดันสูง

คุณลักษณะที่ตรวจสอบ	เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร
ค่า L*	2.58±0.01
ค่า a*	-2.80±0.01
ค่า b*	6.75±0.01
ค่า C*	6.70±0.02
ค่า *h* (degree: *h*°)	150.36±0.00
ค่าความแข็งเจล Hardness (N)	36.36±0.01
ความยืดหยุ่นของเจล (%)	31.36±0.02
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี	0.823±0.00
การขับน้ำออกจากเจล (Syneresis: %)	3.08±0.01
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix)	19.00±0.00
ค่าพีเอช	3.56±0.01
จุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)	<10
ยีสต์และรา (log CFU/g)	<100

หมายเหตุ: <10 หมายถึง ไม่พบการเจริญของโคโลนีที่ระดับความเจือจาง 10-1 จากตัวอย่าง 25 กรัม โดยใช้เทคนิค Pour plate

<100 หมายถึง ไม่พบการเจริญของโคโลนีที่ระดับความเจือจาง 10-1 จากตัวอย่าง 25 กรัมโดยใช้เทคนิค Spread plate

± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ตอนที่ 5 การตรวจสอบคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดบีดส์เสริมใยอาหาร

ผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ที่ทำการศึกษานี้จัดอยู่ในกลุ่มของอาหารสำเร็จรูปพร้อมบริโภคทันที ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 237 นำผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร มาทำการศึกษาคุณภาพและความปลอดภัยเทียบเคียงกับข้อกำหนดคุณภาพของเยลลี่ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 237 และ 416 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2544, 2563)

ผลการตรวจสอบคุณภาพและความปลอดภัยของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร (ตาราง 52) พบว่าคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ในส่วนของจุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสีย (เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อยีสต์และรา) และในส่วนของกลุ่มแบคทีเรียก่อโรค (Pathogenic bacteria) นั้น ไม่พบการปนเปื้อนในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหารหลังผ่านกระบวนการใช้ความดันสูง 600 MPa ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสนาน 10 นาที แสดงถึงความสามารถในการทำลาย/ลดจุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียลงได้ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยตามเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภณฑชมชนเยลลี่เหลว (มผช. 518/2547) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547ก) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 237 เรื่อง อาหารสำเร็จรูปพร้อมบริโภคทันที และประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 416 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2544, 2563) โดยไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่พบยีสต์และรา และไม่พบเชื้อก่อโรคในผลิตภัณฑ์ดังแสดงในตาราง 52

ตาราง 51 คุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร เปรียบเทียบกับข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขที่เกี่ยวข้อง

คุณลักษณะที่ตรวจสอบ	**เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร**	**มผช. 518/2547ก**	**ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 237 และ 416**
ค่า L*	2.58±0.01	–	–
ค่า a*	-2.80±0.01	–	–
ค่า b*	6.75±0.01	–	–
ค่า C*	6.70±0.02	–	–
ค่า *h* (degree: h°)	150.36±0.00	–	–
ค่าความแข็งเจล (N)	36.36±0.01	–	–
ความยืดหยุ่นของเจล (%)	31.36±0.02	–	–
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี	0.823±0.00	–	–
การขับน้ำออกจากเจล (%)	3.08±0.01	–	–
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix)	19.00±0.00	–	–
ค่าพีเอช	3.56±0.01	–	–
จุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)	<10	ไม่เกิน 10^4 ใน 1 กรัม	–
ยีสต์และรา (log CFU/g)	<100	ไม่เกิน 10^2 ใน 1 กรัม	–
โคลิฟอร์ม (MPN/g)	<3	–	–
Escherichia coli (MPN/g)	<3	<3 MPN	–
*Staphylococcus aureus** (log CFU/g)	<100	ไม่พบใน 1 กรัม	ไม่เกิน 10^2 ใน 1 กรัม
Bacillus cereus * (log CFU/g)	<100	–	–
*Clostridium perfringens** (log CFU/g)	<10	–	–
*Listeria monocytogenese** (พบ/ไม่พบ)	ไม่พบ	–	–
Salmonella spp.* (พบ/ไม่พบ)	ไม่พบ	–	ไม่พบใน 25 กรัม

หมายเหตุ: <10 หมายถึง ไม่พบการเจริญของโคโลนีที่ระดับความเจือจาง 10-1 จากตัวอย่าง 25 กรัม โดยใช้เทคนิค Pour plate

<100 หมายถึง ไม่พบการเจริญของโคโลนีที่ระดับความเจือจาง 10-1 จากตัวอย่าง 25 กรัมโดยใช้เทคนิค Spread plate

± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ตอนที่ 6 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารระหว่างการเก็บรักษา

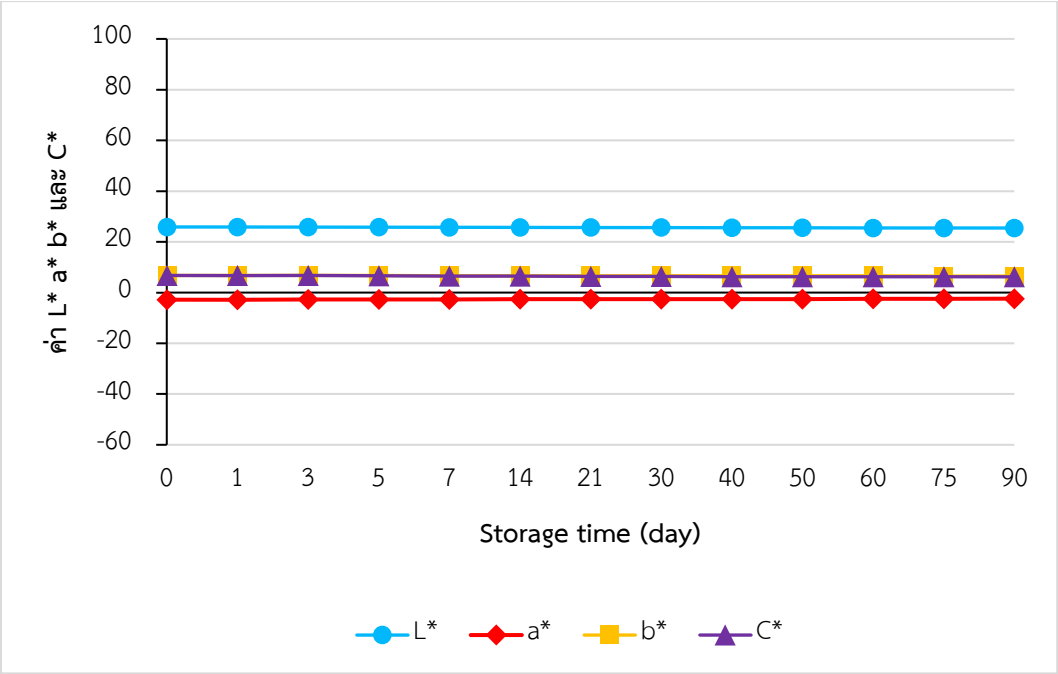
ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร จากข้อ 5 เป็นระยะเวลานาน 3 เดือน โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มตัวอย่างในวันที่ 0 1 3 5 7 14 21 30 40 50 60 75 และ 90 วัน ตามลำดับ (ภาพ 32) นำมาวิเคราะห์ค่าสี (L* a* b* C* และ *h*) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ค่าการแยกตัวของน้ำ (%) ความแข็งของเจล (N) ความยืดหยุ่น (N.mm) ทางด้านเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (°Brix) และค่าพีเอช จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อยีสต์และรา (APHA, 2001)

ภาพ 32 การเก็บผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

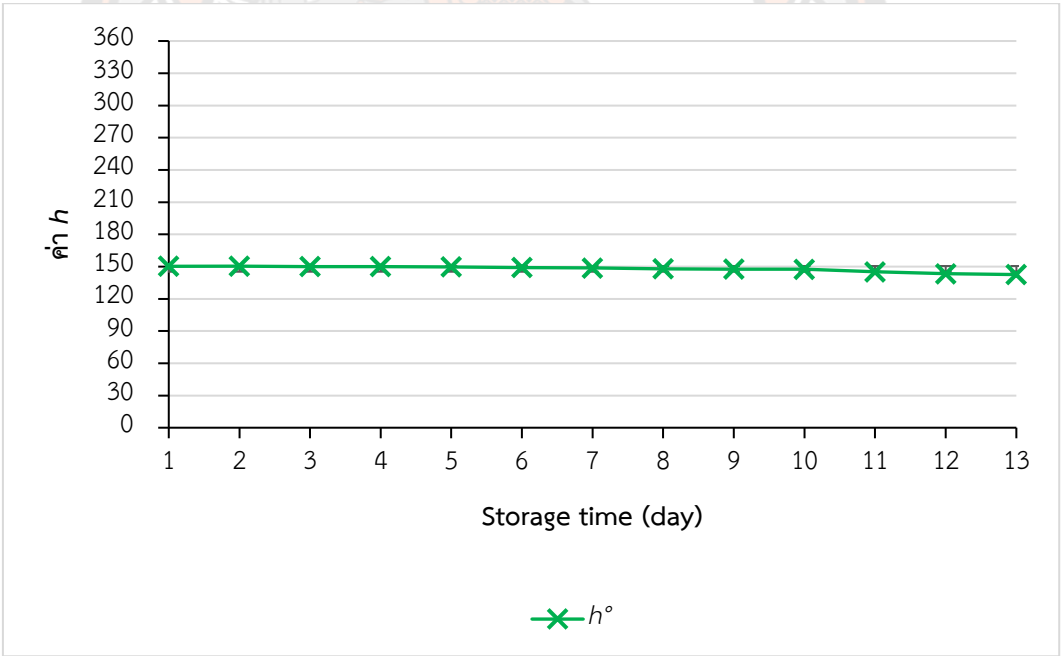
ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร เมื่อเก็บรักษที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 90 วัน มีแนวโน้มของค่าสี (L* a* b* C* และ *h*) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าพีเอชคงที่ ในขณะที่ค่า ΔE ค่าการแยกตัวของน้ำ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ค่าความแข็งของเจล และความยืดหยุ่นของเจลมีแนวโน้มลดลง ในระหว่างการเก็บรักษา และไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อยีสต์และรา ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 90 วัน เนื่องจาก การใช้ความดันสูงโดยไม่ใช้ความร้อน สามารถช่วยยืดอายุการเก็บได้สูงสุดประมาณ 3–30 เท่า ดังแสดงในตาราง 53 และภาพ 33 (ก–ญ)

ตาราง 52 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ที่เก็บรักษา ณ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3
วันที่ 5	**วันที่ 7**	**วันที่ 14**
วันที่ 21	**วันที่ 30**	**วันที่ 40**
วันที่ 50	**วันที่ 60**	**วันที่ 75**
วันที่ 90		

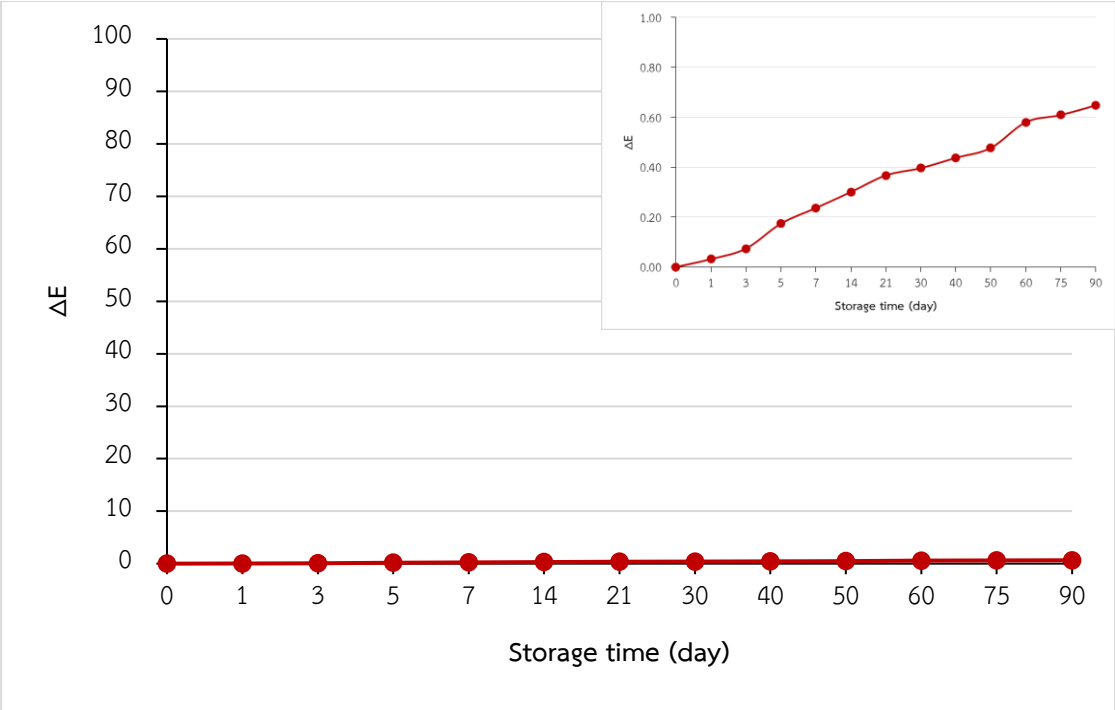


(ก)

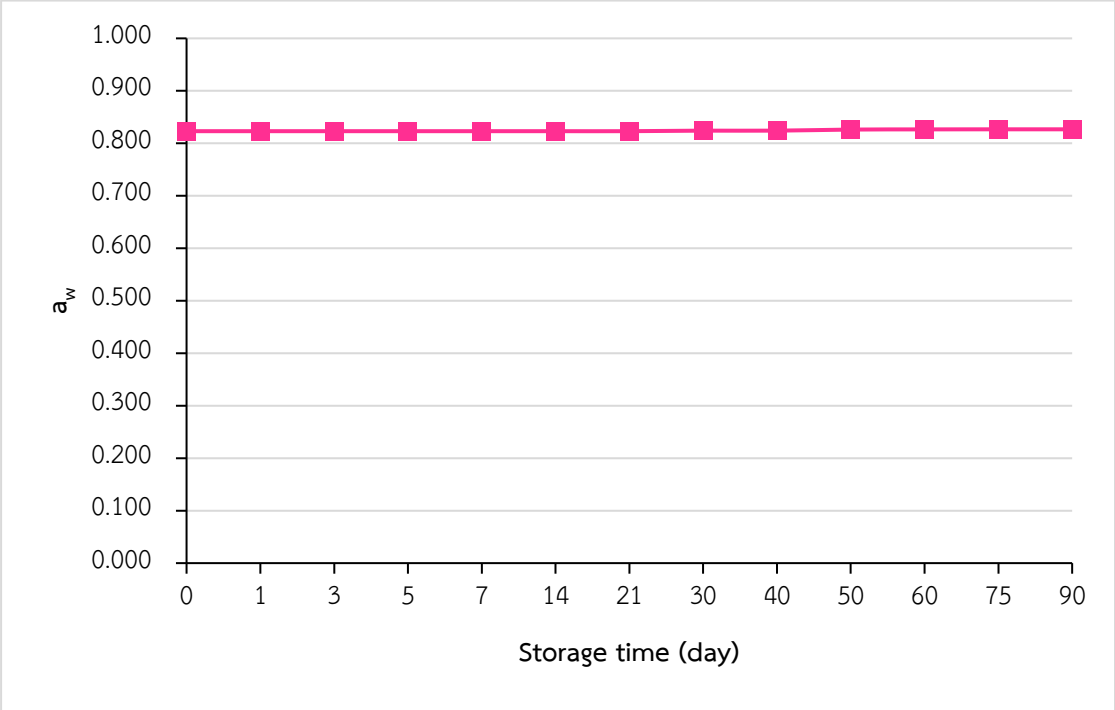


(ข)

ภาพ 33 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 3 เดือน: ก) ค่าสี L* a* b* และ C ข) ค่า h ค) ค่า ΔE ง) ค่า aw จ) ค่าการแยกตัวของน้ำ ฉ) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ช) ค่าพีเอช ซ) ความแข็งของเจล ฌ) ความยืดหยุ่นของเจล และ ญ) เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและเชื้อยีสต์และรา

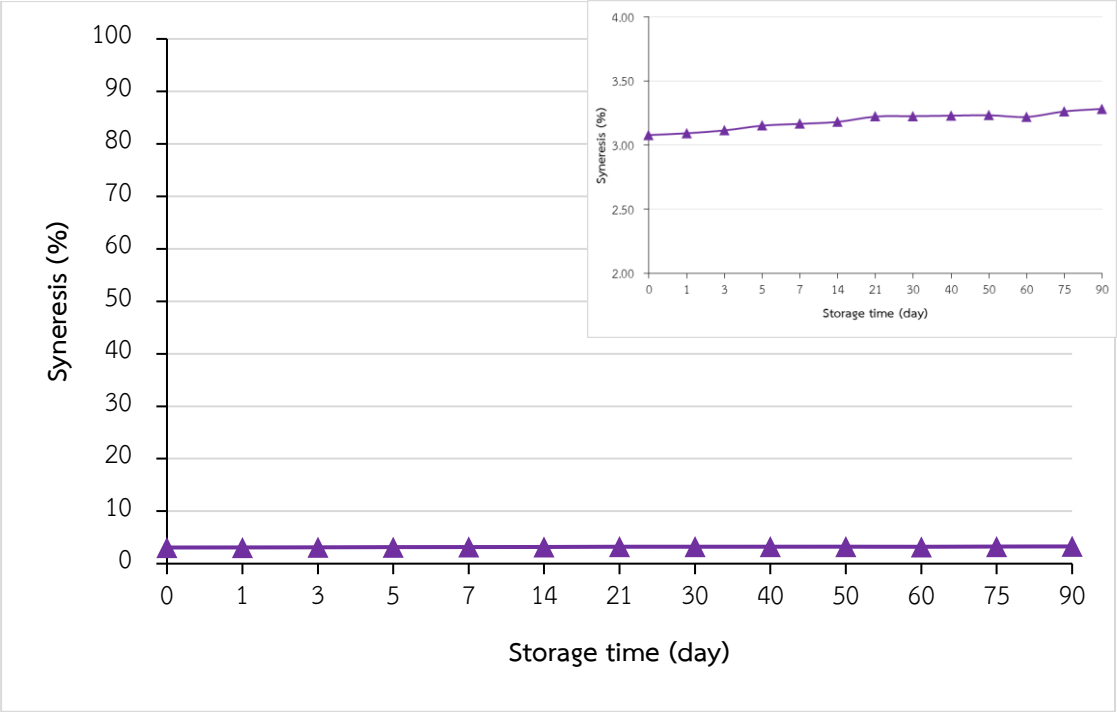

ΔE
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0 1 3 5 7 14 21 30 40 50 60 75 90
Storage time (day)
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
ΔE
0 1 3 5 7 14 21 30 40 50 60 75 90
Storage time (day)

(ค)

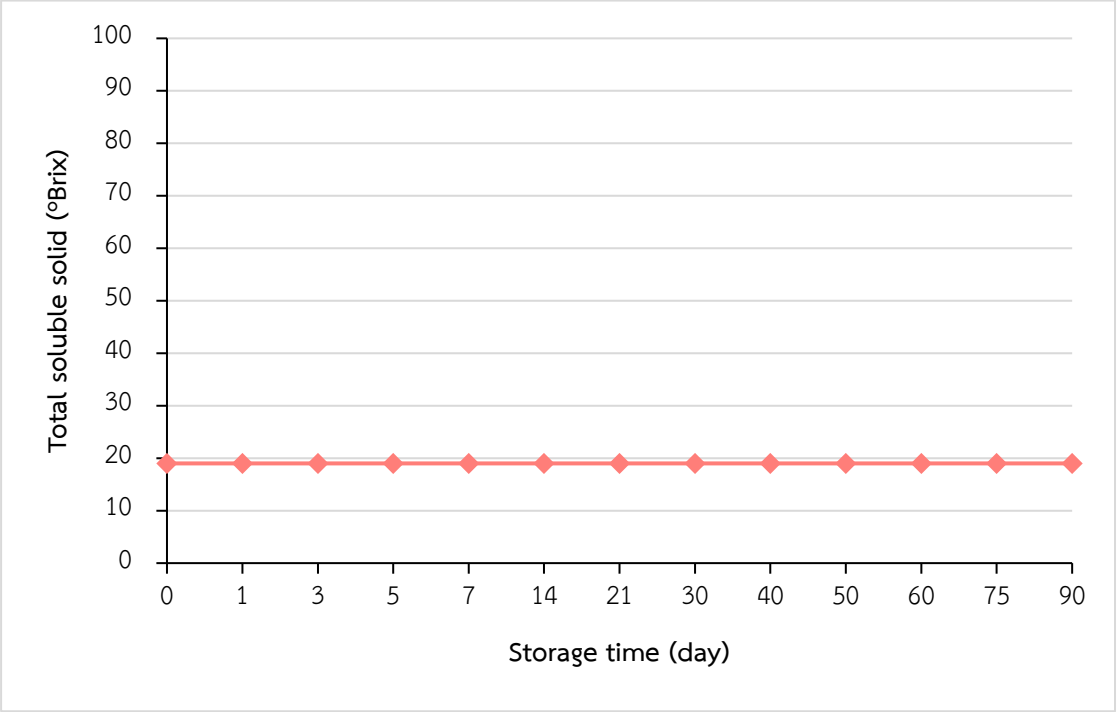

a_w
1.000
0.900
0.800
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
0 1 3 5 7 14 21 30 40 50 60 75 90
Storage time (day)

(ง)

ภาพ 33 (ต่อ)

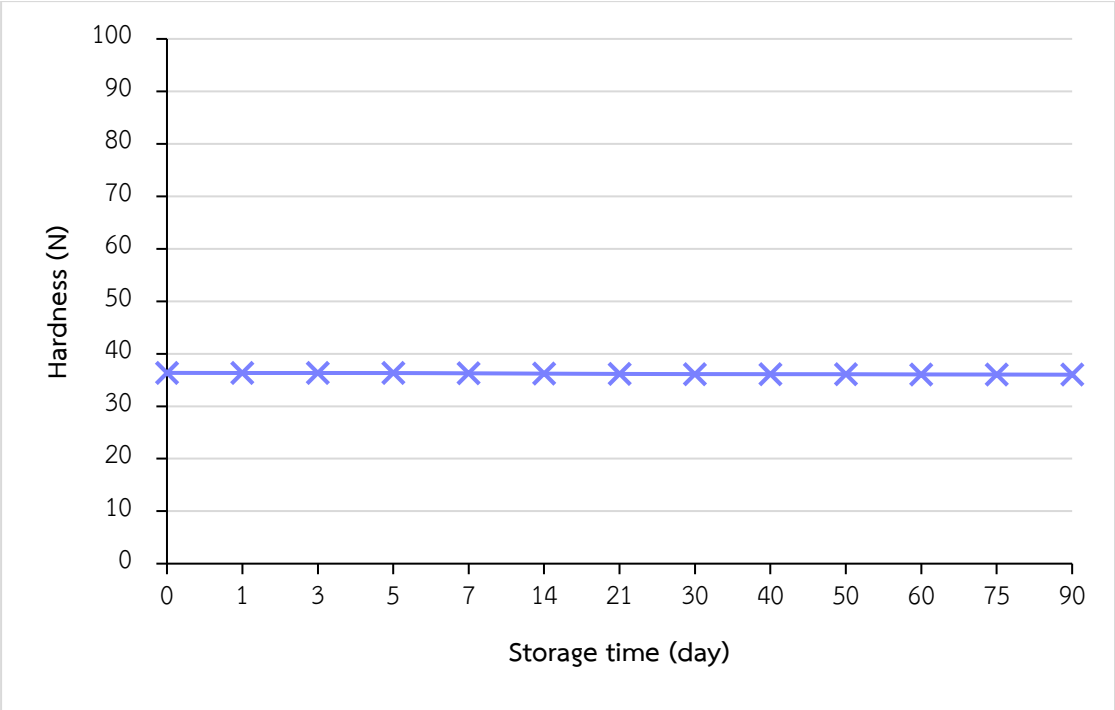

Syneresis (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0 1 3 5 7 14 21 30 40 50 60 75 90
Storage time (day)
4.00
3.50
3.00
2.50
2.00
Syneresis (%)
0 1 3 5 7 14 21 30 40 50 60 75 90
Storage time (day)

(จ)

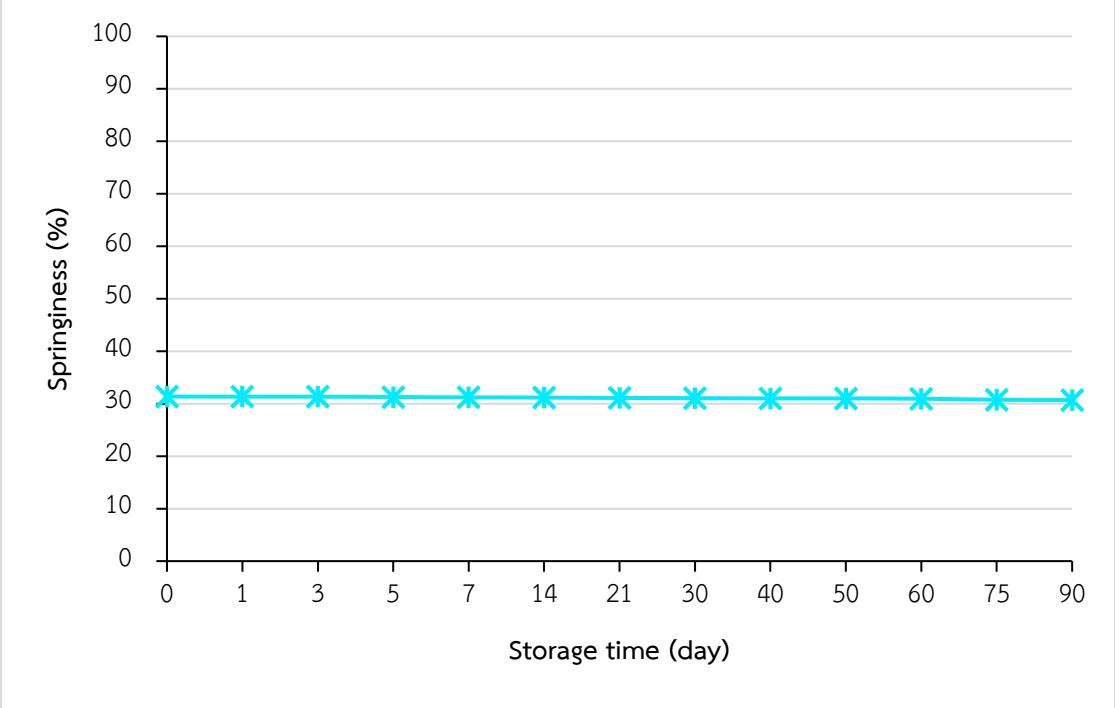

Total soluble solid (°Brix)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0 1 3 5 7 14 21 30 40 50 60 75 90
Storage time (day)

(ฉ)

ภาพ 33 (ต่อ)

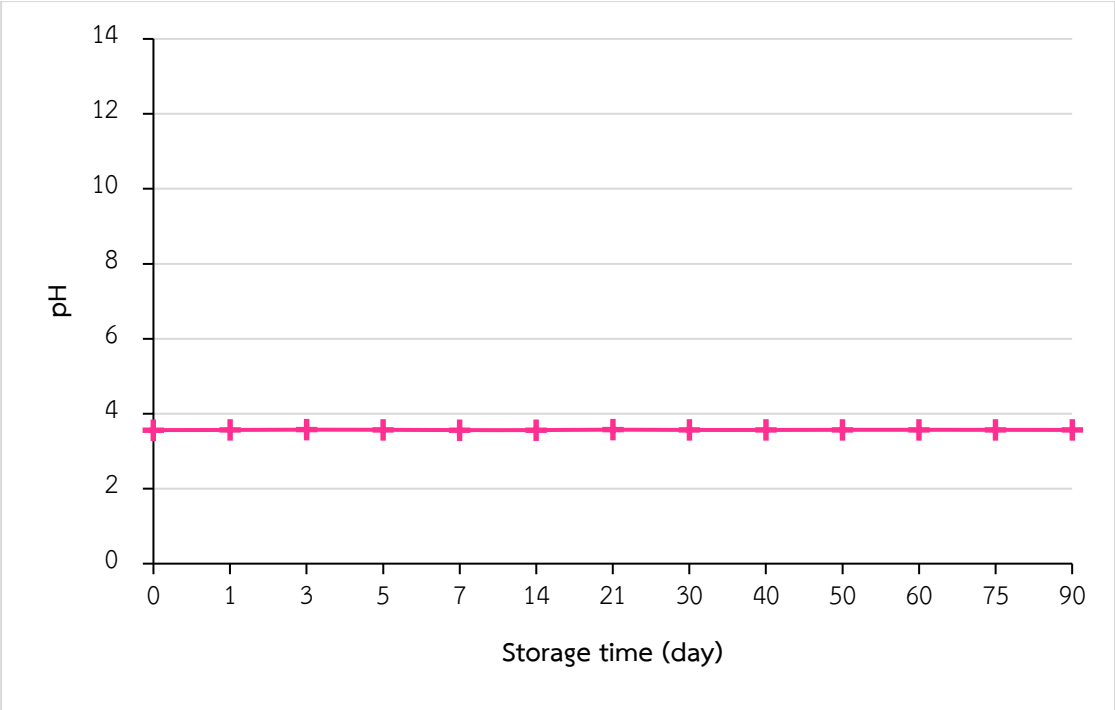

Hardness (N)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0 1 3 5 7 14 21 30 40 50 60 75 90
Storage time (day)

(ช)

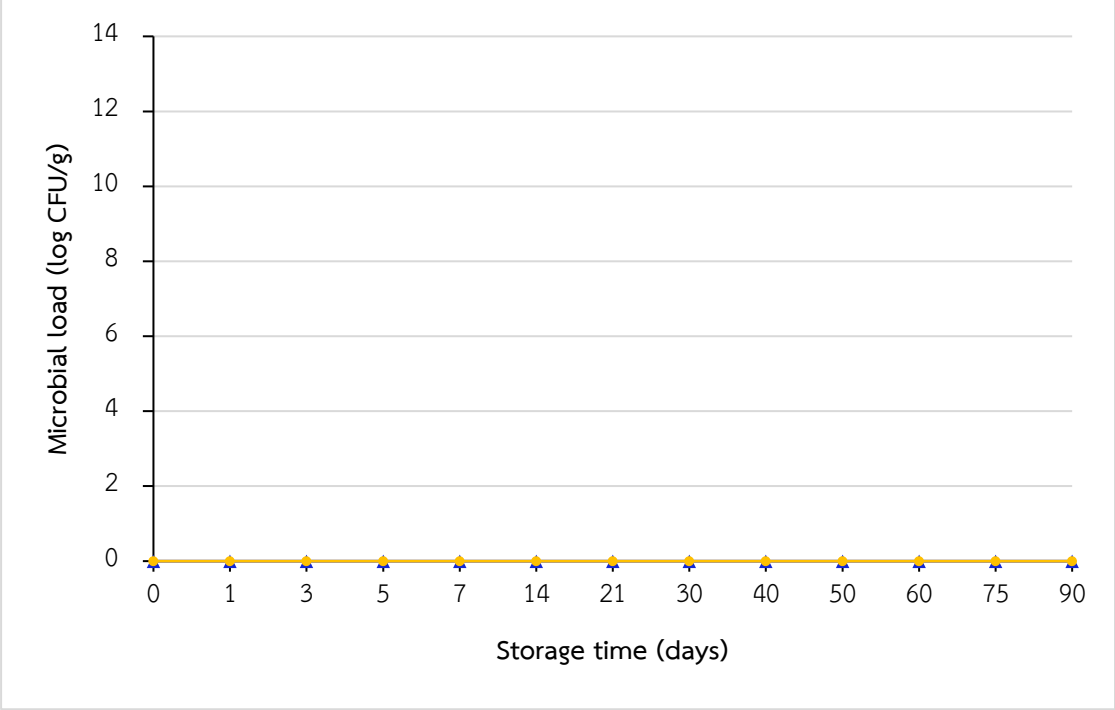

Springiness (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0 1 3 5 7 14 21 30 40 50 60 75 90
Storage time (day)

(ช)

ภาพ 33 (ต่อ)


14
12
10
8
6
4
2
0
pH
0
1
3
5
7
14
21
30
40
50
60
75
90
Storage time (day)

(ฌ)


14
12
10
8
6
4
2
0
Microbial load (log CFU/g)
0
1
3
5
7
14
21
30
40
50
60
75
90
Storage time (days)

(ญ)

ภาพ 33 (ต่อ)

อย่างไรก็ตาม เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีจากสีเหลืองอ่อนไปเป็นสีเหลืองน้ำตาล (ตาราง 44) เนื่องจากกล้วยน้ำว้ามีลิวทีน (Lutein) อัลฟ่าแคโรทีน (α–carotene) และเบต้าแคโรทีน (β–carotene) ซึ่งเป็นรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่ให้สีเหลืองส้ม เกิดการเสื่อมสลายหลังจากการเก็บรักษา ส่งผลให้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารมีค่าความความสว่างลดลง (Xiumin et al., 2018) สอดคล้องกับงานวิจัยของ (อัศพงษ์ อุประวรรณา และคณะ, 2564) พบว่าหลังการเก็บรักษาไฮโดรบีดส์ซอสมะม่วงโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม น้ำหนัก ขนาด และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เนื้อสัมผัส (ความแน่นเนื้อและร้อยละการคืนตัว) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ส่วนค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแปรผกผันกับค่าความเป็นสีแดง (a*) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Dea et al., 2010; Siddiq et al., 2013) ซึ่งพบว่า มะม่วงตัดแต่งจะมีค่าความสว่างลดลงหลังจากการเก็บรักษา ถึงแม้ว่าการผลิตไฮโดรบีดส์จะช่วยฉลอการเสื่อมสลายของสารประกอบฟีนอลได้บางส่วนที่ส่งผลต่อค่าสีก็ตาม (Uprarawanna et al., 2021)

บทที่ 5
บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

สูตรน้ำกล้วยเสริมใยอาหารที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลที่เหมาะสม คือ การใช้อัตราส่วนน้ำต่อกล้วย เท่ากับ 1:3 ที่ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ให้ได้เท่ากับ 12°Brix ด้วยน้ำตาลทราย และปรับค่าพีเอชของน้ำกล้วยให้ได้เท่ากับ 3.5 ด้วยกรดซิตริก เติมโพลีเดกส์โตรสปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักน้ำกล้วย และใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 การผลิตไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารโดยวิธี Basic spherification คือ ไฮโดรบีดส์จากน้ำเชื่อมกลิ่นกลิ่นเสาวรสเติมโพลีเดกส์โตรสปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักน้ำเสาวรส ที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 1 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด (สารละลายน้ำผลไม้ที่เติมโพลีเด็กส์โตรส แล้ว) ร่วมกับสารละลายแคลเซียมแลคเตทความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (น้ำนักต่อปริมาตร: w/v) เป็นสภาวะในการผลิตไฮโดรบีดส์ใยอาหารที่เหาะสมและสามารถคงตัวอยู่ในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าได้

กระบวนการผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร คือ เตรียมส่วนผสม และสารก่อเจลผสม ได้แก่ คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ร้อยละ 0.20 0.10 และ 0.10 ตามลำดับนำมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเติมลงในน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 กวนจนส่วนผสมละลายเข้ากันดี (เป็นเนื้อเดียวกัน) ไม่จับตัวเป็นก้อน จากนั้นนำไปให้ความร้อนอุณหภูมิ 85±2 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที (กวนตลอดเวลา) เมื่อครบเวลาแล้วให้นำมาบรรจุร้อน (อุณหภูมิ 85±2 องศาเซลเซียส) ในซองเพาช์พร้อมฝา (Spouted Pouch) แบบซีล 3 ด้าน มีฝาจุก ก้นตั้ง ขนาด 8.00x12.00 เซนติเมตร ปริมาณ 100.00 กรัม (ไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร 10 กรัม และเยลลี่กล้วยน้ำว้า 90 กรัม) ผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหารที่ได้ มีสีเหลืองอ่อน มีค่าความแข็ง และความยืดหยุ่นของเจล ใกล้เคียงกับเยลลี่คาร์ราจีแนนที่มีจำหน่ายทางการค้า 3 ยี่ห้อ มีลักษณะจับตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีส่วนผสมของของเหลวที่แยกตัวออกมาเหมือนกับเยลลี่คาร์ราจีแนนพร้อมดื่มที่มีจำหน่ายทางการค้า ที่มีลักษณะเป็นก้อนเยลลี่ผสมของเหลวรวมอยู่ด้วย (ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน) ทั้งนี้ เมื่อลองใช้มือบีบหลังจากการเซตเจลแล้ว พบว่าผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหาร สามารถบีบออกมารับประทานได้โดยใช้แรงบีมไม่มากจนเกินไป

ผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหารมีคุณภาพและความปลอดภัย เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 237 เรื่อง การแสดงฉลากของอาหารพร้อมปรุงและอาหารสำเร็จรูปที่พร้อมบริโภคทันที และประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 416 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2543ข; 2544) โดยไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่พบยีสต์และรา และไม่พบเชื้อก่อโรคในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถใช้การให้ความดัน 600 MPa โดยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ ที่เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดันเป็น 35 และ 45 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาการให้ความดันที่เหมาะสมได้ โดยสามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมได้ 2 สภาวะ ดังนี้

1. การใช้เวลาในการให้ความดันสั้นที่สุด คือ ที่ 10 นาที ต้องใช้อุณหภูมิของน้ำที่เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดันที่ 45 องศาเซลเซียส โดยจะสามารถลดเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 และเชื้อ *L. innocua* DMST 9011 ลงได้ 5.78 และ 6.72 log CFU/g ตามลำดับ

2. การใช้เวลาในการให้ความดันที่ 15 นาที ต้องใช้อุณหภูมิของน้ำ ที่เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดันที่ 35 องศาเซลเซียส โดยจะสามารถลดเชื้อ *E. coli* K12 ATCC 47076 และเชื้อ *L. innocua* DMST 9011 ลงได้ 5.66 และ 6.34 log CFU/g ตามลำดับ

ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 3 เดือน มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหารเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยจะมีแนวโน้มของค่าสี (L* a* b* C* และ *h*) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%) และค่าพีเอช คงที่ ในขณะที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม (Total color change, ΔE) ค่าการแยกตัวของน้ำ (%) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ค่าความแข็งของเจล (N) และความยืดหยุ่นของเจลมีแนวโน้มลดลง และไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อยีสต์และรา ในตัวอย่างตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 3 เดือน

ข้อเสนอแนะ

ผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์ใยอาหารมีศึกยภาพเชิงพาณิชย์ โดยในอนาคตอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการขยายกำลังการผลิตในระดับอุตสาหกรรม รวมถึงการศึกษาโครงสร้างต้นทุนการผลิต รวมถึงการศึกษาทางด้านสารออกฤทธิ์เพิ่มเติม

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

เกวลิน ปารมีกาศ, จิตนันท์ คำตั๋น, จีรภา ใจวัน, และพนิดา รัตนปิติกรณ์. (2559). ผลของปริมาณเจลาติน คาราจีแนน คอลลาเจน ที่มีต่อสสมบัติการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เยลลี่ฟักข้าวเสริมคอลลาเจน. *FST CMU Research Exercise Journal,* 1–18.

วิลาวัลย์ เจริญจิระตระกูล. (2539). *จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญด้านอาหาร.* (258 หน้า). สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

เนตรนภา เมยกลาง, และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. (2558). การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ในเครื่องดื่มน้ำผลไม้. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา), 14*(4), 69–79. https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/gskku/article/view/30955/26689

เบญจมาศ ศิลาย้อย. (2545). กล้วย. พิมพ์ครั้งที่ 3 (357 หน้า). *สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.*

เบญจมาศ ศิลาย้อย. (2558). กล้วย. พิมพ์ครั้งที่ 4 (526 หน้า). *สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.*

เอนก หาลี, นิศาชล นาเวช, และสุรีวัลย์ วรอรุณ. (2561). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่ข้าวหักไรซ์เบอรี่เสริมสารสกัดจากหญ้าหวาน. *วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, 14*(2), 29–37.

ไพศาล วุฒิจำนงค์ อนุวัตร แจ้งชัด กมลวรรณ แจ้งชัด ธงชัย สุวรรณสิชณน์ เพ็ญขวัญ ชมปรีดา หทัยรัตน์ ริมคีรี วาณี ชนเห็นชอบ งามทิพย์ ภู่วโรดม และ สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2543. *การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตในประเทศไทยอย่างครบวงจร: การศึกษาอายุการเก็บของผลไม้ไทยทอดกรอบ* (รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์). คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กมลวรรณ สืบแสน. (2562). *การดัดแปรเนื้อสัมผัสและสมบัติการไหลของผลิตภัณฑ์ขนมหวานสำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะกลืนลำบาก* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่). Chiang Mai University. https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2562/food10462ksub_full.pdf

กรมทรัพย์สินทางปัญญา. (2567). *ระบบสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตรออนไลน์*.กรมทรัพย์สินทางปัญญา. http://patentsearch.ipthailand.go.th/DIP2013/simplesearch.php

กรมวิชาการเกษตร. (2543). เยลลี่มะม่วง. *วารสารสถาบันอาหาร, 3*(14), 41–42.

กรมวิชาการเกษตร. (2560). *รายงานประจำปี 2560*. คลังเอกสารความรู้ กรมวิชาการเกษตร. https://www.doa.go.th/share/attachment.php?aid=2660

กรมศุลกากร. (2558). *สถิติการเกษตรของประเทศไทย*. ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. http://organic.dit. go.th/FILE/CONTENT_FILE/25601025113758120970 4.pdf

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2562). *ภาพรวมการปลูกไม้ผล: ปีเพาะปลูก 2561*. สารสนเทศกรมส่งเสริมการเกษตร. http://www.agriinfo.doae.go.th/year62/plant/rortor/fruit/all.pdf

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2566). *การผลิตกล้วยพันธุ์ดี*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. https://mediatank.doae.go.th/medias/file_upload/03-2023/3-1759860832327638.pdf

กล้าณรงค์ ศรีรอต. (2542). *เทคโนโลยีของแป้ง*. บริษัท เท็กซ์แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด.

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2540). *หลักสถิติ*. กรุงเทพมหานคร.

กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา, และนัทมน พุฒดวง. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่ธัญพืชเพื่อสุขภาพ. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 11*(1), 13–20. https://e-library.siam.edu/e-journal/wp-content/uploads/2018/11/Journal-of-food-technology-siam-university-vol11-no1-jan-dec-2016-02.pdf

จักรินทร์ ตรีอินทอง, นงนุช รักสกุลไทย, และจิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร. (2559). อิทธิพลของคาร์ราจีแนนที่สกัดจากสาหร่ายโพรงต่อสมบัติของเจลจากปลาน้ำจืด. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 9*(2), 1–12. https://www.rmutto.ac.th/index.php?menu=shownews&idnews=TP2628

จิราภรณ์ สอดจิตร์. (2543). กลูโคแมนแนนใยอาหารจากบุก. *แม่โจ้ปริทัศน์, 5*(1), 79–84. http://mdc.library.mju.ac.th/article/90984/50523/113570.pdf

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

ชรินรัตน์ อุดเมืองคำ. (2552). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่จากสาหร่ายไก* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. http://thesis.swu.ac.th/ swuthesis/Sci_Ed/Charinrat_U.pdf

ชิดชัย ปัญญาสวรรค์, วิชัย หฤทัยธนาสันติ์, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, ปริศนา สิริอาชา และ ธีรารัตน์ สังขวาสี. (2547). การพัฒนาไซรัปเข้มข้นจากกล้วยหอมทองโดยการใช้เอนไซม์. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42: สาขาประมง สาขาอุตสาหกรรมเกษตร.*การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42*. (หน้า 434–441). สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

ญาดา เอกสุวรรณ, พนิดา หลำบางช้าง, จุฑามาศ สุทธิรักษ์, และอินทิรา ลิจันทร์พร. (2555). ผลของคาราจีแนนต่อคุณภาพของเยลลี่ลองกอง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 43(*2), 485–488. https://agkb.lib.ku.ac.th/agrisservice/search_detail/result/391064

ณัชชากร วรสาร, นภภัค ใจภักดี, และเอกพล ลิ้มพงษา. (2560). การเตรียมและประเมินกัมมี่เยลลี่ที่มีส่วนผสมของกลูโคแมนแนน. *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษา ระดับนานาชาติและนานาชาติ 2560* (หน้า 932–939). มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ณัฐรดา ห้องมิ้ม, อนงค์จันทร์ อุดมสิรินวกุล, และสิทธิชัย พรมเอี่ยม. (2558*). การพัฒนากัมมี่เยลลี่ผสมคอลลาเจนสูตรลดพลังงาน* (โครงการพิเศษ). คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ไพศาล วุฒิจำนงค์ อนุวัตร แจ้งชัด กมลวรรณ แจ้งชัด ธงชัย สุวรรณสิชณน์ เพ็ญขวัญ ชมปรีดา หทัยรัตน์ ริมคีรี วาณี ชนเห็นชอบ งามทิพย์ ภู่วโรดม และ สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2543. *การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตในประเทศไทยอย่างครบวงจร: การศึกษาอายุการเก็บของผลไม้ไทยทอดกรอบ* (รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์). คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดวงกมล ตั้งสถิตพร, ธันย์ชนก จรเสมอ, และชิดชนก เอมอมร. (2558). การใช้ประโยชน์จากแกนสับปะรดและชาภูฟ้าในผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่ม. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร, 1*(5), 25–35.

ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. (2557). กล้วย คุณค่าล้นหวี ผลไม้ดีคู่สุขภาพ. *วารสารอาหาร, 44*(1), 15–18.

ทิพย์วัลย์ สุกุมลนันท์. (2548). พันธุ์บุกในประเทศไทย. เชียงใหม่.

ธนกิจ ถาหมี, และพิไลรัก อินธิปัญญา. (2555). การพัฒนาสูตรเครื่องดื่มน้ำหม่อน (*Murus albs* L.) สกัดผสมน้ำผึ้ง. *วารสารวิชาการเกษตร 30*(3), 274–289.

ธนาวุฒิ พุทธวงค์, ปภัสรา นันตาน้อย, และชานน ศรียศ. (2562). การพัฒนาเยลลี่ดอกแคขาวสูตรสมุนไพรไทย (โครงงานวิทยาศาสตร์, Issue.

ธีรวรรณ สุวรรณ์, ปรัชสิญา นราฐปนนท์, อภิญญา เอี่ยมสุวรรณ, วรเมษฐ พงศ์พัฒนพาณิชย์, และปิยะรัชช์ กุลเมธี. (2561). การพัฒนาผลิตภัณฑ์คาราจีแนนเยลลี่รางจืด. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 28*(2), 403–411.

นริสา สุดปัญญา, ปรเมศร์ อัศวเรืองพิภพ, และ โอปอล์ สุวรรณเมฆ. (2561). พฤติกรรมการซื้อขนมกัมมี่เยลลี่ในเขตกรุงเทพมหานคร. *วารสารการบริหารและจัดการ, 8*(1), 101–114.

นวัชวรรณ คลองสติ. (2562). การพัฒนาเครื่องดื่มมะละกอเสริมเม็ดบีดส์พรีไบโอติก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. คณะอุตสาหกรรมเกษตร.

นิธิมา สุทธิพันธุ์. (2565). กล้วย. https://apps.phar.ubu.ac.th/phargarden/attachments/article–20220324154403.pdf

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2534). คอลลอยด์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร.

บัญชีนวัตกรรมไทย. (2561). น้ำตาลไอโซมอลทูโลส (Isomaltulose). http://publichearing.bb.go.th/innovation/PDF/14000021.pdf

ปนิตา ปรีชาหาญ. (2563). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเจลลี่นมแพะผสมน้ำผลไม้ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

ประจงเวท สาตมาลี. (2560). การเลือกใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในอุตสาหกรรมอาหาร. วารสารวิชาการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 47(4), 29–34.

ประสงค์ เทียนบุญ. (2558). ใยอาหาร. แหล่งที่มา: http://www.med.cmu.ac.th/dept/nutrition/

ปราณี อ่านเปรื่อง. (2547). หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส. จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

ปาริดา จันทร์สว่าง. (2563). การศึกษาศักยภาพการวิเคราะห์สมบัติวิสโคอิลาสติกในตัวอย่างอาหารด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ วารสารวิชาการที่ประชุมสภาข้าราชการ พนักงานและลูกจ้างมหาวิทยาลัย แห่งประเทศไทย 9(2), 102–111.

ปิยะดา อาชายุทธการ. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่บรรจุถ้วยผสมเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้.

ปุณยวีร์ รัตนศิริ, ศจี สุวรรณศรี, ปุณฑริกา รัตนตรัยวงศ์, และ ปริตา ธนสุกาญจน์. (2552). อิทธิพลของค่าพีเอชและอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสของสารละลายน้ำตาล. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา), 12*, 371–375.

พรทิพย์ ธนรติกุล. (2565). ผลของคาราจีแนนต่อคุณภาพของเยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอก. *วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา (JSSE), 5*(2), 215–224. https://doi.org/http://doi.org/10.14456/jsse.2022.24

พัชรี คำประเวช, และ สุธีรา วัฒนกุล. (2561). การผลิตเม็ดบีดส์น้ำเสาวรสด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน. *วารสารวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี, 26*(8), 1381–1393.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, และ นิธิยา รัตนาปนนท์. (2562). Sucralose/ซูคราโลส. http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1548/sucralose-%E0%B8%8B%E0%B8%B9%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%AA

พิสิฐ วงศ์สง่าศรี. (2563). กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำกรมประมง เทคโนโลยีการแช่เยือกแข็ง (Freezing Technology) กลุ่มวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. กรมประมง.

ภัทรนันท์ โถน้อย, ศิริวรรณ กลัดกลีบ, และ พิสุทธิ์ หนักแน่น. (2563). เจลลี่น้ำมะพร้าวพร้อมดื่ม วิทยานิพนธ์วิชาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ]. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพมหานคร.

ยุวดี พีรพรพิศาล, ฐิติกานต์ ปัญโญใหญ่, และ ดวงพร อมรเลิศพิศาล. (2555). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบของสาหร่ายเตา. *วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 40*(1), 228–235.

ฤทธิชัย อัศวราชันย์. (2558). เทคโนโลยีการแปรรูปด้วยความดันสูงสำหรับการแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหาร. *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 22*(2), 1–9.

ฤทธิชัย อัศวราชันย์. (2559). ผลของการใช้ความดันสูงในการทำลายจุลินทรีย์และสปอร์ของจุลินทรีย์ในอาหาร. *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 22*(2), 41–48.

ลดาวรรณ์ จันทสิงห์, หทัยรัตน์ ริมคีรี, และ พิสิฏฐ์ ธรรมวิถี. (2558). การศึกษาพฤตกรรม ทัศนคติ ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกซื้อ และความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เยลลี่โดยใช้

แบบสอบถาม การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53 ระหว่างวันที่ 3–6 กุมภาพันธ์ 2558 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณวิสา สพประสงค์, และ อาจินต์ สหะชาติ. (2565). กล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง (โครงการผลิตสื่อถ่ายทอดความรู้ทางการเกษตร ปี 2563, Issue.

วรลักษณ์ แสงธาราทิพย์, อนุวัตร แจ้งชัด, และ กมลวรรณ แจ้งชัด. (2563). ผลของคาราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม ต่อเนื้อสัมผัสและลักษณะทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์เยลลี่กระเจี๊ยบพร้อมดื่ม เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 58: สาขาวิทยาศาสตร์, สาขาวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์, สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

วารินทร์ งามการุญ. (2558). แผนธุรกิจการปลูกกล้วยหอมทองในประเทศไทยเพื่อการส่งออก ไปประเทศญี่ปุ่นให้มีความสามารถในการแข่งขันอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์].

วิไล รังสาดทอง. (2547). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 4). เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, สันทัด วิเชียรโชติ, และ อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเจลเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุจากผลไม้ไทย ที่มีองค์ประกอบของสารพรีไบโอติกโดยใช้เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ มหาวิทยาลัยบูรพา. คณะวิทยาศาสตร์.

ศศิธร สิทธิเนตร, และ สุนิสา เครือจุ้ย. (2545). เยลลี่ใบเตยเสริมว่านหางจระเข้. ค. ส. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.

ศุกฤชชญา เหมะธุลิน, และ กรรณิการ์ สมบุญ. (2558). ผลิตภัณฑ์เยลลี่เม่า. *วารสารแก่นเกษตร, 43*(1), 509–514.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2552). น้ำกล้วยหอมพร้อมดื่ม. กองพัฒนาและจัดการความรู้องค์กร. https://www.tistr.or.th/tistrblog/?p=1648และ

สายสมร พูลพันธ์. (2547). ผลของสารที่ทำให้เกิดเจลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเยลลี่รสนมผสมน้ำสตรอเบอร์รี่ มหาวิทยาลัยศิลปากร]. กรุงเทพทหานคร.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2543ก). ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 210 เรื่อง อาหารกึ่งสำเร็จรูป. In. กระทรวงสาธารณสุข: กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2543ข). ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 213 เรื่อง แยม เยลลี่ และมาร์มาเลดในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท. In. กระทรวงสาธารณสุข: กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2544). ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 237 เรื่อง การแสดงฉลากของอาหารพร้อมปรุงและอาหารสำเร็จรูปที่พร้อมบริโภคทันที. In. กระทรวงสาธารณสุข,: กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2556). ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 355 เรื่อง อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท. In. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงสาธารณสุข.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2560). พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 พร้อมกฎกระทรวง และประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับปรับปรุง ปี 2560). In. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงสาธารณสุข.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2562). เกณฑ์ทั่วไปและขอบเขตผลิตภัณฑ์ที่ให้ใช้กระบวนการพาสเจอไรส์ ด้วยการใช้ความดันสูง (High–Pressure Processing; HPP). In. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงสาธารณสุข.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2563). ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 416 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค. In. กรุงเทพมหานคร.: กระทรวงสาธารณสุข.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2521). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแยม เยลลี่และมาร์มาเลด (มอก. 263–2521). In. กระทรวงอุตสาหกรรม: กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547ก). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่เหลว (มผช. 518/2547). In. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547ข). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่อ่อน (มผช. 519/2547). In. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547ค). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่แข็ง (มผช. 520/2547). In. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2548). มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ: กล้วย (มกอช.0006–2548). In. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ นครชิคาโก. (2565). บุกตลาดขนมหวานสำเร็จรูป (Confectionery) ในสหรัฐอเมริกา https://www.ditp.go.th/contents_attach/789333/789333.pdf

สำนักงานส่งเสริมการค้าต่างประเทศ. (2562). แนวโน้มผลิตภัณฑ์เยลลี่ ในตลาดจีน (สคต.เซี่ยเหมิน). https://www.ditp.go.th/ditp_web61/article_sub_view.php?filename=contents_attach/550179/550179.pdfและtitle=550179และcate=413และd=0

สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อม, ณัฐพัฒน์ วัฒนกฤษฎา, ผาณิต ไทยยันโต, และ เบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์. (2554). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่คาราจีแนนสูตรน้ำผัก. *วิทยาศาสตร์การเกษตร, 42*(2), 509–512.

สุธิดา อัญญะโพธิ์. (2548). กล้วย ผลไม้มากคุณประโยชน์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 20*(218), 45–61.

สุนีย์ แวมะ, และ อาอีเซาะส์ เบ็ญหาวัน. (2565). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เจลลี่จากฟ้าทะลายโจรและกระชายขาวร่วมกับโพรพอลิสพร้อมศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์และการต้านอนุมูลอิสระ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

สุพรรณี เทพอรุณนัตน์. (2546). เทคโนโลยีการผลิตอาหารด้วยความดันสูง (High pressure processing). *วารสารวิทยาศาสตร์บริการ, 51*(163), 21–25.

สุวรรณา สุภิมารส. (2543). เทคโนโลยีการผลิตลูกกวาดและช็อกโกเลต. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

หยาดฝน ทะนงการกิจ. (2557). การใช้ประโยชน์จากเศษผักผลไม้เหลือทิ้งเพื่อผลิตเป็นใยอาหารผง. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 9*(1), 31–38.

อธิชา เนตรบุตร, ลักษณา อินทร์กลับ, และ ทับกฤช ขุมทรัพย์. (2565). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่คาราจีแนนมะม่วงหาวมะนาวโห่ ประชุมวิชาการวิทยาลัยนครราชสีมา,

อนิรุทธ์ ผ่องแผ่ว. (2553). พฤติกรรมการซื้อขนมหวานสำเร็จรูปที่ผลิตจากประเทศสมาชิกสมาคมประชาชาติแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล มหาวิทยาลัยศรีปทุม]. กรุงเทพมหาคร.

อัศพงษ์ อุประวรรณา, ชนันภรณ์ ทองโรจน์, และ จรรยา โท๊ะนาบุตร. (2564). การผลิตเม็ดบีดส์ซอสมะม่วงโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม. วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ 16(3), 12–30.

อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร. (2558). สำรวจตลาดขนมหวานกับช่วงเศรษฐกิจขาลง. Retrieved 12 ธันวาคม from http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewWorldDetail.php?id=14

อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร. (2559). ตลาดขนมหวานจากน้ำตาลในประเทศไทย. Retrieved 12 ธันวาคม 2562 from http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail.php?id=120

อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร. (2560). ตลาดสแน็ค ขนมหวาน และลูกกวาด ที่ไหนรุ่งที่ไหนล่วง. Retrieved 12 ธันวาคม from http://fic.nfi.or.th/foodsectordatabankNews–detail.php?smid=1346

อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร. (2565). ตลาดขนมหวานจากน้ำตาล ปี 2564. https://fic.nfi.or.th/market–intelligence–detail.php?smid=366

Akkarachaneeyakorn, S., & Tinrat, S. (2018). Effects of Types and Amounts of Stabilizers on Physical and Sensory Characteristics of Cloudy Ready–to–Drink Mulberry Fruit Juice. *Food Science and Nutrition, 3*(3), 213–220. https://doi.org/10.1002/fsn3.206

Ako, K. (2015). Influence of Elasticity on the Syneresis Properties of K–Carrageenan Gels. *Carbohydrate Polymers*, *115*, 408–414. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.08.109

Alamprese, C., & Mariotti, M. (2011). Effects of Different Milk Substitutes on Pasting Rheological and Textural Properties of Puddings. *Journal of Food Science and Technology, 44*(10), 2019–2025. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.06.012

Anon, A. (2002). *Dietary soluble fiber resource*. Retrieved 28 August 2023, from http://www.gy.com/it.

AOAC. (2005). *Association of Official Analytical Chemists*. AOAC International. Gaithersburg Maryland. USA.

AOAC. (2019). *Association of Official Analytical Chemists*. AOAC International. Gaithersburg Maryland. USA.

APEC. (2017). High Pressure Processing. National Science Technology and Innovation. Retrieved 28 August 2023, from http://www.sti.or.th/sti/uploads/article_pdf/13_TH.pdf.

APHA. (2001). Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. *American Public Health Association.* https://doi.org/10.2105/MBEF.0222

Banerjee, S., & Bhattacharya, S. (2011). Compressive Textural Attributes, Opacity and Syneresis of Gels Prepared from Gellan, Agar, and Their Mixtures. *Journal of Food Engineering, 102*, 287–292. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.08.025

Belščak–Cvitanović, A., Komes, D., Dujmović, M., Karlović, S., Biškić, M., Brnčić, M., & Ježek, D. (2015). Physical, Bioactive and Sensory Quality Parameters of Reduced Sugar Chocolates Formulated with Natural Sweeteners as Sucrose Alternatives. *Journal of Food Chemistry*, *167*, 61–70. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.064

Biliaderis, C. G., Khan, M. M., & Blank, G. (1992). Rheological and Sensory Properties of Yogurt from Skim Milk and Ultrafiltered Retentates. *International Dairy Journal*, *2*(5), 311–323. https://doi.org/10.1016/0958–6946(92)90035–K

Boziaris, I., Parlapani, F., & DeWitt, C. M. (2021). High Pressure Processing at Ultra–Low Temperatures: Inactivation of Foodborne Bacterial Pathogens and Quality Changes in Frozen Fish Fillets. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *74*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102811

Campanone, L., Salvadori, V., & Masheroni, R. (2001). Weight Loss During Freezing and Storage of Unpacked Foods. *Journal of Food Engineering, 47,* 69–79. https://doi.org/10.1016/S0260–8774(00)00101–1

Charalambous, G., & Doxastakis, G. (1989). Food Emulsifiers: Chemistry, Technology, Functional Properties and Applications. *Elsevier,* 549 pp. https://doi.org/10.1002/ adfm.202314408

Charpa Techcenter. (2565). Texture Analysis Application Areas. Retrieved 28 August 2023, from https://www.stablemicrosystems.com/TextureAnalysis Applications.html,

Clark, A. H., & Ross–Murphy, S. B. (1987). Structural and Mechanical Properties of Biopolymer Gels. *Biopolymers* (Vol. 83). Springer Berlin, Heidelberg.

Dai, J., Chen, J., Qi, J., Ding, M., Liu, W., Shao, T., Han, J., & Wang, G. (2020). Konjac Glucomannan from Amorphophallus Konjac Enhances Immunocompetence of the Cyclophosphamide–Induced Immunosuppressed Mice. *Food Science and Nutrition, 9*(2), 728–735. https://doi.org/10.1002/fsn3.2038

Da–Wen, S. (2014). High Pressure Processing: An overview. *Academic Press is an Imprint of Elsevies,* (pp.3–24). https://www.researchgate.net/publication /265379212_High-Pressure_Processing_of_Foods_An_Overview

Dea, S., Brecht, J. K., Nunes, M. C. N., & Baldwin, E. A. (2010). Quality of Fresh–Cut 'Kent' Mango Slices Prepared from Hot Water or Non–Hot Water–Treated Fruit. *Postharvest Biology and Technology, 56*(2), 171–180. https://doi.org /10.1016/j.postharvbio. 2010.01.007

Domínguez–Courtney, M. F., López–Malo, A., Palou, E., & Iménez–Munguía, M. T. (2015). Optimization of Mechanical Properties of Carboxymethyl Cellulose, Carrageenan and/or Xanthan Gum Gels as Alternatives of Gelatin Soft Gels Capsules. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, *2*(11), 3132–3140. https://doi.org/10.1021/acsomega.3c04072

Dorez, G., Ferry, L., Sonnier, R., Taguet, A., & Lopez–Cuesta, J. M. (2014). Effect of Cellulose, Hemicellulose and Lignin Contents on Pyrolysis and Combustion of Natural Fibers. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 107*, 323–331. https://doi.org/10. 1016/j.jaap.2014.03.017

Draget, K. I., Bræk, G. S., & Smidsrød, O. (1994). Alginic Acid Gels: The Effect of Alginate Chemical Composition and Molecular Weight. *Carbohydrate Polymers, 25*(1), 31–38. https://doi.org/10.1016/0144–8617(94)90159–7

Eskin, N., Henderson, H. M., & Toznsend, R. J. (1971). Browning Reaction in Foods. Academic Press. *Biochemistry of Foods* (pp.245–289).

Esuwan, Y., Lambangchan, P., Suthiruk, J., & Lichanporn, I. (2012). Effect of Carrageenan on Quality of Longkong Jelly. *Agricultural Science Journal, 43*(2), 485–488. https://doi.org/10.3390/md18010019

Fang, J., Jiang, F., Xu, X., Xiao, Q., Yang, Q., Chen, F., & Xiao, A. (2024). Gelation Melioration with Synergistic Interaction Between K–Carrageenan and Senna Tora Gum Mixed Gel. *Food Hydrocolloids, 149*(Complete). https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109574

Farkas, D. F., & Hoover, D. G. (2000). High Pressure Processing. *Journal of Food Science, 65*(8), 47–64. https://doi.org/10.1111/j.1750–3841.2000.tb00618.x

Ferstl, C. (2013). High Pressure Processing: Insights on Technology and Regulatory Requirements. *Journal of The National Food Laboratory, 10*, 1–6. https://www.academia.edu/30986916/food_for_thought_high_pressure_processing_insights_on_technology_and_regulatory_requirements_introduction_and_background

Figueroa, L. E., & Genovese, D. B. (2019). Fruit Jellies Enriched with Dietary Fiber: Development and Characterization of a Novel Functional Food Product. *LWT, 111*, 423–428. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.031

Gao, S., & Nishinari, K. (2004). Effect of Degree of Acetylation on Gelation of Konjac Glucomannan. *Biomacromolecules, 5*(1), 175–185. https://doi.org/10.1021/bm034302f

Gong, M., An, J., Lü, H., Wu, C., Li, Y., Cheng, J., & Bao, J. (2011). Effects of Denaturation and Amino Acid Modification on Fluorescence Spectrum and Hemagglutinating Activity of *Hericium Erinaceum* Lectin. *Journal of Acta Biochemical and Biophysical Sinical*, *36*(5), 343–350. https://doi.org/10.1093/abbs/36.5.343

Iida, S., Amano, E., & Nishio, T. (1993). A Rice (Oryza Sativa L.) Mutant Having a Low Content of Glutelin and a High Content of Pro–Lamine. *Journal of Theoretical and Applied Genetics*, *87*, 374–378. https://doi.org/10.1007/BF01184926

Jessie, U., Acosta, Ó., Churey, J. J., Padilla–Zakour, O. I., & Worobo, R. W. (2021). Evaluation of High–Pressure Processing (HPP) Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica,* and *Listeria monocytogenes* in Acid and

Acidified Juices and Beverages. *International Journal of Food Microbiology, 339*, 109034. https://doi.org/10.1016/j. ijfoodmicro.2020.109034

Jiang, S. T., & Lee, T. C. (2004). Freezing Seafood and Seafood Products: Principle and Application. *Food Science and Technology*, 245–294. Marcel Dekker, New York.

Jiang, Y., Zhang, C., Yuan, i., Wu, Y., Li, F., Li, D., & Huang, Q. (2019). Effects of Pectin Polydispersity on Zein/Pectin Composite Nanoparticles (ZAPs) as High Internal–Phase Pickering Emulsion Stabilizers. *Carbohydrate Polymers, 219*, 77–86. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.05.025

Jørgensen, T. E., Sletmoen, M., Draget, K. I., & Stokke, B. T. (2007). Influence of Olig Guluronates on Alginate Gelation, Kinetics, and Polymer Organization. *Biomacromolecules, 8*(8), 2388–2397. https://doi.org/10.1021/bm070208d

Kaya, A. O. W., Suryani, A., Santoso, J., & Ruslid, M. S. (2015). Effect of Gelling Agent Concentration on the Characteristic of Gel Produced from the Mixture of Semirefined Carrageenan and Glucomannan. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR), 20*(1), 313–324. https://www.gssrr.org/index.php/JournalOf BasicAndApplied/article/view/3451

Kennedy, C. J. (2000). Future trends in frozen foods. *Managing frozen foods*, 43. 263 pp. University of Leeds, England.

Khathir, R., R., Y., Agustina, R., & Putra, B. (2019). The Shelf–Life Prediction of Sweet Orange Based on Its Total Soluble Solid by Using Arrhenius and Q_{10} Approach. 1st *South Aceh International Conference on Engineering and Technology, 506*(012058). https://doi.org/10.1088/1757–899X/506/1/012058

Khin, M. N., Goff, H. D., Nsor–Atindana, J., Ahammed, S., Liu, F., & Zhong, F. (2021). Effect of Texture and Structure of Polysaccharide Hydrogels Containing Maltose on Release and Hydrolysis of Maltose During Digestion: In vitro Study. *Food Hydrocolloids, 112*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106326

King, A. H. (2019). Brown seaweed extracts (Alginates). *Food Hydrocolloids, 2,* 115. https://doi.org/10.1201/9780429290374

Kirk, R. E. (1995). Experimental design: Procedures for the behavioral sciences. *Brooks/Cole Publishing Company.*

Kohyama, K., Iida, H., Ochi, T., Ohashi, S., & Nishinari, K. (1994). Rheological Study on A Mixed System of Konjac Glucomannan and Carrageenan: Effects of Molecular Weight of Konjac Glucomannan. *Food Hydrocolloids (1),* 457–460. https://doi.org/10.1007/978–1–4615–2486–1_69

Kohyama, K., Sano, Y., & Doi, E. (1995). Rheological Characteristics and Gelation Mechanism of Tofu (Soybean Curd). *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 43*(7), 1808–1812. https://doi.org/10.1021/jf00055a011

Kraemer, S. (1924). Mohr's Method for the Determination of Silver and Halogens in Other Than Neutral Solutions. *Journal of the American Chemical Society 46*(12), 2707–2709. https://doi.org/10.1021/ja01677a014

Kreungngern, D., & Chaikham, P. (2016). Rheological Physical and Sensory Attributes of Chao Kuay Jelly Added with Gelling Agents. *International Food Research Journal, 23*(4), 1474–1478. http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20(04)%202016/(18).pdf

Langendorff, V., Cuvelier, G., Michon, C., Launay, B., Parker, A., & Kruif, C. G. D. (2000). Effects of Carrageenan Type on the Behavior of Carrageenan/Milk Mixtures. *Food Hydrocolloids, 14*(4), 273–280. https://doi.org/10.1016/S0268–005X(99)00064–8

Lau, M., Tang, J., & Paulson, A. (2000). Texture Profile and Turbidity of Gellan/Gelatin Mixed Gels. *Journal of Food Research International, 33*(8), 665–671. https://doi.org/10.1016/S0963–9969(00)00111–3

Lawless, H. T., & Heymann, H. (1998). Sensory evaluation of food: Principles and practices. *Springer Science and Business Media.* (596 pp.). Chapman & Hall; Press.

Li, l., Yang, S., Liu, L., Fu, H., & Ming, J. (2023). Variations of Bioactive Compounds, Physicochemical and Sensory Properties of *Rosa Roxburghii* Tratt Juice After High Pressure Processing. *LWT, 184,* 114932. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114932

Lina, B. A. R., D. Jonker, & G. Kozianowski. (2002). Isomaltulose (Palatinose®): A Review of Biological and Toxicological Studies. *Journal of Food and Chemical Toxicology, 40*(10), 1375–1381. https://doi.org/10.1016/s0278–6915(02)00105–9

Lou, X., Jin, Y., Tian, H., Yu, H., Chen, C., Hanna, M., Lin, Y., Yuan, L., Wang, J., & Xu, H. (2022). High–Pressure and Thermal Processing of Cloudy Hawthorn Berry (*Crataegus Pinnatifida*) Juice: Impact on Microbial Shelf–Life, Enzyme Activity and Quality–Related Attributes. *Food Chemistry, 372*, 131313. https://doi.org/10.1016/j. foodchem.2021.131313

Lyliam, C., Lopez–Pena, Julian, D., & Clements, M. (2014). Optimizing Delivery Systems for Cationic Biopolymers: Competitive Interactions of Cationic Polyline with Anionic K–Carrageenan and Pectin. *Food Chemistry, 153*(15), 9–14. https://doi.org/10. 1016/j.foodchem.2013.12.024

Lyu, M., Lyu, J., Wang, F., Xie, J., Bai, L., & Bi, J. (2023). Analysis of Gelation Properties of Peach–K–Carrageenan Gels: Effect of Erythritol. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fiber, 30,* 100385. https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2023.100385

Mallett, C. P. (1993). Frozen food technology. (339pp.) *Springer New York.*

Manabu, A., Roger, G., & Christoph, S. (2007). Priming Ditransitive Structures in Comprehension. *Journal of Cognitive Psychology*, *54*, 218–250. https://doi.org/10. 1016/j.cogpsych.2006.07.001

Mark, A. (2012). Understanding Polydextrose and How It Works. Food Processing. Retrieved 4 March 2023, from http://www.foodprocessing.com/articles /2012/understanding-polydextrose/

Martín, M. F. S., Barbosa–Cánovas, G. V., & Swanson, B. G. (2002). Food Processing by High Hydrostatic Pressure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 42,* 627–645. https://doi.org/10.1080/09168451.2017.1281723

Martinsen, A., Storrø, I., & Skjårk–Bræk, G. (1992). Alginate as Immobilization Material: III. Diffusional Properties. *Journal of Biotechnology and Bioengineering, 39*(2), 186–194. https://doi.org/10.1002/bit.260390210

Matignon, A., Moulina, G., Bareye, P., Desprairiese, M., Mauduite, S., Sieffermanna, J. M., & Michon, C. (2014). Starch/Carrageenan/Milk Proteins Interactions Studied

Using Multiple Staining and Confocal Laser Scanning Microscopy. *Journal of Carbohydrate Polymers, 99*(2), 345–355. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.002

McHugh, D. J. (2003). A Guide to the Seaweed Industry (Vol. 441). FAO Fisheries Technical Paper. Retrieved 4 March 2023, from https://marineagronomy.org/sites/default/files /McHugh%202003%20Guide%20to%20Seaweed%20Industry.pdf

Miller, G. (1959). Use of Dinitrisalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugars. *Journal of Analytical Chemistry, 31,* 426–429. https://doi.org/10.1016/j.biombioe. 2012.05.003

Mohamed, N. S. A., Kandeil, A. H., Ibrahim, A., Zubaidy, G., Kayali, A., & Mohamed, A. (2019). Emetic and Antigenic Characterization of Avian Influenza H_9N_2 Viruses During in Iraq. *Open Veterinary Journal, 9*(2), 164–171. https://doi.org/10.4314/ovj.v9i2.12

Navasearttavisootr, N., Suwonsichon, T., & Ritthiruangdej, P. (2002). Effect of Cassava Flour on Cassava Dessert Gel. Proceedings of the 40th Kasetsart University Annual Conference, Bangkok.

Neureiter, M., Danner, H., Thomasser, C., Saidi, B., & Braun, R. (2002). Dilute–Acid Hydrolysis of Sugarcane Bagasse at Varying Condition. *Applied Biochemistry and Biotechnology, 98*/100(1/3), 49–58 https://doi.org/10.1385/abab:98–100:1–9:49

Novelina, N., Nazir, N., & Adrian, R. (2016). The Improvement Lycopene Availability and Antioxidant Activities of Tomato (*Lycopersicum esculentum*, Mill) Jelly Drink. *Agriculture and Agricultural Science Procedia, 9*, 328–334. https://doi.org/10.1016/j. aaspro.2016.02.144

Nussinovitch, A. (1997). Texturized products. In *Hydrocolloid Applications* (pp. 328–338). Springer. https://doi.org/10.3390/app12178628

Panouillé, M., & Larreta–Garde, V. (2009). Gelation Behaviour of Gelatin and Alginate Mixtures. *Food hydrocolloids, 23*(4), 1074–1080. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.06.011

Peng, Y., Li, T., Jiang, H., Gu, Y., Chen, Q., Yang, C., Qi, W. l., Liu, S. q., & Zhang, X. (2020). Postharvest biochemical characteristics and ultrastructure of Coprinus comatus. *Peer–reviewed scientific mega journal, 12*(5), 8508. https://doi.org/10.7717/peerj.8508

Pennington, N. L., Baker, C. W., & Knecht, R. L. (1990). Properties of sugar. *Pakistan Journal of Nutrition, 10*(1), 46–65. https://doi.org/10.1002/0471238961.1618151603151215.a01. pub2

Pokhrel, P. R., Boulet, C., Yildiz, S., Sablani, S., Tang, J., & Barbosa–Cánovas, G. V. (2022). Effect of High Hydrostatic Pressure on Microbial Inactivation and Quality Changes in Carrot–Orange Juice Blends at Varying pH. *LWT, 159,* 113219. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113219

Priyanka, S., Inala, M. S. R., Nandini, H., Kutty, A., & Kiranmayee, P. (2018). A Pilot Study on Sun Protection Factor of Plant Extracts: An Observational Study. *Journal of Pharmaceutical and Clinical Research, 11*(4), 67–71. https://doi.org/10.22159/ ajpcr.2018.v11i4.23671

Ramakrishna, C., Talawar, S., Gurusiddaiah, S. H., & Ramasamy, R. (2015). Development of a Sugar Free, Nutra Rish Confectionery Jelly. *International Journal of Food and Nutritional Sciences, 4*(4), 148–155. https://doi.org/10.1515/opag–2021–0029

Raninen, K., Lappi, J., Mykkänen, H., & Poutanen, K. (2011). Dietary Fiber Type Reflects Physiological Functionality: Comparison of Grain Fiber, Inulin, and Polydextrose. *Journal of Nutrition Reviews, 69*(1), 9–21. https://doi.org/10.1111/j.1753–4887.2010.00358.x

Rao, V., & Agarwal, S. (1999). Role of Antioxidant Lycopene in Cancer and Heart Disease. *Journal of the American College of Nutrition, 19*(5), 563–569. https://doi.org/10. v1080/07315724.2000.10718953

Rattanapanone, N. (2002). Food chemistry. *Odeon Store Publisher*.

Rees, C. W. (1969). Molecular rearrangements (B. Capon & C. W. Rees, Eds.*). John Wiley & Sons Ltd*.

Sarker, B., Papageorgiou, D. G., Silva, R., Zehnder, T., Farhana, G. E. N., Bertmer, M., Kaschta, J., Chrissafis, K., Detscha, R., & Boccaccini, A. R. (2014). Fabrication of

Alginate–Gelatin Crosslinked Hydrogel Microcapsules and Evaluation of The Microstructure and Physico–Chemical Properties. *Journal of Materials Chemistry (11)*. https://doi.org/10.1039/C3TB21509A

Selimoglu, S. M., & Elibol, M. (2010). Alginate as an Immobilization Material for MAb Production Via Encapsulated Hybridoma Cells. *Critical Reviews in Biotechnology, 30*(2), 145–159. https://doi.org/10.3109/07388550903451652

Shamberger, R. J., Barbara, S. A., & Willis, C. E. (1997). Comparison of CO_2 Dynamics and Air–Sea Gas Exchange in Differing Tropical Reef Environments. *Aquatic Geochemistry, 19*(5–6), 371–397. https://doi.org/10.1007/s10498–013–9214–7

Siddiq, M., Sogi, D. S., & Dolan, K. D. (2013). Antioxidant Properties, Total Phenolics, and Quality of Fresh Cut 'Tommy Atkins' Mangoes as Affected by Different Pretreatments. *LWT–Food Science and Technology, 53*(1), 156–162. https://doi.org/10.1016/j.lwt. 2013.01.017

Sreedevi, P., Jayachandran, L. E., & Rao, P. S. (2021). Response Surface Optimization and Quality Prediction of High Pressure Processed Sugarcane Juice (*Saccharum officinarum*). *LWT, 152*, 112190. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112190

Srinivas, M. S., Madhu, B., Srinivas, G., & Jain, S. K. (2018). High Pressure Processing of Foods: A Review. *The He Andhra Agricultural Journal*, *65*(spl), 467–476. https://www. researchgate.net/publication/315668277

Stanley, N. F. (1995). Agars. In A. M. Stephen (Ed.), Food Polysaccharides and their Applications (pp. 187–204). *Marcel Dekker*, Inc.

Steffe, J. F. (1996). Rheological methods in foods process engineering east lansing. Freeman Press. Retrieved 4 March 2023, from https://oldversion.stu.edu.vn/uploads/ documents /030509-214140.pdf

Stojković, D., Reis, F. S., Barros, L., Glamočlija, J., Ćiri, A., Griensven, L. J. I. D. v., Soković, M., & Ferreira, I. C. F. R. (2013). Nutrients and Non–Nutrients Composition and Bioactivity of Wild and Cultivated Coprinus Comatus (O.F.Müll.) Pers. *Journal of Food Chemical Toxicol, 59,* 289–296. https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.06.017

Stowell, J. D. (2009). Polydextrose. In Fiber ingredients (pp. 187–218). CRC Press.

Sudhanshu, B. S., & Ramesh, R. C. (2016). Nutritional and Potential Health Benefits of Konjac Glucomannan, a Promising Polysaccharide of Elephant Foot Yam, Amorphophallus Konjac K. Koch: A review. *International Journal of Biological Macromolecules, 92,* 942–956. https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1137310

Swapnil, B., Paredes–Juarez, G., Niclou, S., & Paul, V. (2014). Factors Influencing the Mechanical Stability of Alginate Beads Applicable for Immunoisolation of Mammalian Cells. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 37,* 196–208.

Tatol., M. W. S. a. M. (2011). Color difference ΔE–A survey. *Machine Graphics and Vision, 20*(4), 383–411.

Teow, Y. H., Shah, M., Ho, K. C., & Mohammad, A. W. (2018). A Study on Membrane Technology for Surface Water Treatment: Synthesis, Characterization and Performance Test. *Membrane Water Treatment 9*(2). https://doi.org/10.12989/mwt. 2018.9.2.069

The Patent Office for Europe. (2024). Espacenet Patent search. Retrieved 4 March 2023, from https://www.epo.org/en/news–events/news/modernising–epos–online–services–myepo

Thomas, K. W. (1992). Conflict and Conflict Management: Reflections and Updates. *Journal of Organizational Behavior, 13,* 265–274. https://doi.org/10.1002/job.4030130307

Uprarawanna, U., Jaimun, R., & Kanha, N. (2021). Effects of Chitosan Concentrations in The Chitosan–Alginate Composite on the Quality Mulberry Caviar During Storage. *Journal of Food Health and Bioenvironmental Science, 14*(2), 34–46. https://doi.org/10.1002/ jbm.b.30610

Vasco, L., & Saraiva, J. A. (2023). Microbial Inactivation During Hyperbaric Storage of Food: Current Data, Impacting Factors and the Potential of a Novel Pasteurization Methodology. *Trends in Food Science and Technology, 139,* 114–126. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104126

Veena, N., Surendra, N., & Sumit, A. (2016). Polydextrose as a Functional Ingredient and Its Food Applications: A review. *Indian Journal of Dairy Science, 69*(3), 239–251. https://epubs.icar.org.in/index.php/IJDS/article/view/51101/pdf_208

Wichchukit, S., Oztop, M. H., McCarthy, M. J., & McCarthy, K. L. (2013). Whey Protein/Alginate Beads as Carriers of a Bioactive Component. *Journal of Food Hydrocolloids, 33,* 66–73. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.02.013

Williams, P. A., Phillips, G. O., & Stephen, A. M. (1995). Spectroscopic and Molecular Comparisons of Three Fractions from Acacia Senegal Gum. *Journal of Food Hydrocolloids, 4*(4), 305–311. https://doi.org/10.1016/S0268–005X(09)80207–5

Xiumin, F., Sihua, C., Yinyin, L., & Bingzhi, H. (2018). Comparative Analysis of Pigments in Red and Yellow Banana Fruit. *Food Chemistry, 239,* 1009–1018. https://doi.org/ 10.1016/j.foodchem.2017.07.046

Zhu, B., Dongzhuo, M., Wang, J., Zhang, J., & Zhang, S. (2016). Multi–Responsive Hydrogel Based on Lotus Root Starch. *International Journal of Biological Macromolecules, 89,* 599–604. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.05.029

Zou, W., Niu, H., Yi, J., & Zhou, L. (2024). Passion Fruit Juicing with or Without Seeds Treated by High–Pressure Processing and Thermal Pasteurization: Effects on The Storage Stability of Enzymes and Quality Properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies, 91*, 103554. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103554

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

คุณลักษณะจำเพาะของวัตถุดิบต่าง ๆ ในการผลิตเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร

1. พาลาทีน (Food additive Palatyne–S TM) จาก บริษัท อีทเวลล์ จำกัด

ที่อยู่ 302 อาคารเอส แอนด์ เอ ถนนสีลม แขวงสุริยวงศ์ เขตบางรัก กรุงเทพมานคร 10500, เบอร์โทรศัพท์ 086–369–5555

Eatwell Co., Ltd.

302 S&A Building, 8th Floor
Silom Road
Suriyawong, Bangrak
Bangkok 10500
THAILAND
Tel: 662-237-9999
Fax: 662-235-4444

Eatwell
For Good Health Everyday

Eatwell Co., Ltd.

Product specification (Issue Date 2022/08/31)

Product name	Food Additive Palatyne-S TM
Composition	Isomaltulose and Sucralose
Full chemical name of main ingredient	6-O-α-D-glucopyranosyl-D-fructofuranose and 4,1',6'-trichlorogalactosucrose
Appearance	White powder
Grade	Food
Sweetness	Twice of sucrose
Calories	4 kcal per gram
Chemical specification and others	
Ingredients (by weight)	99.75% Isomaltulose and 0.25% Sucralose
Moisture content	Not more than 0.99% (Oven method)
Arsenic	Not more than 1 mg/Kg
Lead	Not more than 1 mg/Kg
Packaging	20 kg/bag
Shelf life	Maximum 2 years in heat sealed packaging stored in cool and dry place
Application	

Sugar replacement

บริษัท อีทเวลล์ จำกัด

EATWELL COMPANY LIMITED

CERTIFICATE OF ANALYSIS

FOOD ADDITIVE PALATYNE-S™

Date Report	: 29/12/2022	Time	: 13.54
Customer Company	: Eatwell Co., Ltd		
Sample description	: FOOD ADDITIVE PALATYNE-S™		
Lot No.	: PS220519	Amount	: 500 g
Manufacturing Date	: 19/05/2022	Expriry Date	: 19/05/2024

NO.	PARAMETER	METHOD	SPECIFICATION	RESULT	UNIT
1	Isomaltulose Purity	HPLC (In house method)	≥ 97.7	99.75	% w/w (d.m.)
2	% Moisture	In house method based on AOAC (2008) 925.45	≤ 1	0.17	% w/w
3	*Arsenic (As)	In-house method TM-CH-108 based on AOAC (2016) 999.10	≤ 1	Not Detected	mg/kg
4	*Lead (Pb)	In-house method TM-CH-108 based on AOAC (2016) 999.10	≤ 1	Not Detected	mg/kg
5	*Mercury (Hg)	In-house method TM-CH-108 based on AOAC (2016) 999.10	≤ 0.02	Not Detected	mg/kg
6	Total Plate Count	FAD-BAM online, 2001 (Chapter 3)	≤ 100	< 10	CFU/g
7	Yeasts and Molds	FDA-BAM online, 2001 (Chapter 18)	≤ 10	< 10	CFU/g
8	*Bacillus cereus*	ISO 7932 : 2004	< 100	< 10	CFU/g
9	*Escherichia Coli*	FAD-BAM online, 2017 (Chapter 4)	< 3	< 3	MPN/g
10	*Coliform*	FAD-BAM online, 2017 (Chapter 4)	< 3	< 3	MPN/g
11	*Clostridium perfringens*	ISO 7932 : 2004	< 10	< 10	CFU/g
12	*Staphylococcus aureus*	ISO 6888-1 : 1999 / Amd 2 : 2018	< 100	< 10	CFU/g
13	*Salmonella spp.*	ISO 6579-1 : 2017	Not Detected	Not Detected	per 25 g
14	Aflatoxin	In-house method CH-002-TM based on AOAC (2016) 991.31	Not detected	Not detected	µg/kg
15	Antimicrobial	In-house method CH-117-TM based on modification of WATERS technical applicationno. 720005411EN	Not detected	Not detected	µg/kg

Signed ..... Analyst

Signed ..... Approve

Summary (✓) Pass ( ) Fail

Signed ..... Printed by

Remark *Report of Analysis No. 22-030080

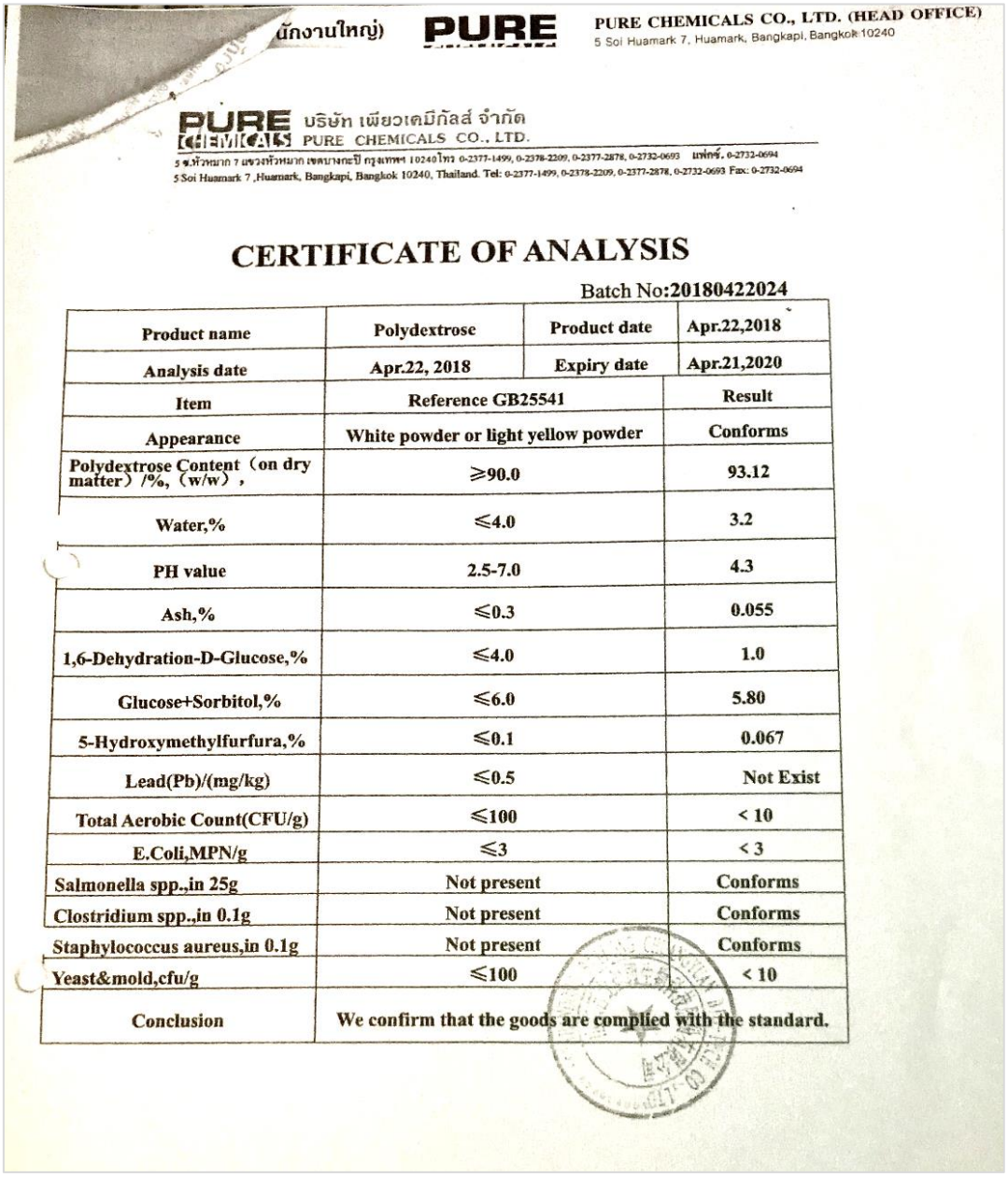
อาคารเอส แอนด์ เอ ชั้น 8 เลขที่ 302 ถนนสีลม แขวงสุริยวงศ์ เขตบางรัก กรุงเทพฯ 10500 โทร. 0-2237-9999 แฟกซ์ 0-2235-4444

S&A BUILDING, 8th FLOOR, 302 SILOM ROAD, SURIYAWONG, BANGRAK, BANGKOK 10500, THAILAND. TEL. (662) 235-4444

2. โพลีเดกส์โตรส (T–POL–DEX–001) จาก บริษัท เพียว เคมีกัลส์ จำกัด

ที่อยู่ 5 ซอยหัวหมาก 7 แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240,

เบอร์โทรศัพท์ 0–2732–0694



สำนักงานใหญ่) PURE PURE CHEMICALS CO., LTD. (HEAD OFFICE)
5 Soi Huamark 7, Huamark, Bangkapi, Bangkok 10240

PURE CHEMICALS บริษัท เพียวเคมีกัลส์ จำกัด
PURE CHEMICALS CO., LTD.
5 ซ.หัวหมาก 7 แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240 โทร 0-2377-1499, 0-2378-2209, 0-2377-2878, 0-2732-0693 แฟกซ์. 0-2732-0694
5 Soi Huamark 7 ,Huamark, Bangkapi, Bangkok 10240, Thailand. Tel: 0-2377-1499, 0-2378-2209, 0-2377-2878, 0-2732-0693 Fax: 0-2732-0694

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Batch No:20180422024

Product name	Polydextrose	Product date	Apr.22,2018
Analysis date	Apr.22, 2018	Expiry date	Apr.21,2020
Item	Reference GB25541		Result
Appearance	White powder or light yellow powder		Conforms
Polydextrose Content（on dry matter）/%,（w/w）,	≥90.0		93.12
Water,%	≤4.0		3.2
PH value	2.5-7.0		4.3
Ash,%	≤0.3		0.055
1,6-Dehydration-D-Glucose,%	≤4.0		1.0
Glucose+Sorbitol,%	≤6.0		5.80
5-Hydroxymethylfurfura,%	≤0.1		0.067
Lead(Pb)/(mg/kg)	≤0.5		Not Exist
Total Aerobic Count(CFU/g)	≤100		< 10
E.Coli,MPN/g	≤3		< 3
Salmonella spp.,in 25g	Not present		Conforms
Clostridium spp.,in 0.1g	Not present		Conforms
Staphylococcus aureus,in 0.1g	Not present		Conforms
Yeast&mold,cfu/g	≤100		< 10
Conclusion	We confirm that the goods are complied with the standard.		

3. คาร์ราจีแนน (Wahdabaker, Germany) จาก บริษัท เวชกิจ เคมีภัณฑ์ จำกัด

ที่อยู่ 238/1 ซอยพิชัยสงคราม 1 ถนนพิชัยรณรงค์สงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000, เบอร์โทรศัพท์ 0–5521–0520

Wendt-Chemie GmbH

Wahdabaker Ajfae 72. D-22041 Hamburg

LAB ANALYSIS

Powder Carragenan jelly powder	25 kg bag	986898	Production date : May 02,2018
Analysis based on lot / batch number:	3622692	200 BAGS	C.O.A. date : May. 03 ,2018

Appearance	Creamy powder
Purity	99.9% min.
Moisture	10.8% min.
Total Ash	2.25% min.
Acid Insoluble Ash(%)	0.1% max.
Acid Insoluble Matter(% by wt.)	0.4\8% max.
pH(1.5% solution at 60 °C)	7.7(7.0-9.0)
Gel strength water gel (1.5% gel 20°C)	735(700-900 g)
Gel strength salt gel (1.5% gel in 0.2% KCl 20°C)	980(900-1200 g)
Arsenic	01 PPM max.
Lead	10 PPM max.
Total Heavy Metal	20 PPM max.
T.V.C.(Total Viable Count)	2000/g max.
Yeast and Mould	200/g max.
Salmonella	Pass
E. coli	Pass
Storage	Stored at room temperature
Best before	May 01,2023

Properties and Uses : Used as emulsifying, stabilizing, flavor, fixing, gelling , thickening , film-forming, pharmaceutical, cosmetic and technical industries.

The Quality System of Wendt Chemie Company GmbH , CP Kelco Company Germany GmbH and CP Kelco ApS are certified against DIN EN ISO 9001.

Responsible for Quality Inspection:

K. John Mike, Wendt-Chemie Germany GmbH.

The information/data reported on this certificate applies to the lot/batch mentioned. Note that additional digits after the lot/batch number maybe included on the package. This number is for internal use only.

Product Specification and Test Methods as reflected in Product Information sheet and/or special Customer Requests.

Wendt Chemie Company GmbH

Wahdabaker Ajfae 72. D-22041 Hamburg Germany

tel: +48 40688481 fax: +48 40688420

สำเนาควบคุม

4. กลูโคแมนแนน (RP International Limited, China) จาก บริษัท กรุงเทพเคมี

ที่อยู่ 73 ถนนอยู่เย็น (รามอินทรา 34) แขวงลาดพร้าว เขตลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร 10230, เบอร์โทรศัพท์ 02–015–6262 , 093–038387

RP INTERNATIONAL Refined Chemicals

Certificate of Analysis

SUPPLIER: **RP INTERNATIONAL LIMITED**

PRODUCT: **KONJAC GUM(CONJAC GUM) FOOD GRADE FOR BEVERAGE**

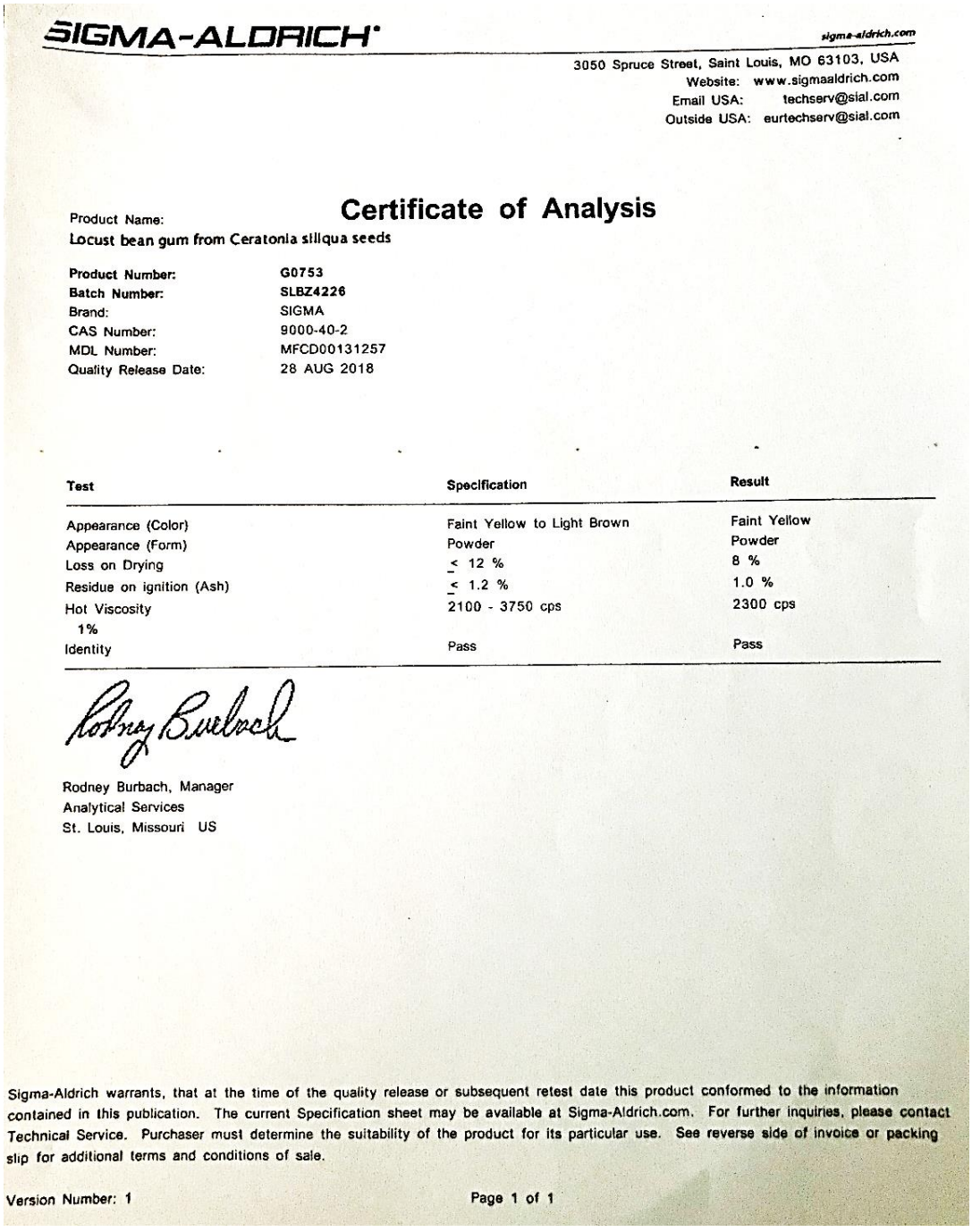
ITEM	STANDARD	RESULTS
CHARACTERS	OFF WHITE AND FREE FLOWING POWDER	OFF WHITE AND FREE FLOWING POWDER
VISCOSITY	25000CPS (1% AQUEOUS SOLUTIONS, 4HOURS, NDJ TYPE 12 TURN/MINUTE)	COMPLIES WITH THE TEST
PARTICLE SIZE	95% PASS 120MESH	COMPLIES WITH THE TEST
MOISTURE	≤9.5%	<9.5%
SULFITE(SO2)	≤0.5G/KG	≤0.3G/KG
ASH	≤2.0%	0.12%
KGM	⩾80%	89%
AS	≤2.0MG/KG	0.9MG/KG
PB	≤1.0MG/KG	0.4MG/KG
TOTAL PLATE COUNT	≤500 PCS/G	≤300 PCS/G
COLIFORM(MPN)	NEGATIVE	NEGATIVE
E.COLL(MPN)	NEGATIVE	NEGATIVE
COAG POS.STAPH	NEGATIVE	NEGATIVE
SALMONELLAE	NEGATIVE	NEGATIVE
YEAST AND MOLD	80/G	COMPLIES WITH THE TEST
PH VALUE 1% SOLUTION	6-8	COMPLIES WITH THE TEST

FINAL RESULT: THIS BATCH IS CONFORMING WITH THE STANDARD OF FOOD GRADE

INSPECTOR：潘丽华 QUALITY CONTROL SECTION：梅美芳

5. โลคัสบีนกัม (SIGMA, USA) จาก บริษัท ทีทีเค ซายเอนซ์ จำกัด

ที่อยู่ 2/280 หมู่ 1 ซอย 14 แจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210, เบอร์โทรศัพท์ 0–2990–7638



SIGMA-ALDRICH

sigma-aldrich.com

3050 Spruce Street, Saint Louis, MO 63103, USA
Website: www.sigmaaldrich.com
Email USA: techserv@sial.com
Outside USA: eurtechserv@sial.com

Certificate of Analysis

Product Name:
Locust bean gum from Ceratonia siliqua seeds

Product Number:	G0753
Batch Number:	SLBZ4226
Brand:	SIGMA
CAS Number:	9000-40-2
MDL Number:	MFCD00131257
Quality Release Date:	28 AUG 2018

Test	Specification	Result
Appearance (Color)	Faint Yellow to Light Brown	Faint Yellow
Appearance (Form)	Powder	Powder
Loss on Drying	≤ 12 %	8 %
Residue on ignition (Ash)	≤ 1.2 %	1.0 %
Hot Viscosity 1%	2100 - 3750 cps	2300 cps
Identity	Pass	Pass

Rodney Burbach, Manager
Analytical Services
St. Louis, Missouri US

Sigma-Aldrich warrants, that at the time of the quality release or subsequent retest date this product conformed to the information contained in this publication. The current Specification sheet may be available at Sigma-Aldrich.com. For further inquiries, please contact Technical Service. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

Version Number: 1

Page 1 of 1

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์

1. การวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Aqua Lab Inc., 2016)

วอเตอร์แอกทิวิตี คือ ปริมาณน้ำอิสระในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมอื่น ๆ ได้ เป็นค่าที่แสดงพลังงานของน้ำซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาเคมี รวมถึงเอ็นไซม์ นอกจากนี้ยังมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร โดยหลักการในการหาค่าดังกล่าวสามารถทำได้ด้วยการวัดสถานะของพลังงานของน้ำที่มีอยู่ในระบบ (อาหาร หรือผลิตผลทางการเกษตร เป็นต้น) หรืออาจหาได้จากอัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหาร (P) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (Po) ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน (หรือ aw = P/Po) หรือวัดได้จากความชื้นสัมพัทธ์เหนืออาหารในสภาวะสมดุล (Equilibrium relative humidity: ERH) หารด้วย 100 (หรือ aw = ERH/100) โดยค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมีค่าตั้งแต่ 0–1

การเตรียมตัวอย่าง

1. ใช้ช้อนสแตนเลดสับตัวอย่างเป็นชิ้นเล็ก
2. นำตัวอย่างที่สับไปชั่ง 2 กรัม ใส่ภาชนะบรรจุสำหรับตรวจวัด

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่า aw รุ่น Model Series 3TE ยี่ห้อ Aqua lab บริษัทจาร์พา เท็คเซ็นเตอร์ จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. ภาชนะบรรจุสำหรับใส่ตัวอย่าง

สารเคมี

–

วิธีการ

1. เสียบปลั๊ก กดปุ่มเปิดใช้งานด้านหลังเครื่อง โดยเปิดทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที ก่อนใช้งาน
2. ตักตัวอย่างใส่ลงในภาชนะบรรจุสำหรับใส่ตัวอย่าง ปริมาณ 2 กรัม เกลี่ยตัวอย่างให้ทั่ว
3. หมุนดึงบริเวณใส่ตัวอย่างของเครื่องวัดค่า a_w ออก นำตัวอย่างที่ใส่อยู่ในภาชนะบรรจุสำหรับใส่ตัวอย่างวางลงไปบริเวณดังกล่าว แล้วจึงเลื่อนปิดบริเวณใส่ตัวอย่าง ระวังอย่าให้ตัวอย่างหก

4. หมุนปุ่มที่อยู่บริเวณที่ใส่ตัวอย่างจากตำแหน่ง OPEN/LOAD ไปยังตำแหน่ง READ จากนั้นเครื่องจะเริ่มทำการวัดค่า a_w ของตัวอย่าง

5. เมื่อเครื่องเริ่มทำการวัดค่า a_w จะมีสัญญาณเตือน 1 ครั้ง

6. เมื่อเครื่องทำการวัดค่า a_w เสร็จเรียบร้อย จะมีเสียงสัญญาณเตือน

7. เครื่องจะแสดงผลของค่า a_w ที่อ่านได้ ที่หน้าจอ LCD ของเครื่อง พร้อมอุณหภูมิของตัวอย่าง ทั้งนี้จะใช้ระยะเวลาในการวัดอยู่ในช่วง 30–60 นาที ต่อตัวอย่าง (ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง)

8. อ่านค่าแล้วจดบันทึกผล

9. หมุนปุ่มที่อยู่บริเวณที่ใส่ตัวอย่างจากตำแหน่ง READ ไปยังตำแหน่ง OPEN/LOAD นำภาชนะบรรจุสำหรับใส่ตัวอย่างออกจากบริเวณที่ใส่ตัวอย่าง

10. เมื่อเสร็จสิ้นการใช้งานทำความสะอาด โดยใช้แปรงขนอ่อนปัดเบา ๆ บริเวณที่ใส่ตัวอย่าง เลื่อนปิดบริเวณสำหรับใส่ตัวอย่าง 11. กดปุ่มปิด ด้านหลังเครื่อง จากนั้นถอดปลั๊กออก

2. การวัดค่าเนื้อสัมผัส

ความแข็ง (Hardness) คือ แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดครั้งแรก หน่วยเป็นแรง เช่น นิวตัน (N) และ g.force ความยืดหยุ่น (Springiness) เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการคืนตัวของตัวอย่างหลังการเสียรูปจากการ กดครั้งแรก (เดิมเรียกว่า elasticity) นิยมอธิบายในรูปของอัตราส่วนของระยะเวลา หรือระยะทางที่วัสดุเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่างที่วัดได้จากการกดถึงแรงสูงสุดครั้งที่สองต่อค่าดังกล่าวของตัวอย่างที่วัดได้จากการกดครั้งแรก

การเตรียมตัวอย่าง

1. เทตัวอย่างออกจากซอง
2. วางตัวอย่างบนฐานของเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) รุ่น TA.XT.Plus บริษัท Stable Micro Systems Ltd. ประเทศอังกฤษ
2. เครื่องประมวลผล พร้อมโปรแกรม Texture Exponent 32
3. หัววัดทรงกระบอก (Cylinder probe: P/6)
4. หัววัดทรงกระบอก (Cylinder probe: P/36R)

สารเคมี

–

วิธีการ

1. ประกอบชุดอุปกรณ์วัดค่าเนื้อสัมผัส โดยนำหัววัดทรงกระบอก (Cylinder probe: P/6) สำหรับวัดค่าความแข็ง ประกอบเข้ากับเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส กรณีวัดค่าความยืดหยุ่น ให้ใช้หัววัดทรงกระบอก (Cylinder probe: P/36R) แทน

2. เสียบปลั๊กเครื่องสำรองไฟ เครื่องประมวลผล และเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส กดปุ่มเปิดเครื่องประมวลผล และเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส

3. เข้าโปรแกรม Texture Exponent 32 จะปรากฏหน้าต่างของโปรแกรม

4. การเทียบมาตรฐาน (Calibration) เครื่องก่อนการใช้งาน

4.1 เลือก Graph V Texture เลือก File Manu เลือก New project เลือกโหมดการวัดค่าในผักและผลไม้ เลือกหัววัดทรงกระบอก (Cylinder probe: P/36R หรือ P/6)

4.2 ทำการปรับมาตรฐานเครื่อง โดยเลือก Calibrate Force เลือก Next พิมพ์น้ำหนักลูกตุ้มที่ใช้ 1000 กรัม จากนั้น วางลูกตุ้มน้ำหนักบนเครื่องวัดเนื้อสัมผัส กด Next กำหนด Calibrate height ความสูงของตัวอย่าง 5 เซนติเมตร (ต้องกำหนดค่าให้มีความสูงกว่าตัวอย่างจริงอย่างน้อย 3 เซนติเมตร เพื่อป้องกันหัว Probe ชนฐานวางตัวอย่างขณะวัดค่า) กำหนดระยะทาง และเวลาที่ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที วางไม้บรรทัดบนฐานของเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส เลือก Run a Test เพื่อทดสอบการวัดค่า (โดยให้หัว Probe มาสัมผัสพอดีกับไม้บรรทัด) เมื่อเสร็จสิ้นเลือก Finish

5. การวัดค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความหยืดหยุ่น (Springiness)

5.1 วางตัวอย่างบนฐานของเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส เลือก Run micro

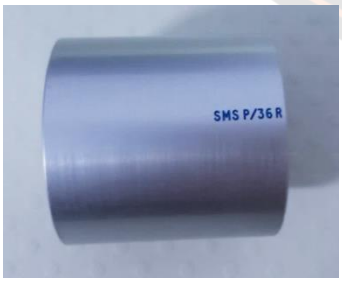
5.2 เครื่องจะอ่านค่าความ และค่าความหยืดหยุ่นบันทึกค่าที่ได้

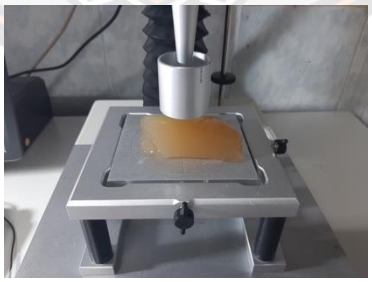
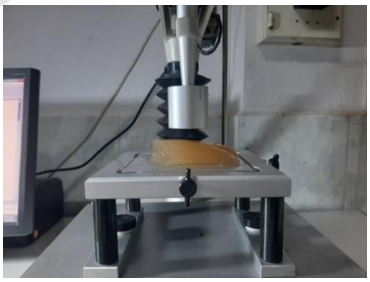
5.3 นำตัวอย่างออก แล้วทำการเปลี่ยนตัวอย่าง โดยวัดค่าซ้ำ 5 ตัวอย่าง แต่ละสิ่งทดลอง

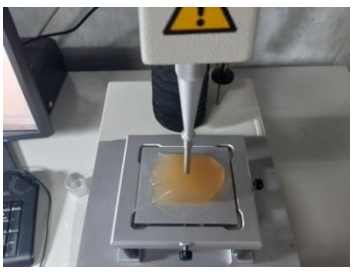
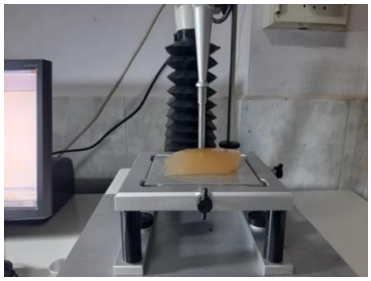
5.4 เมื่อทดสอบเสร็จสิ้น เลือก Record Macro เลือก Graph ทั้งหมด Run Macro เพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้ และบันทึกผล

6. หลังการวัดค่าเสร็จสิ้น เลือก Close program ที่มุมบนของหน้าจอ เลือก Start เลือก Shut down ปิดปุ่มเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส ถอดปลั๊กเครื่องประมวลผล เครื่องสำรองไฟ และเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัสออก

7. ทำความสะอาดเครื่องโดยใช้แปรงขนอ่อนปัดที่ฐานของเครื่อง ถอดชุดอุปกรณ์วัดค่าเนื้อสัมผัส หัววัดทรงกระบอกออก เช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 70 แล้วจึงจัดเก็บอุปกรณ์ให้เหมือนเดิม

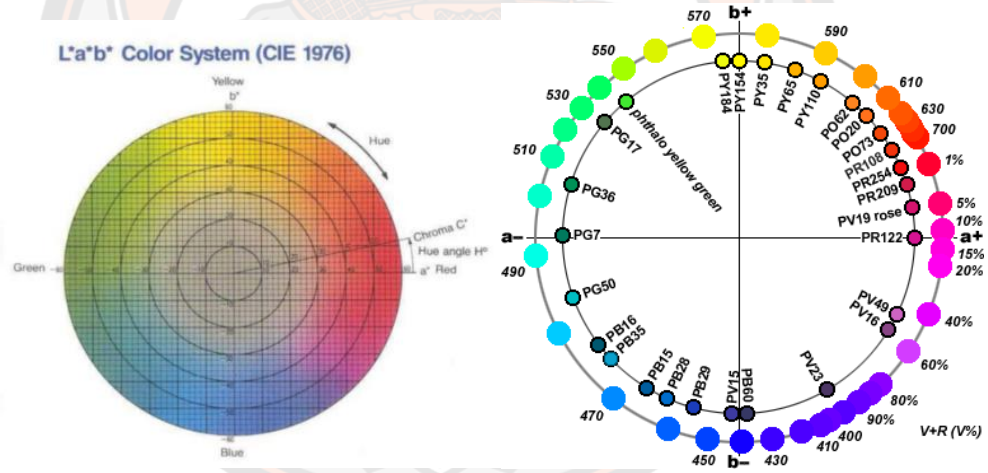


3. การวัดค่าสี (Hunter Associates Laboratory Inc., 2016)

การวัดค่าสีในระบบ Hunter Lab โดยค่า L* (Luminance) เป็นค่าสีดำและสีขาว (Black/White) มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 ค่า a* เป็นค่าสีเขียวและสีแดง (Greenness/Redness) มีค่าอยู่ในช่วง –60 ถึง 60 และค่า b* (Blueness /Yellowness) เป็นค่าสีน้ำเงินและสีเหลือง มีค่าอยู่ในช่วง –60 ถึง 60 (Hunter Associates Laboratory Inc., 2016) ส่วนค่า C* (Chroma) เป็นค่าความเข้มของสี และค่า *h*° (hue) เป็นค่ามุมของสี (Donald, 1992) ซึ่งระบบค่า C* และค่า *h*° นี้พัฒนาขึ้นโดยแปลงค่า a* และ ค่า b* ในระบบ CIE L*a*b* ให้แสดงค่าในรูปของค่าความเข้มของสี (Chroma, C*) และค่ามุมของสี (hue angle, *h*°) ซึ่งมีหน่วยเป็นองศาโดย 0° = สีแดง 90° = เหลือง 180° = สีเขียว และ 270° = สีน้ำเงิน ซึ่งเป็นค่าที่รับรู้โดยทั่วไป โดยค่า L* ยังเป็นค่าเดิมจากระบบ CIE L* a* b* ดังแสดงในภาพผนวกที่ 1



ภาพผนวกที่ 1 Hue sequence และ Hue angle ในแผนผังของ CIE L*a*b*

C* (chroma) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความอิ่มตัวของสี มีค่าอยู่ในช่วง 0–60 โดยหากมีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง วัตถุมีสีซีดจาง (เทา) แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึง วัตถุมีสีเข้ม ค่า *h* หรือ Hue angle (*h*°) เป็นค่าเฉดสี ที่แสดงสีที่แท้จริงของวัตถุ ซึ่งเป็นมุมในการตกกระทบของค่า a* ที่มาจากสูตรการคำนวณ ค่าที่ได้จะเป็นค่ามุม หน่วยเป็นองศา อยู่ระหว่าง 0–360 องศา โดยช่วงสีของวัตถุที่ค่า *h* คือ

0–45 องศา แสดงสีม่วงแดงถึงส้มแดง 180–225 องศา แสดงสีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว

45–90 องศา แสดงสีส้มแดงถึงเหลือง 225–270 องศา แสดงสีน้ำเงินเขียวถึงน้ำเงิน

90–135 องศา แสดงสีเหลืองถึงเขียว 270–315 องศา แสดงสีน้ำเงินถึงม่วง

135–180 องศา แสดงสีเหลืองเขียวถึงเขียว 315–360 องศา แสดงสีม่วงถึงม่วงแดง

การเตรียมตัวอย่าง

1. ใช้ช้อนสแตนเลดบดตัวอย่างให้ละเอียด

2. นำตัวอย่างที่บดละเอียดไปชั่ง 10 กรัม ใส่ภาชนะบรรจุสำหรับตรวจวัด

อุปกรณ์

1. เครื่องประมวลผล พร้อมโปรแกรม Universal software version 4.10

2. เครื่องวัดค่าสี (Hunter Lab) รุ่น Hunter Lab Colorflex 4510 ยี่ห้อ Colorflex® บริษัท Hunter Association Laboratory, Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา

3. ภาชนะใส่สำหรับใส่ตัวอย่าง

สารเคมี

–

วิธีการ

1. เสียบปลั๊กเครื่องประมวลผล และเครื่องวัดค่าสี กดปุ่มเปิดเครื่องประมวลผล และเครื่องวัดค่าสี

2. เลือก Start เลือก โปรแกรม Universal software version 4.10 จะปรากฏหน้าต่างโปรแกรม

3. การเทียบมาตรฐาน (Calibration) เครื่องก่อนการใช้งาน

3.1 เลือกปุ่ม Read stadardize จะปรากฏหน้าต่าง ColorFlex 45/0 (cx 1464)

3.2 เลือก Standardize จะขึ้นหน้าต่าง Standardization: colorfiex 45/0 เลือก OK

3.3 จะปรากฏหน้าต่าง Please place the black glass at the reflectance port นำแผ่นแก้วสีดำใส่ลงไปในช่องวิเคราะห์ค่าสี เลือก OK

3.4 จะปรากฏหน้าต่าง Please place the white glass at the reflectance port นำแผ่นแก้วสีขาวใส่ลงไปในช่องวิเคราะห์ค่าสี เลือก OK

4. การวัดค่า L* a* b*

4.1 เลือก Active view เลือกโหมด L* a* b*

4.2 นำภาชนะบรรจุตัวอย่างวางบน Port ของเครื่องวัดค่าสี ปิดฝาคอบ เลือก Read sample บนหน้าจอแสดงผล

4.3 หมุนภาชนะบรรจุตัวอย่าง 1 ครั้ง เลือก Read sample บนหน้าจอแสดงผล จนครบ 10 ครั้ง บันทึกผล

5. การวัดค่า C* และ *h*°

5.1 เลือก Active view เลือกโหมด C* และ *h*°

5.2 จะปรากฏหน้าต่างแสดงผลค่า C* และ *h*° บนหน้าจอแสดงผล บันทึกผล

6. หลังการวัดค่าเสร็จสิ้น เลือก Close program ที่มุมบนของหน้าจอ เลือก Start เลือก Shut down

7. ทำความสะอาดเครื่อง โดยใช้แปรงขนอ่อนปัดบริเวณ Port ของเครื่องวัดค่าสี ถอดปลั๊กออก นำตัวอย่างออกจากภาชนะบรรจุตัวอย่าง แล้วนำภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างไปล้างทำความสะอาด เช็ดทำความสะอาด แล้วจัดเก็บอุปกรณ์ให้เหมือนเดิม

8. การอ่านค่าสี

8.1 ค่า L* สีดำ–สีขาว (0–100)

8.2 ค่า a* สีแดง–สีเขียว (–60–60)

8.3 ค่า b* สีเหลือง–สีน้ำ (–60–60)

8.4 ค่า C* (chroma) ความอิ่มตัวของสี (0–60)

ค่าเข้าใกล้ 0 วัตถุมีสีซีดจาง (เทา) ค่าเข้าใกล้ 60 วัตถุมีสีเข้ม

8.5 ค่า *h* หรือ Hue angle (*h*°) เป็นค่าเฉดสี

0–45 องศา สีม่วงแดงถึงส้มแดง	45–90 องศา สีส้มแดงถึงเหลือง
90–135 องศา สีเหลืองถึงเขียว	135–180 องศา สีเหลืองเขียวถึงเขียว
180–225 องศา สีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว	225–270 องศา สีน้ำเงินเขียวถึงน้ำเงิน
270–315 องศา สีน้ำเงินถึงม่วง	315–360 องศา สีม่วงถึงม่วงแดง

4. การวัดค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) (AOAC., 2019)

ค่าความเป็นกรด–ด่าง คือ การวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ที่เกิดจากการแตกตัวของกรดในสารละลาย เช่น น้ำ แล้วให้ประจุบวกไฮโดรเจนไอออน (H+) ซึ่งถ้าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนบวกสูงแสดงถึงความเป็นกรดสูง (ค่าความเป็นกรด–ด่างต่ำ) โดยปกติมักใช้เครื่องวัด ค่าความเป็นกรด–ด่าง หรือพีเอชมิเตอร์ (pH meter) ในการวัดค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ทั้งนี้พีเอชมิเตอร์ เป็นเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ อิเล็กโทรด (Electrode) และเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้า (Volt meter) โดยเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าของพีเอชมิเตอร์ จะทำหน้าที่แปลงค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ให้เป็นค่าความเป็นกรด–ด่าง

การเตรียมตัวอย่าง

1. ใช้ช้อนตักตัวอย่าง 20 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. นำไปปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผสม (Blender) นาน 1 นาที

อุปกรณ์

1. เครื่อง pH–meter รุ่น PB–10 ยี่ห้อ Sartorius บริษัทไซแอนติฟิคโปรโมชั่น จำกัด, เยอรมนี
2. บีกเกอร์
3. ช้อนตัก
4. เครื่องปั่นผสม
5. เครื่องชั่ง

สารเคมี

1. สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4 7 และ 10
2. น้ำกลั่น

วิธีการ

1. เสียบปลั๊กเครื่อง pH–meter ถอดกระเปราะที่บริเวณหัวอิเล็กโทรดออก ทำการเทียบค่ามาตรฐาน (Calibration) ก่อนทำการวัดค่าของตัวอย่าง โดยจุ่มหัวอิเล็กโทรดลงในสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4 7 และ 10 (ล้าง Probe ด้วยน้ำกลั่น และซับให้แห้งด้วยกระดาษทิชชูทุกครั้ง หลังการจุ่มในสารละลายบัฟเฟอร์)

2. นำของเหลวที่ได้ไปตรวจวัดค่าความเป็นกรด–ด่าง โดยจุ่มหัวอิเล็กโทรดลงในตัวอย่างที่เตรียมไว้ และอ่านค่าที่ได้บนหน้าจอ LCD บันทึกผล (ล้างหัวอิเล็กโทรดทุกครั้งที่เปลี่ยนตัวอย่าง

และซับให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู) เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้น ให้ฉีดล้างทำความสะอาดหัวอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่น ซับให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู แล้วนำกระเปราะปิดหัวอิเล็กโทรดไว้เช่นเดิม ถอดปลั๊กเครื่อง pH–meter ออก

5. การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด สามารถวัดได้โดย Hand refractometer ซึ่งเป็นการวัดดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งสู่อีกตัวกลางหนึ่ง เช่น จากอากาศสู่น้ำ หรือจากน้ำสู่คริสตัล เป็นผลให้มุม และความเร็วของแสงแตกต่างกัน สารละลายที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันเมื่อแสงส่องผ่านจะเกิดการหักเห และทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน ซึ่งถ้ามีการหักเหของแสงมาก แสดงถึงของแข็งที่ละลายได้ในน้ำมีปริมาณสูง

การเตรียมตัวอย่าง

1. นำตัวอย่าง 20 กรัม ไปปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม (Blender) นาน 1 นาที
2. จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางเอาแต่น้ำออกมาประมาณ 5 มิลลิลิตร

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (0–32 °Brix) รุ่น 237 3–E04 ยี่ห้อ ATAGO บริษัท ATAGO CO., LTD. ประเทศญี่ปุ่น

สารเคมี

1. น้ำกลั่น

วิธีการ

1. ปรับค่ามาตรฐานโดยใช้น้ำกลั่นวัด ให้ค่าอยู่ที่ศูนย์
2. นำของเหลวที่กรองได้ หยดลงบนแผ่นปริซึม ซึ่งเป็นบริเวณที่ใช้หยดสารละลายตัวอย่างของเครื่อง Hand refractometer สารละลายที่หยดไม่ควรมีฟองอากาศปน เพราะจะส่งผลต่อการหักเหแสง ปิดด้วยแผ่นปิด แล้วส่องมองผ่านช่องในที่ที่มีแสง จะมองเห็นเป็นแถบสี ที่อ่านค่าตัวเลขได้ตามสเกล ที่เครื่องกำหนดไว้ อ่านค่าที่ได้ จากนั้นใช้น้ำกลั่นล้างทำความสะอาด และใช้ผ้านุ่ม ๆ หรือกระดาษชำระที่เนื้ออ่อนนุ่มซับเบา ๆ ให้แห้งก่อนการนำมาทำการวัดทุกครั้ง
3. อ่านค่าและจะบันทึก
4. เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบใช้นำกลั่นล้างทำความสะอาดใช้ผ้านุ่ม ๆ หรือกระดาษชำระที่เนื้ออ่อนนุ่มซับเบา ๆ ให้แห้งก่อนจัดเก็บ

6. การวัดค่าการขับน้ำออกจากเจล (% Syneresis) (Banerjee and Bhattacharya, 2011)

ซิเนอรีซิส (Syneresis) เป็นการหดตัวของอาหารประเภทเจลเมื่อตั้งทิ้งไว้ เนื่องจากมีของเหลวบางส่วนไหลออกมาจากเจลหรืออาจเกิดขึ้นจากการแข็งตัวของน้ำนม เช่น การเกิดซิเนอรีซิสของโยเกิร์ต วุ้น และสังขยา เป็นต้น (นิธิยา และ พิมพ์เพ็ญ, 2562)

ค่าขับน้ำออกจากเจล (ร้อยละ) = [(m1–m2)/m1] ×100 (1)

m1 คือ น้ำหนักหลอดและตัวอย่างก่อนเหวี่ยง

m2 คือ น้ำหนักหลอดและตัวอย่างหลังเหวี่ยง

การเตรียมตัวอย่าง

1. ใช้ช้อนสแตนเลดสับตัวอย่างเป็นชิ้นเล็ก
2. บรรจุตัวอย่างที่สับปริมาตร 18 กรัม. ลงใน Centrifuge tube ขนาด 30 มิลลิลิตร

อุปกรณ์

1. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)
2. Centrifuge tube ขนาด 30 มิลลิลิตร

สารเคมี

–

วิธีการ

1. บรรจุสารละลายเจลปริมาตร 18 กรัม ลงใน Centrifuge tube ขนาด 30 มิลลิลิตร แล้วจึงชั่งน้ำหนัก (m1) เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
2. นำตัวอย่างไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ด้วยความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
3. เทของเหลวใสที่อยู่ด้านบนออก แล้วชั่งน้ำหนักเจล (m2)
4. วิเคราะห์ค่าขับน้ำออกจากเจล (ร้อยละ) = [(m1–m2)/m1] x 100
5. จดบันทึกผล

7. การตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมด (APHA, 2001)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ลงในถุง Stomacher เติมสารละลายเปปโตนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร นำไปตีผสม เป็นเวลานาน 60 วินาที ในเครื่องตีผสม (Stomacher)

2. ทำการเจือจางตัวอย่างจนถึงระดับความเจือจางที่ 10^{-3}

3. นำระดับความเจือจางที่ 10^{-1} 10^{-2} และที่ 10^{-3} มาถ่ายตัวอย่าง (แต่ละความเจือจาง) ลงในจานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว 2 จาน ๆ ละ 1 มิลลิลิตร

4. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA หลอมเหลว อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อที่มีตัวอย่างจานละประมาณ 15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยการหมุนจาน รอจนวุ้นแข็งตัว

5. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (คว่ำจาน)

6. นับโคโลนีที่ได้จากแต่ละจานเพาะเชื้อ หาค่าเฉลี่ย และคำนวณค่า CFU/g

7. นำค่า CFU/g ที่ได้มาคำนวณเป็นค่า log CFU/g เพื่อรายงานผล

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในปฏิบัติการ มีส่วนผสมใน 1 ลิตร และมีวิธีเตรียมดังต่อไปนี้

1. 0.1% Peptone water

- Peptone 1.0 กรัม
- Distilled water 1.0 ลิตร

วิธีเตรียม

ละลายเปปโตน 1 กรัมในน้ำกลั่น ปรับพีเอชเป็น 7.1 ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

2. Plate count agar (PCA)

- Tryptone 5.0 กรัม
- Yeast extract 2.5 กรัม
- D–glucose 1.0 กรัม
- Agar 15.0 กรัม
- Distilled water 1.0 ลิตร (pH 7.0±0.2)

วิธีเตรียม

ละลายส่วนผสมในน้ำกลั่น ต้มจนวุ้นละลาย ปรับพีเอชเป็น 7.0 ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

8. การตรวจนับจำนวนเชื้อยีสต์และรา (APHA, 2001)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ลงในถุง Stomacher เติมสารละลายเปปโตนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร นำไปตีผสม เป็นเวลานาน 60 วินาที ในเครื่องตีผสม (Stomacher)

2. ทำการเจือจางตัวอย่างจนถึงระดับความเจือจางที่ 10^{-3}

3. นำสารละลายระดับความเจือจางที 10^{-1} 10^{-2} และที่ 10^{-3} มาถ่ายลงในจานอาหาร DRBC agar จำนวน 2 จาน ๆ ละ 0.1 มิลลิลิตร

4. ใช้แท่งแก้ว (Spreader) เกลี่ยตัวอย่างให้ทั่วบริเวณผิวหน้าอาหาร รอจนเห็นว่าตัวอย่างบนผิวหน้าอาหารแห้ง (ประมาณ 15 นาที)

5. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (ไม่คว่ำจาน)

6. นับโคโลนีที่ได้จากแต่ละจานเพาะเชื้อ หาค่าเฉลี่ย และคำนวณค่า CFU/g

7. นำค่า CFU/g ที่ได้มาคำนวณเป็นค่า log CFU/g เพื่อรายงานผล

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในปฏิบัติการ มีส่วนผสมใน 1 ลิตร และมีวิธีเตรียมดังต่อไปนี้

1. Dichloran rose bengal chloramphenicol (DRBC) agar

– Glucose	10.0 กรัม
– Peptone	5.0 กรัม
– Potassium phosphate, monobasic	1.0 กรัม
– Magnesium sulfate heptahydrate	0.5 กรัม
– Rose bangal (5% soln., w/v)	0.5 มิลลิกรัม
– Chloramphenicol	0.1 กรัม
– Dichloran solution (2,6–dichloro–4–nitroaniline) (0.2% (w/v) in ethanol)	1.0 มิลลิกรัม
– Agar	15.0 กรัม
– Distilled water	1.0 ลิตร (pH 5.6)

วิธีเตรียม

ละลายส่วนผสมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น ปรับพีเอชสุดท้ายเป็น 5.6 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วนำมาพอร์เพลท

9. การตรวจเชื้อ *Escherichia coli* (APHA, 2001)

1. การตรวจหาปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มในอาหารด้วยอาหาร EC broth

วิธีการ

1. นำตัวอย่างที่ทำให้ละเอียดแล้ว น้ำหนัก 25 กรัม เติมสารละลาย 0.1% Peptone water ปริมาตร 225 มิลลิลิตร นำไปตีผสมเป็นเวลา 1 นาที ด้วยเครื่องตีผสม (Stomacher)

2. ทำการเจือจางตัวอย่างจนถึงระดับความเจือจางที่ 10^{-3}

3. ปิเปตสารแขวนลอย (Suspension) จากระดับความเจือจางที่ 10^{-1} 10^{-2} และที่ 10^{-3} ถ่ายลงในหลอดอาหาร LST broth จำนวน 3 หลอด ๆ ละ 1 มิลลิลิตร ในแต่ละระดับความเจือจาง (รวม 9 หลอด)

4. บ่มหลอด LST broth ที่มีตัวอย่าง ในตู้บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24–48 ชั่วโมง

5. ใช้ห่วงเขี่ยเชื้อถ่ายเชื้อจากหลอด LST broth ผลบวก ลงในหลอดอาหาร EC broth ทำเช่นเดียวกันจนครบทุกหลอดผลบวก

6. บ่มหลอด EC broth ที่อุณหภูมิ 45.5±0.2 องศาเซลเซียส นาน 24–48 ชั่วโมง ถ้าหากหลอดที่อ่านเป็น ผลบวก อาหารเลี้ยงเชื้อจะขุ่น และมีที่ว่างในหลอดดักก๊าซมากกว่า 1 ใน 10 ของปริมาตรหลอดดักก๊าซ

7. นำหลอด EC broth ที่ให้ผลบวกในแต่ละหลอดมาขีดแยกเชื้อลงบนจานอาหารแข็ง EMB agar บ่มจานเพาะเชื้อที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18–24 ชั่วโมง

8. เลือกโคโลนีที่มีลักษณะเฉพาะของ *E. coli* บนจานอาหาร EMB agar (โคโลนีแบน ไม่เยิ้ม มีจุดสีเข้ม มีเงาโลหะ)

9. นำค่าจำนวนหลอด EC broth ที่ให้ผลบวกจากทุกความเจือจางไปอ่านค่าปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มจากตาราง MPN จะได้ค่า MPN ของฟีคัลโคลิฟอร์มต่อตัวอย่าง 1 กรัม

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในปฏิบัติการ มีส่วนผสมใน 1 ลิตร และมีวิธีเตรียมดังต่อไปนี้

1. Lauryl sulphate trytose (LST) broth

– Tryptone หรือ Trypticase	20.0 กรัม
– Potassium dihydrogen phosphate	2.75 กรัม
– Dipotassium hydrogen phosphate	2.75 กรัม

– Sodium chloride	5.0 กรัม
– Lactose	5.0 กรัม
– Sodium lauryl sulphate	0.1 กรัม
– Distilled water	1.0 ลิตร (pH 6.8±0.2)

วิธีเตรียม

ละลายส่วนผสมด้วยน้ำกลั่น ปรับพีเอชเป็น 6.8 ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น บรรจุหลอดแก้วขนาด 16x150 มิลลิลิตร หลอดละ 10 มิลลิลิตร และใส่ Durham's tube จำนวน 1 หลอด (คว่ำหลอด) นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

2. EC broth

– Peptone from casein	20.0 กรัม
– Lactose	5.0 กรัม
– Bile salt mixture	1.5 กรัม
– Sodium chloride	5.0 กรัม
– di–Potassium hydrogen phosphate	4.0 กรัม
– Potassium dihydrogen phosphate	1.5 กรัม
– Distilled water	1.0 ลิตร (pH 6.9±0.2)

วิธีเตรียม

ละลายส่วนผสมด้วยน้ำกลั่น ปรับพีเอชเป็น 6.9 ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น บรรจุหลอดแก้วขนาด 16x150 มิลลิลิตร หลอดละ 10 มิลลิลิตร และใส่ Durham's tube จำนวน 1 หลอด (คว่ำหลอด) นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

ตารางผนวก 1 ตารางเอ็มพีเอ็น (MPN Table)

จำนวนหลอดผลบวกใน 3 หลอดอาหารเลี้ยงเชื้อ			เอ็มพีเอ็น
ความเจือจาง 10^{-1}	ความเจือจาง 10^{-2}	ความเจือจาง 10^{-3}	ต่อกรัม
0	0	0	<3
0	1	0	3+
1	0	0	4
1	0	1	7+
1	1	0	7
1	2	0	11+
2	0	0	9
2	0	1	14+
2	1	0	15
2	1	1	20
2	2	0	21
3	0	0	23
3	0	1	39
3	1	0	43
3	1	1	75
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210+
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	1100
3	3	3	>1100

ที่มา: ดัดแปลงจาก APHA (2001)

10. การตรวจเชื้อ *Staphylococcus aureus* (APHA, 2001)

วิธีการ

1. นำตัวอย่างที่ทำให้ละเอียดแล้ว (เนื้อสัตว์ ก๋วยเตี๋ยว สลัด แฮม หรือไส้กรอก) น้ำหนัก 25 กรัม เติมสารละลาย 0.1% Peptone water ปริมาตร 225 มิลลิลิตร นำไปตีผสมนาน 1 นาที ด้วยเครื่องตีผสม (Stomacher)

2. ทำการเจือจางตัวอย่างจนถึงระดับความเจือจางที่ 10^{-3}

3. ปิเปตตัวอย่างจากระดับความเจือจางที่ 10^{-1} 10^{-2} และที่ 10^{-3} ถ่ายลงบนจานเพาะเชื้อที่มีอาหาร Baird–Parker egg yolk tellurite agar จำนวน 2 จาน ๆ ละ 0.1 มิลลิลิตร

4. ใช้แท่งแก้วรูปสามเหลี่ยมเกลี่ย suspension บนผิวหน้าของอาหารแต่ละจาน ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที

5. นำไปบ่มในตู้บ่มเพาะเชื้อ (Incubator) ที่อุณหภูมิ 35±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24–48 ชั่วโมง (คว่ำจาน)

6. สังเกตลักษณะโคโลนีเฉพาะ (Typical colony) ของ Staph. aureus บนอาหาร Baird–Parker egg yolk tellurite agar ซึ่งจะมีขนาดประมาณ 2–3 มิลลิเมตร สีเทา ดำ นูน กลม ขอบเรียบ มี Opaque zone แล้วล้อมรอบด้วย Clear zone

7. นับโคโลนีที่ปรากฏบนจานเพาะเชื้อ หาค่าเฉลี่ย และค่า CFU ต่อกรัมของตัวอย่างอาหาร

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในปฏิบัติการ มีส่วนผสมใน 1 ลิตร และมีวิธีเตรียมดังต่อไปนี้

1. Baird–Parker egg yolk tellurite agar

1.1 ส่วนผสมพื้นฐาน

– Casein enzymetic hydrolysate	10.0 กรัม
– Beef extract	5.0 กรัม
– Yeast extract	1.0 กรัม
– Glycine	12.0 กรัม
– Sodium pyruvate	10.0 กรัม
– Lithium chloride	5.0 กรัม
– Agar	20.0 กรัม
– Distilled water	1.0 ลิตร (pH 7.0±0.2)

1.2 ส่วนเพิ่มเติม

1.2.1 Egg yolk tellurite emulsion 20% sterile (Merck 1.03785.0001)

วิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อครบสูตร

ละลายส่วนผสม (63 กรัม) ด้วยน้ำกลั่น ต้มจนวุ้นละลายปรับพีเอชเป็น 7.0 ปรับปริมาตรเป็น 950 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ทิ้งให้มีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส จึงเติม Egg yolk tellurite emulsion (3.2.1) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (ร้อยละ 5) ผสมให้เข้ากัน เทใส่จานเพาะเชื้อ

11. การตรวจเชื้อ *Bacillus cereus* (APHA, 2001)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ลงในถุง Stomacher เติมสารละลายเปปโตนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร นำไปตีผสม เป็นเวลานาน 60 วินาที ในเครื่องตีผสม (Stomacher)

2. ทำการเจือจางตัวอย่างจนถึงระดับความเจือจางที่ 10^{-3}

3. นำสารละลายระดับความเจือจางที 10^{-1} 10^{-2} และที่ 10^{-3} มาถ่ายลงในจานอาหาร Mannitol egg yolk polymyxin (MYP) agar จำนวน 2 จาน ๆ ละ 0.1 มิลลิลิตร

4. ใช้แท่งแก้ว (Spreader) เกลี่ยตัวอย่างให้ทั่วบริเวณผิวหน้าอาหาร รอจนเห็นว่าตัวอย่างบนผิวหน้าอาหารแห้ง (ประมาณ 15 นาที)

5. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (คว่ำจาน)

6. นับโคโลนีที่ได้จากแต่ละจานเพาะเชื้อ หาค่าเฉลี่ย และคำนวณค่า CFU/g

7. นำค่า CFU/g ที่ได้มาคำนวณเป็นค่า log CFU/g เพื่อรายงานผล

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในปฏิบัติการ มีส่วนผสมใน 1 ลิตร และมีวิธีเตรียมดังต่อไปนี้

1. Mannitol egg yolk polymyxin (MYP) agar (Merck 1.05267.0500)

1.1 ส่วนผสมพื้นฐาน

– Peptone from casein	10.0 กรัม
– Meat extract	1.0 กรัม
– D–mannitol	10.0 กรัม
– Sodium chloride	10.0 กรัม
– Phenol red	0.025 กรัม
– Agar	15.0 กรัม
– Distilled water (pH 7.2±0.2)	1.0 ลิตร

1.2 ส่วนเพิ่มเติม

1.2.1 Egg yolk emulsion

วิธีเตรียม: แช่ไข่ไก่ในสารละลายเอทานอลเข้มข้น 95% นาน 2 ชั่วโมง แยกไข่แดงออกจากไข่ขาวโดยใช้เทคนิคปลอดเชื้อ (ทำในตู้ Laminar flow) ผสมไข่แดงกับน้ำเกลือเข้มข้น 0.85% ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ทำผสมให้เข้ากันดีด้วยแท่งแก้วปลอดเชื้อ

1.2.2 Polymyxin B sulfate (0.1%)

วิธีเตรียม:

1) ละลาย Polymyxin B sulfate 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร กรองสารละลายผ่านแผ่นเยื่อกรองขนาดช่อง 0.45 ไมครอน

2) หากใช้ Bacillus cereus selective supplement (Merck 1.09875.0001) โดย 1 Vial (สีชา ขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางก้นขวด 1.5 เซนติเมตร) ให้เติมน้ำกลั่นฆ่าเชื้อปริมาตร 1 มิลลิลิตร (แต่หากเป็น vial ขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางก้นขวด 2 เซนติเมตร ให้เติมน้ำกลั่นฆ่าเชื้อปริมาตร 3 มิลลิลิตร)

3) หากใช้ Polymyxin supplement (Oxoid SR0099E) ให้เติมน้ำกลั่นฆ่าเชื้อปริมาตร 3 มิลลิลิตร ลงใน vial (ขวดสีขาว ฝาสีน้ำเงิน ขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางก้นขวด 2 เซนติเมตร)

วิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อครบสูตร

ละลายส่วนผสม (43 กรัม) ด้วยน้ำกลั่น ต้มจนวุ้นละลายปรับพีเอชเป็น 7.2 ปรับปริมาตรเป็น 900 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ทิ้งให้มีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส จึงเติม Egg yolk emulsion (3.2.1) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ร้อยละ 10) และสารละลาย Polymyxin B sulfate (3.2.2) ตามข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ในส่วนผสมพื้นฐาน ปริมาตร 1 ลิตรผสมให้เข้ากัน เทใส่จานเพาะเชื้อ

2) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ของ Bacillus cereus selective supplement (Merck 1.09875.0001) ในส่วนผสมพื้นฐาน ปริมาตร 1 ลิตรผสมให้เข้ากัน เทใส่จานเพาะเชื้อ

3) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ของ Polymyxin supplement (Oxoid SR0099E) ในส่วนผสมพื้นฐาน ปริมาตร 1 ลิตรผสมให้เข้ากัน เทใส่จานเพาะเชื้อ

12. การตรวจเชื้อ *Clostridium perfringens* (APHA, 2001)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ลงในถุง Stomacher เติมสารละลายเปปโตนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร นำไปตีผสม เป็นเวลานาน 60 วินาที ในเครื่องตีผสม (Stomacher)

2. ทำการเจือจางตัวอย่างจนถึงระดับความเจือจางที่ 10^{-3}

3. นำระดับความเจือจางที่ 10^{-1} 10^{-2} และที่ 10^{-3} มาถ่ายตัวอย่าง (แต่ละความเจือจาง) ลงในจานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว 2 จาน ๆ ละ 1 มิลลิลิตร

4. เทอาหาร Tryptose sulfite cycloserine egg yolk agar (TSC–EY agar) แล้วหมุนวนจานเพาะเชื้อให้ตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อเข้ากัน

5. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ควำ่จาน) ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยอาจใช้ตู้บ่มแบบไร้ออกซิเจน หรือบ่มในโถบ่มแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic jar) ร่วมกับ AnaeroPack–Anaero–2.5 L (AnaeroPack TM Mitsubishi gas chemical company, INC, Japan)

6. เมื่อครบเวลาจะปรากฏโคโลนีสีดำขึ้น และมีตะกอนขุ่นที่เกิดจากการย่อยสลายเลซิทินรอบโคโลนีนับจำนวนโคโลนีที่เจริญจากแต่ละจานเพาะเชื้อ หาค่าเฉลี่ย และคำนวณค่า CFU/g

7. นำค่า CFU/g ที่ได้มาคำนวณเป็นค่า log CFU/g เพื่อรายงานผล

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในปฏิบัติการ มีส่วนผสมใน 1 ลิตร และมีวิธีเตรียมดังต่อไปนี้

1. Tryptose sulfite cycloserine egg yolk (TSC–EY) agar (Merck 1.11972.0500)

1.1 ส่วนผสมพื้นฐาน

– Tryptose	15.0 กรัม
– Peptone from soymeal	5.0 กรัม
– Yeast extract	5.0 กรัม
– Sodium disulfite	1.0 กรัม
– Ammonium iron (III) citrate	1.0 กรัม
– Agar	12.0 กรัม
– Distilled water	1.0 ลิตร (pH 7.6±0.2)

1.2 ส่วนเพิ่มเติม

1.2.1 Egg yolk emulsion

วิธีเตรียม: แช่ไข่ไก่ในสารละลายเอทานอลเข้มข้น 95% นาน 2 ชั่วโมง แยกไข่แดงออกจากไข่ขาวโดยใช้เทคนิคปลอดเชื้อ (ทำในตู้ Laminar flow) ผสมไข่แดงกับน้ำเกลือเข้มข้น 0.85% ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ทำผสมให้เข้ากันดีด้วยแท่งแก้วปลอดเชื้อ

1.2.2 Clostridium perfringens selective supplement (Merck 1.00888.0010)

วิธีเตรียม: โดย 1 Vial (สีชา ขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางก้นขวด 1.5 เซนติเมตร) ให้เติมน้ำกลั่นฆ่าเชื้อปริมาตร 1 มิลลิลิตร (แต่หากเป็น Vial ขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางก้นขวด 2 เซนติเมตร ให้เติมน้ำกลั่นฆ่าเชื้อปริมาตร 3 มิลลิลิตร) เขย่า Vial ผสมให้เข้ากันก่อนนำไปใช้

วิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อครบสูตร

ละลายส่วนผสม (39 กรัม) ด้วยน้ำกลั่น ต้มจนวุ้นละลายปรับพีเอชเป็น 7.6 ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ทิ้งให้มีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส จึงเติมสารละลาย Clostridium perfringens selective supplement (3.2.2)

Note: การเตรียม TSC–EY agar ขวด ละ 250 มิลลิลิตร จะต้องชั่งอาหาร TSC agar เท่ากับ 250x39/1,000 = 9.75 g เติมน้ำ 250 มิลลิลิตร แล้วนำไป Clave เมื่ออาหาร TSC agar มีอุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 50 องศาเซลเซียส ให้เติม Clostridium perfringens supplement ปริมาตร 0.15 ml หรือ 150 ไมโครลิตร ก่อน จากนั้นจึงเติม Egg yolk emulsion ปริมาตร 12.5 มิลลิลิตร (ร้อยละ 5 ของปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้) ผสมให้เข้ากัน ก่อนนำไปใช้ให้อุ่นไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส

13. การตรวจเชื้อ *Staphylococcus aureus* (Rhodehamel and Harmon, 2001)

วิธีการ

1. นำตัวอย่างที่ทำให้ละเอียดแล้ว น้ำหนัก 25 กรัม เติมสารละลาย 0.1% Peptone water ปริมาตร 225 มิลลิลิตร นำไปตีผสมเป็นเวลา 1 นาที ด้วยเครื่องตีผสม (Stomacher)

2. ทำการเจือจางตัวอย่างจนถึงระดับความเจือจางที่ 10^{-3}

3. ปิเปตตัวอย่างจากระดับความเจือจางที่ 10^{-1} 10^{-2} และที่ 10^{-3} ถ่ายลงบนจานเพาะเชื้อที่มีอาหาร Baird–Parker egg yolk tellurite agar จำนวน 2 จาน ๆ ละ 0.1 มิลลิลิตร

4. ใช้แท่งแก้วรูปสามเหลี่ยมเกลี่ย Suspension บนผิวหน้าอาหารแต่ละจาน ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที

5. นำไปบ่มในตู้บ่มเพาะเชื้อ (Incubator) ที่อุณหภูมิ 35±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24–48 ชั่วโมง (ค่ำจาน)

6. สังเกตลักษณะโคโลนีเฉพาะ (Typical colony) ของ Staph. aureus บนอาหาร Baird–Parker egg yolk tellurite agar ซึ่งจะมีขนาดประมาณ 2–3 มิลลิเมตร สีเทา ดำ นูน กลม ขอบเรียบ มี Opaque zone แล้วล้อมรอบด้วย Clear zone

7. นับโคโลนีที่ปรากฏบนจานเพาะเชื้อ หาค่าเฉลี่ย และคำนวณค่า CFU ต่อกรัมของตัวอย่างอาหาร

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในปฏิบัติการ มีส่วนผสมใน 1 ลิตร และมีวิธีเตรียมดังต่อไปนี้

1. Baird–Parker egg yolk tellurite agar

1.1 ส่วนผสมพื้นฐาน

– Casein enzymetic hydrolysate	10.0 กรัม
– Beef extract	5.0 กรัม
– Yeast extract	1.0 กรัม
– Glycine	2.0 กรัม
– Sodium pyruvate	10.0 กรัม
– Lithium chloride	5.0 กรัม
– Agar	20.0 กรัม
– Distilled water	1.0 ลิตร (pH 7.0±0.2)

1.2 ส่วนเพิ่มเติม

1.2.1 Egg yolk tellurite emulsion 20% sterile (Merck 1.03785.0001)

วิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อครบสูตร

ละลายส่วนผสม (63 กรัม) ด้วยน้ำกลั่น ต้มจนวุ้นละลายปรับพีเอชเป็น 7.0 ปรับปริมาตรเป็น 950 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ทิ้งให้มีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส จึงเติม Egg yolk tellurite emulsion (3.2.1) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (ร้อยละ 5) ผสมให้เข้ากัน เทใส่จานเพาะเชื้อ

14. การตรวจเชื้อ *Salmonella* spp. (APHA, 2001)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างอาหารที่ทำให้ละเอียดแล้ว 25 กรัม ใส่ในถุงพลาสติกที่ปลอดเชื้อ

2. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ SCB ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ลงในถุงบรรจุตัวอย่าง นำไปตีผสมด้วยเครื่องตีปั่น เป็นเวลา 60 วินาที

3. บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35–37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

4. ขีดแยกเชื้อบนจานอาหาร 2 ชนิด คือ BS และ XLD agar โดยทำชนิดละ 2 จาน และขีดแยกเชื้อS. Typhimurium (หรือ S. Typhi) อ้างอิงลงบนอาหารดังกล่าวอีกชนิดละ 1 จาน

5. บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35–37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24–48 ชั่วโมง

6. ตรวจหาโคโลนีลักษณะเฉพาะของ Salmonella จากตัวอย่างบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด โดยเปรียบเทียบกับโคโลนีอ้างอิง

7. รายงานผลว่าพบหรือไม่พบ Salmonella ในตัวอย่าง 25 กรัม

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในปฏิบัติการ มีส่วนผสมใน 1 ลิตร และมีวิธีเตรียมดังต่อไปนี้

1. Selenite cystine broth

– Tryptone	4.0 กรัม
– Lactose	4.0 กรัม
– Sodium hydrogen selenite	4.0 กรัม
– Disodium hydrogen phosphate	5.0 กรัม
– Potassium dihydrogen phosphate	5.0 กรัม
– L–Cystine	0.01 กรัม
– Distilled water	1.0 ลิตร (pH 7.0 0.2)

วิธีเตรียม: ละลายส่วนผสมด้วยน้ำกลั่น ปรับพีเอชเป็น 7.0 ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น ต้มจนเดือดเป็นเวลานาน 10 นาที (ไม่ต้องนึ่งฆ่าเชื้อ)

2. Bismuth sulfite agar

– Beef Extract	5.0 กรัม
– Peptic digest of animal tissue	10.0 กรัม
– Dextrose	5.0 กรัม

– Disodium Phosphate	4.0 กรัม
– Ferrous Sulfate	0.3 กรัม
– Bismuth sulphite indicator	8.0 กรัม
– Brilliant Green	0.025 กรัม
– Agar	20.0 กรัม
– Distilled water	1.0 ลิตร (pH 7.7±0.2)

วิธีเตรียม: ละลายส่วนผสมด้วยน้ำกลั่น ปรับพีเอชเป็น 7.7 ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น ต้มให้ความร้อนจนอาหารละลายสมบูรณ์ (ไม่ต้องนึ่งฆ่าเชื้อ) แล้วนำมาพอร์เพลท

3. XLD agar

ใช้ XLD agar เพื่อตรวจนับ เตรียมโดยใช้น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ (XLD ห้ามละลายแล้วนำเข้า autoclave อาหารจะเสียสภาพ) แล้วเติม XLD agar จำนวน 11 กรัม ลงน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ น้ำปริมาตร 200 มิลลิลิตร จากนั้นเอาไปอุ่นโดยไมโครเวฟ ให้วุ้นละลายระวังอย่าให้น้ำเดือดมากถ้าอาหารเสียสภาพจะปรากฏเกล็ดผลึกกำมะถัน สีเหลือง ๆ แสดงว่าอุณหภูมิร้อนไป ต้องเตรียมใหม่โดยให้ลดอุณหภูมิลงให้ระดับความร้อนพอเห็นวุ้นละลาย อาหารใส แล้วจึงนำมาพอร์เพลท โคโลนีของ Salmonella จะเกิดเป็นจุดสีดำ กลม บนอาหารสีแดง โดยความเป็นจริงแล้วจะมีสีใส แต่เกิดปฏิกิริยากับอาหารจึงเห็นเป็นจุดดำ

การคำนวณค่า Colony Forming Unit

American Public Health Association หรือ APHA กำหนดช่วงโคโลนีในหนึ่งจานที่เหมาะสมต่อการคำนวณค่า CFU/g คือ 25–250 และกำหนดหลักการคำนวณค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในหนึ่งจานและการคำนวณหาค่า CFU/g ดังนี้

1. ถ้าในความเจือจางหนึ่งมีโคโลนีอยู่ในช่วง 25–250 ต่อจานในทุกซ้ำ (เช่น 2 ซ้ำ) ให้หาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีต่อจาน จากทั้ง 2 จานและนำไปคำนวณค่า CFU/g (ตัวอย่างที่ 1)

2. ถ้ามีเพียงจานใดจานหนึ่งที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 25–250 ให้หาค่าเฉลี่ยจากทั้ง 2 จานและนำไปคำนวณค่า CFU/g (ตัวอย่างที่ 2)

3. ถ้าพบจำนวนโคโลนีต่อจานระหว่าง 25–250 ในทุกซ้ำที่ความเจือจาง 2 ระดับติดต่อกัน ให้หาค่า CFU/g ของแต่ละความเจือจาง และถ้าค่า CFU ค่าที่มีมากกว่า มีค่าสูงกว่าค่า CFU ที่ต่ำกว่า

ไม่เกิน 2 เท่า ให้นำค่า CFU ทั้งสองมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อรายงานผลเป็นค่า CFU/g ของตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 3)

4. จากข้อ 3 ถ้าค่า CFU/g ค่าที่มากกว่ามีค่าสูงกว่าค่าที่ต่ำกว่าเกิน 2 เท่า ให้รายงานผลเป็นค่าที่ต่ำกว่า (ตัวอย่างที่ 4)

5. ถ้าทุกจานที่มีจำนวนโคโลนีมากกว่า 250 ให้หาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีต่อจานจากความเจือจางที่พบจำนวนโคโลนีใกล้เคียงกับ 250 มากที่สุด และรายงานผล CFU/g เป็นค่าประมาณ (Estimated) (ตัวอย่างที่ 5)

6. ถ้าพบจำนวนโคโลนีต่อจานน้อยกว่า 25 ในทุกจาน ให้หาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีต่อจานจากระดับความเจือจางที่ต่ำสุด และรายงานผล CFU/g เป็นค่าประมาณ (ตัวอย่างที่ 6)

7. ถ้าไม่พบโคโลนีบนจานใดเลย ให้รายงานผล CFU/g เป็นค่าประมาณ คือน้อยกว่า 1 คูณด้วยความเจือจางที่ต่ำสุด (ตัวอย่างที่ 7)

8. ถ้าพบโคโลนีต่อจานมากกว่า 250 ในทุกจาน ให้นับจำนวนโคโลนีจากระดับความเจือจางที่ต่ำสุด โดยทำพื้นที่ขนาด 1 ตารางเซนติเมตรบนจาน และนับจำนวนโคโลนีดังนี้

8.1 ถ้าในพื้นที่ 1 ช่อง (1 ตารางเซนติเมตร) มีจำนวนโคโลนีน้อยกว่า 10 ให้นับจาทั้งหมด 12 ช่อง โดยปฏิบัติดังนี้

- นับ 6 ช่องติดกันในแนวราบและอีก 6 ช่อง ในแนวตั้งฉาก โดยไม่นับซ้ำช่องเดิม
- หาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีต่อ 1 ช่อง
- นำค่าที่ได้คูณกับพื้นที่ผิวของจาน
- จะได้ค่าจำนวนโคโลนีต่อจาน สำหรับคำนวณค่า CFU/g

8.2 ถ้าในพื้นที่ 1 ช่อง มีจำนวนโคโลนีมากกว่า 10 ให้นับทั้งหมด 4 ช่อง

- หาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีต่อช่อง
- หาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีต่อจาน และคำนวณค่า CFU/g เช่นเดียวกัน

8.3 ถ้าบนพื้นที่ 1 ช่อง มีจำนวนโคโลนีมากกว่า 100 ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีต่อจานจะเป็นค่าประมาณ คือมากกว่าพื้นที่จานคูณด้วย 100

ตารางผนวก 2 ตัวอย่างการหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนี 1 จานและการคำนวณค่า CFU/g

ตัวอย่าง	จำนวนโคโลนีในแต่ละจาน		จำนวนโคโลนี	CFU ต่อกรัม
	ความเจือจาง 10^{-2}	ความเจือจาง 10^{-3}	เฉลี่ยใน 1 จาน	
1	175 208	16 17	192	1.92×10^4 หรือ 19,000
2	239 328	16 19	284	2.84×10^4 หรือ 28,000
3	228 240	28 26	250	2.50×10^4 หรือ 25,000
4	138 162	42 30	150	1.50×10^4 หรือ 15,000
5	287 263	23 19	275	2.75×10^4 หรือ 28,000 est.
6	18 16	2 0	17	1.7×10^3 หรือ 1,700 est.
7	0 0	0 0	<1	$<1.0 \times 10^2$ หรือ <100 est.

หมายเหตุ est. = Estimated

__ = ค่าที่ใช้คำนวณ

ที่มา: ดัดแปลงจาก APHA (2001)

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างน้ำเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารทั้ง 3 สิ่งทดลอง มาทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยวิธี 9 Point Hedonic Rating Scales ที่กำหนดคะแนนความชอบจาก 1 คะแนน (ไม่ชอบมากที่สุด) ไปจนถึง 9 คะแนน (ชอบมากที่สุด) ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่นหอมกล้วยน้ำว้า ความข้นหนืด รสหวาน รสเปรี้ยว และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบชิม (Untrained panelist) จำนวน 30 คน โดยมีวิธีการและขั้นตอนดังนี้

วิธีการ

1. เขียนเบอร์ผู้ทดสอบตามจำนวนผู้ทดสอบที่กำหนดใน Work sheet
2. เขียนรหัสเลข 3 หลักให้แต่ละตัวอย่างโดยเลือกจากตารางเลขสุ่ม ลงใน Work sheet
3. สุ่มลำดับการเสนอตัวอย่างโดยการใช้ตาราง Permutation table (เขียนลำดับการนำเสนอตัวอย่างเหนือเลขรหัสด้วยปากกาสีต่างจากเลขรหัส)
4. เขียนรหัสเลข 3 หลัก บนภาชนะตาม Work sheet
5. เตรียมใบรายงานผลการทดสอบ เติมวันที่ เบอร์ผู้ที่ทดสอบและเลขรหัส ตามลำดับการเสนอตัวอย่างใน Work sheet
6. เตรียม Work sheet template โดยใช้กระดาษแผ่นใหญ่ ตีตารางให้เหมือน Work sheet ให้มีช่องว่างพอที่จะวางภาชนะตัวอย่างได้ (ประมาณ 3 ตารางนิ้ว)
7. วางภาชนะบรรจุตัวอย่างลงบน Work sheet template (วางแล้วจะเหมือน Work sheet)
8. นำตัวอย่างลงในภาชนะ ให้ตรงกับรหัสใน Work sheet
9. วางภาชนะที่บรรจุตัวอย่างลงบนถาด ตามด้วยลำดับการเสนอตัวอย่างจากซ้ายไปขวา พร้อมด้วยน้ำสำหรับบ้วนปาก ปากกา และใบรายงานผลการทดสอบ
10. เสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบทั้ง 10 คน และ 30 คน ตามลำดับ

11. ให้ผู้ทดสอบ ชิมตัวอย่างตามลำดับจากซ้ายไปขวาแล้วพิจารณาให้คะแนนความชอบแต่ละคุณลักษณะของตัวอย่างตามคำอธิบายคะแนนความชอบดังต่อไปนี้

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

12. เก็บรวมรวมใบรายงานผลการทดสอบทั้ง 30 ชุด แล้วนำข้อมูลที่ได้มากรอกลงในใบบันทึกผลรวม ซึ่งจะแยกตามลักษณะที่ทำการทดสอบชิม แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตัวอย่างใบบันทึกผลการเตรียมงาน (MASTER SHEET)

ใบบันทึกการเตรียมงาน (Master sheet)

ชื่อผลิตภัณฑ์.....ชุดที่.....วันที่ทำการทดสอบ.....

หมายเลขผู้ทดสอบ (Code)	รหัส และลำดับการนำเสนอตัวอย่าง				
	A	B	C	D	E
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					
11.					
12.					
13.					
14.					
15.					
16.					
17.					
18.					
19.					
20.					
21.					
22.					
23.					
24.					
25.					
26.					
27.					
28.					
29.					
30.					

ตัวอย่าง A คือ .....

ตัวอย่าง B คือ .....

ตัวอย่าง C คือ .....

ตัวอย่าง D คือ .....

ตัวอย่าง E คือ .....

APPROVED 29 JULY 2021

ตัวอย่างใบรายงานผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส
โดยวิธีการเรียงลำดับ (Ranking Test)

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส
การเรียงลำดับ (Ranking Test)

หมายเลขผู้ทดสอบชิม.....วันที่.....
ผลิตภัณฑ์.....ชุดที่.. .....

คำชี้แจง โปรดทำการทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ตัวอย่างต่อไปนี้ และให้ลำดับความชอบต่อผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยตัวอย่างที่ท่านชอบมากที่สุดให้เป็นอันดับแรก และตัวอย่างที่ท่านชอบน้อยที่สุดให้เป็นลำดับสุดท้าย

โปรดทดสอบชิมตามลำดับที่เสนอต่อไปนี้ ....

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....
ลำดับความชอบ	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 3

NU-IRB APPROVAL 29 July 2021

ตัวอย่างใบรายงานผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

โดยวิธี 9 Point Hedonic Rating Scales

ใบรายงานผลการทดสอบชิม (5 สิ่งทดลอง)

หมายเลขผู้ทดสอบ.....

วันที่ทดสอบ.....

ผลิตภัณฑ์.....

คำชี้แจง

โปรดทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ ***น้ำกล้วยเสริมใยอาหารที่ใช้สารให้ความหวานพาลาทีนทดแทนน้ำตาล*** ต่อไปนี้ และให้ระดับคะแนนความชอบและไม่ชอบต่อผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่าง โดยให้ระดับคะแนนที่เหมาะสม (ตั้งแต่ 1–9) เพื่อแสดงให้เห็นว่า ท่านได้อธิบายความรู้สึกชอบหรือไม่ชอบในระดับใด

โดยชิมตัวอย่างเรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา และกรุณากลั้วปากด้วยน้ำเปล่าก่อนการทดสอบในแต่ละตัวอย่าง

1 = ไม่ชอบที่สุด (Dislike extremely)
2 = ไม่ชอบมาก (Dislike very much)
3 = ไม่ชอบปานกลาง (Dislike moderately)
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย (Dislike slightly)
6 = ชอบเล็กน้อย (Like slightly)
5 = เฉย ๆ (Neither like nor dislike)
7 = ชอบปานกลาง (Like moderately)
8 = ชอบมาก (Like very much)
9 = ชอบมากเป็นพิเศษ (Like extremely)

คุณลักษณะที่ประเมิน	คะแนนความชอบในแต่ละตัวอย่างที่ทำการทดสอบ				
สี (Color)					
กลิ่นหอมกล้วยน้ำว้า (Order)					
ความข้นหนืด (Viscous)					
รสหวาน (Sweet)					
รสเปรี้ยว (Sour)					
ความชอบโดยรวม (Overall)					

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

ขอขอบคุณทุกท่านที่กรุณาเสียสละเวลา_/I_

ใบรายงานผลการทดสอบชิม (6 สิ่งทดลอง)

หมายเลขผู้ทดสอบ.....

วันที่ทดสอบ.....

ผลิตภัณฑ์.....

คำชี้แจง

โปรดทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ ***เยลลี่กล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาล*** ต่อไปนี้ และให้ระดับคะแนนความชอบและไม่ชอบต่อผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่าง โดยให้ระดับคะแนนที่เหมาะสม (ตั้งแต่ 1–9) เพื่อแสดงให้เห็นว่า ท่านได้อธิบายความรู้สึกชอบหรือไม่ชอบในระดับใด

โดยชิมตัวอย่างเรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา และกรุณากลั้วปากด้วยน้ำเปล่าก่อนการทดสอบในแต่ละตัวอย่าง

1 = ไม่ชอบที่สุด (Dislike extremely)
2 = ไม่ชอบมาก (Dislike very much)
3 = ไม่ชอบปานกลาง (Dislike moderately)
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย (Dislike slightly)
6 = ชอบเล็กน้อย (Like slightly)
5 = เฉย ๆ (Neither like nor dislike)
7 = ชอบปานกลาง (Like moderately)
8 = ชอบมาก (Like very much)
9 = ชอบมากเป็นพิเศษ (Like extremely)

คุณลักษณะที่ประเมิน	คะแนนความชอบในแต่ละตัวอย่างที่ทำการทดสอบ					
สี (Color)						
กลิ่นหอมกล้วยน้ำว้า (Order)						
ความข้นหนืด (Viscous)						
รสหวาน (Sweet)						
รสเปรี้ยว (Sour)						
ความชอบโดยรวม (Overall)						

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

ขอขอบคุณทุกท่านที่กรุณาเสียสละเวลา_/I_

ใบรายงานผลการทดสอบชิม (3 สิ่งทดลอง)

หมายเลขผู้ทดสอบ.....

วันที่ทดสอบ.....

ผลิตภัณฑ์.....

คำชี้แจง

โปรดทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ ***เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมเม็ดบีดส์ใยอาหาร*** ต่อไปนี้ และให้ระดับคะแนนความชอบและไม่ชอบต่อผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่าง โดยให้ระดับคะแนนที่เหมาะสม (ตั้งแต่ 1–9) เพื่อแสดงให้เห็นว่า ท่านได้อธิบายความรู้สึกชอบหรือไม่ชอบในระดับใด

โดยชิมตัวอย่างเรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา และกรุณากลั้วปากด้วยน้ำเปล่าก่อนการทดสอบในแต่ละตัวอย่าง

1 = ไม่ชอบที่สุด (Dislike extremely)
2 = ไม่ชอบมาก (Dislike very much)
3 = ไม่ชอบปานกลาง (Dislike moderately)
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย (Dislike slightly)
6 = ชอบเล็กน้อย (Like slightly)
5 = เฉย ๆ (Neither like nor dislike)
7 = ชอบปานกลาง (Like moderately)
8 = ชอบมาก (Like very much)
9 = ชอบมากเป็นพิเศษ (Like extremely)

คุณลักษณะที่ประเมิน	คะแนนความชอบในแต่ละตัวอย่างที่ทำการทดสอบ		
สี (Color)			
กลิ่นหอมเฉพาะตัว (Order)			
ความเข้ากันของเนื้อเจลและเม็ดบีดส์			
รสหวาน (Sweet)			
รสเปรี้ยว (Sour)			
ความชอบโดยรวม (Overall)			

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

ขอขอบคุณทุกท่านที่กรุณาเสียสละเวลา _/I_

ตัวอย่างใบบันทึกผลรวม

วันที่ทำการทดสอบ.....ชุดที่.....

การให้คะแนนความชอบต่อ.....*น้ำกล้วยเสริมใยอาหาร/เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร*.....

ผู้ทดสอบ	การให้คะแนนความชอบต่อ.....สี.....ของตัวอย่าง		
	A	B	C
1. กุลปริยา ทิมเครือจีน			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			
11.			
12.			
13.			
14.			
15.			
16.			
17.			
18.			
19.			
20.			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

H_0 : ตัวอย่าง เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารทั้ง 4 สูตร มีคะแนนความชอบด้าน.....สี.....ไม่ต่างกัน

H_1 : ตัวอย่าง เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารทั้ง 4 สูตร มีคะแนนความชอบด้าน.....สี.....ต่างกัน

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส

1. ข้อมูลคำอธิบายสำหรับอาสาสมัครในโครงการวิจัย

NU-IRB# ..... AF 04-10/5.0

ข้อมูลคำอธิบายสำหรับอาสาสมัครในโครงการวิจัย

(สำหรับกลุ่มอาสาสมัครอายุมากกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี)

คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อโครงการวิจัย

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการใช้ความดันสูงในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร

ผู้ทำวิจัย

ชื่อ นางสาว ธิดารัตน์ ผาระนัด

ที่อยู่ เลขที่ 40 หมู่ 4 ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา 30320

เบอร์โทรศัพท์ที่ทำงาน ..... เบอร์โทรศัพท์มือถือ 091-0307407

อีเมล thidaratpa62@nu.ac.th

ผู้สนับสนุนการวิจัย

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

NU-IRB APPROVAL 29 July 2021

เรียน ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยทุกท่าน

ท่านได้รับเชิญให้เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เนื่องจากท่านเป็นบุคคลที่มีอายุ 20 ปีบริบูรณ์ขึ้นไป ซึ่งในโครงการวิจัยนี้จะมีผู้เข้าร่วมโครงการทั้งหมด 30 ราย

ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจ เข้าร่วม หรือ ไม่เข้าร่วม โครงการวิจัยนี้

- ให้ท่าน อ่านเอกสารฉบับนี้อย่างถี่ถ้วน เพื่อให้ท่านได้ทราบถึงเหตุผลและรายละเอียดของการวิจัยนี้ โดยท่านสามารถขอคำแนะนำในการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้จากครอบครัว เพื่อน หรือแพทย์ประจำตัวของท่านได้ หรือคนอื่น ๆ ได้ตามที่ท่านต้องการ และท่านสามารถใช้เวลาได้นานตามที่ท่านต้องการ เพื่อให้มีเวลาอย่างเพียงพอในการตัดสินใจโดยอิสระ
- หากท่านมีข้อสงสัยใด ๆ กรุณาซักถามจาก นางสาวธิดารัตน์ ผาระนัด

การเข้าร่วมโครงการนี้ต้องเป็นไปด้วยความสมัครใจ

- ท่าน**สามารถปฏิเสธ**การเข้าร่วมโครงการนี้ได้
- แม้เข้าร่วมโครงการวิจัยนี้แล้ว **ท่านสามารถถอนตัวได้ตลอดเวลา** โดยไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อท่าน

ทางเลือกอื่น ๆ หากท่านตัดสินใจไม่เข้าร่วมโครงการวิจัย

- ท่านสามารถปฏิเสธเข้าร่วมโครงการวิจัยได้ตลอดเวลา

“ยา/ผลิตภัณฑ์/เครื่องมือแพทย์/โปรแกรม” ที่ผู้เข้าร่วมวิจัยจะถูกทดสอบในการวิจัยนี้

- ผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร โดยใช้กล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต โดยจุดเด่นผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหารที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ เป็นแหล่งของใยอาหาร สามารถคงคุณค่าสารอาหารหรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพไว้ได้ จากกระบวนการฆ่าเชื้อแบบไม่ใช้ความร้อน และลดปริมาณการบริโภคน้ำตาลและแคลอรี่

1. ทำไมต้องทำวิขัยเรื่องนี้?

การพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมเม็ดบีดส์ใยอาหาร จะช่วยบรรเทาปัญหาในส่วนของการจัดการวัตถุดินกล้วยน้ำว้าสุกตกเกรด และสามารถคงคุณค่าสารอาหารหรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพไว้ได้ จากกระบวนการฆ่าเชื้อแบบไม่ใช้ความร้อน และลดปริมาณการบริโภคน้ำตาลและแคลอรี่ เหมาะสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก และผู้ที่ต้องการเสริมสร้างสุขภาพจากการรับประทานใยอาหาร

2. การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่ออะไร?

พัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมเม็ดบีดส์ใยอาหารที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลโดยใช้กล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดเป็นวัตถุดิบหลัก คัดเลือกชนิดและปริมาณของสารก่อเจลผสมที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมเม็ดบีดส์ใยอาหารที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล และคัดเลือกสภาวะฆ่าเชื้อโดยการใช้ความดันสูงที่เหมาะสม สำหรับการผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมเม็ดบีดส์ใยอาหารที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล ตลอดจนติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมเม็ดบีดส์ใยอาหารที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล ตลอดระยะเวลาเก็บรักษานาน 3 เดือน

3. ท่านจะต้องร่วมกิจกรรมอะไรบ้าง?

หลังจากท่านยินยอมเข้าร่วมการวิจัยนี้ด้วยความสมัครใจ ท่านจะได้รับเชิญให้ทดสอบชิม ผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร ตามวันเวลาที่ผู้ทำวิจัยนัดหมาย

สถานที่ทำการวิจัยนี้คือ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ท่านจะต้องมาพบผู้วิจัยทั้งหมด 4 ครั้ง แต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 30 นาที รวมแล้วท่านจะอยู่ในโครงการวิจัยเป็นระยะเวลาทั้งหมด 2 ชั่วโมง

การนัดหมายครั้งที่ 1 ใช้เวลาประมาณ 30 นาที/ชั่วโมง

– อาสาสมัครทำแบบทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำกล้วย ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ทั้งหมด 5 สิ่งทดลอง โดยผลิตภัณฑ์จะมีส่วนประกอบของเนื้อกล้วยน้ำว้าสุก น้ำ น้ำตาลทราย กรดซิตริก และโพลีเดกส์โตรส

การนัดหมายครั้งที่ 2 ใช้เวลาประมาณ 30 นาที/ชั่วโมง

– อาสาสมัครทำแบบทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำกล้วยเสริมใยอาหาร ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ทั้งหมด 5 สิ่งทดลอง โดยผลิตภัณฑ์จะมีส่วนประกอบของน้ำกล้วยเสริมใยอาหาร น้ำตาลทราย และพาลาทีน

การนัดหมายครั้งที่ 3 ใช้เวลาประมาณ 30 นาที/ชั่วโมง

– อาสาสมัครทำแบบทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของเยลลี่กล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาล ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง โดยผลิตภัณฑ์จะมีส่วนประกอบของน้ำกล้วยเสริมใยอาหาร คาราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม

การนัดหมายครั้งที่ 4 ใช้เวลาประมาณ 30 นาที/ชั่วโมง

– อาสาสมัครทำแบบทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ทั้งหมด 3 สิ่งทดลอง โดยผลิตภัณฑ์จะมีส่วนประกอบของเยลลี่กล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร ไฮโดรบีดส์น้ำลิ้นจี่ ไฮโดรบีดส์น้ำเสาวรส และไฮโดรบีดส์น้ำผึ้งผสมมะนาว

การเตรียมกระบวนการทดสอบชิม ทางคณะผู้วิจัยจะจัดทำการเตรียมสถานที่สำหรับทดสอบชิม และจะแจ้งให้อาสาสมัครทุกท่าทราบล่วงหน้าผ่านการประชาสัมพันธ์ เมื่อผู้วิจัยเข้าสู่กระบวนการทดสอบ จะทำการแจกแบบฟอร์มที่มีการระบุรายละเอียดต่าง ๆ และแบบทดสอบชิมแต่ละชุดให้กับอาสาสมัครทุกท่านตามลำดับการทดสอบ ตัวอย่างจะถูกบรรจุลงในภาชนะสำหรับทดสอบชิม ปริมาณ 10 มิลลิลิตร นำเสนอตัวอย่างด้วยระยะเวลาห่างกัน 3 นาที และขอความร่วมมือให้ผู้ทดสอบชิมบ้วนปากทุกครั้งก่อนการชิมตัวอย่างต่อไป และให้อาสาสมัครทุกท่านใช้รหัสแทนการลงชื่อ เมื่ออาสาสมัครทำการทดสอบชิมเสร็จแล้วจะมีทีมงานคณะผู้วิจัยเก็บรวบรวมแบบทดสอบต่อไป

5. หากเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ ท่านอาจจะได้รับความเสี่ยงอะไรบ้าง?

ท่านอาจเกิดความผิดปกติจากอาการแพ้อาหาร ดังนี้

- ท่านอาจเกิดความผิดปกติจากการรับประทานผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร อาจส่งผลให้อาสาสมัครเกิดอาการท้องร่วง หรืออาเจียนหลังการทดสอบชิม

นอกจากความเสี่ยงที่กล่าวมา ท่านอาจเกิดอาการ หรือความไม่สบายอื่น ๆ ที่ไม่ทราบแน่นอน นอกเหนือจากที่ได้แสดงในเอกสารฉบับนี้ ซึ่งอาการเหล่านี้เป็นอาการที่ไม่เคยพบมาก่อน

หากท่านต้องการข้อมูลเพิ่มเติม หรือมีข้อสงสัยใด ๆ เกี่ยวกับความเสี่ยงที่อาจได้รับจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านสามารถสอบถามจากผู้ทำวิจัยได้ตลอดเวลา

หากมีการค้นพบข้อมูลใหม่ ๆ ที่อาจมีผลต่อความปลอดภัยของท่านในระหว่างที่ท่านเข้าร่วมในโครงการวิจัย ผู้ทำวิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบทันที เพื่อให้ท่านตัดสินใจว่าจะอยู่ในโครงการวิจัยต่อไปหรือจะขอถอนตัวออกจากการวิจัย

หากท่าน เกิดอาการแพ้หรือผิดปกติ **ใด ๆ ให้ท่านปฏิบัติดังนี้**

- แจ้งผู้ทำวิจัยให้ทราบทันที โดยท่านสามารถติดต่อกับผู้ทำวิจัยคือ นางสาวิตารัตน์ ผาระนัด ที่เบอร์โทร 091-0307407 ได้ตลอด 24 ชั่วโมง
- หากจำเป็น ให้ท่านรีบมาพบแพทย์ที่สถานพยาบาลทันที ถึงแม้ว่าจะอยู่นอกตารางการนัดหมาย เพื่อแพทย์จะได้ประเมินอาการผิดปกติของท่าน และให้การรักษาที่เหมาะสมทันที

6. ผู้วิจัยมีมาตรการการป้องกันอันตราย หรือมาตรการดูแลท่านอย่างไรหากเกิดอันตรายในระหว่างการวิจัย?

มาตรการป้องกันอันตรายและลดความเสี่ยง

- หากอาสาสมัครเกิดอันตราย/บาดเจ็บ ระหว่างการทดสอบชิม อาสาสมัครจะได้รับการปฐมพยาบาลเบื้องต้นโดยผู้วิจัย หากอาการไม่ดีขึ้น อาสาสมัครจะถูกนำส่งโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร
- หากท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของทีมผู้ทำวิจัยแล้ว ผู้ทำวิจัย ยินดีจะรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลของท่าน
- เพื่อให้ท่านได้กรอกแบบสอบถามอย่างเป็นอิสระ และเป็นความลับ ผู้วิจัยได้จัดตำแหน่งที่นั่งให้ห่างกัน ซึ่งในแบบสอบถามไม่มีการระบุถึงตัวตนอาสาสมัคร แต่จะใช้รหัสในการทำแบบสอบถาม และทำลายข้อมูลทั้งหมดหลังการวิจัยสิ้นสุดภายใน 2 ปี

"**การลงนามในเอกสารให้ความยินยอม ไม่ได้หมายความว่าท่านได้สละสิทธิ์ทางกฎหมายตามปกติที่ท่านพึงมี**"

7. ท่านจะได้รับการประกันภัยเพื่อคุ้มครองในการเข้าร่วมโครงการวิจัยหรือไม่?

โครงการวิจัยนี้ไม่ได้จัดทำประกันภัยให้แก่ผู้เข้าร่วมการวิจัย

8. การเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ ท่านจะได้รับประโยชน์อะไร?

ท่านจะไม่ได้รับประโยชน์ใด ๆ จากการเข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้ แต่ผลการศึกษาที่ได้จะสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิต และสภาวะฆ่าเชื้อโดยการใช้ความดันสูงที่เหมาะสม สำหรับการผลิตเยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมเม็ดบีดส์ใยอาหารที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลได้

9. เมื่อเข้าร่วมโครงการวิจัย ท่านจะต้องมีความรับผิดชอบอย่างไรบ้าง?

- ปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัยอย่างเคร่งครัด
- ขอให้ท่านแจ้งให้ผู้ทำวิจัยทราบถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างที่ท่านร่วมในโครงการวิจัย

10. ท่านจะต้องเสียค่าใช้จ่ายอย่างไรบ้างในการเข้าร่วมโครงการวิจัย?

- ท่านไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้

12. ท่านจะได้รับค่าตอบแทนสำหรับการเข้าร่วมโครงการวิจัยหรือไม่?

- ท่านจะไม่ได้รับค่าตอบแทน หรือค่าชดเชยการเดินทาง และการเสียเวลาในการเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้

13. ท่านจะออกจากโครงการวิจัยนี้ได้ในกรณีใดบ้าง?

ผู้วิจัยถอนท่านออกจากโครงการวิจัย

ผู้ทำวิจัยอาจถอนท่านออกจากการเข้าร่วมการวิจัย เพื่อเหตุผลด้านความปลอดภัยของท่าน หรือเมื่อผู้สนับสนุนการวิจัยยุติการดำเนินงานวิจัย หรือในกรณีดังต่อไปนี้

- ท่านไม่สามารถปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัย
- ท่านใช้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่อนุญาตให้ใช้ในการวิจัยนี้
- ท่านเกิดอาการข้างเคียง หรือความผิดปกติจากการได้รับผลิตภัณฑ์ที่ที่ใช้ในการวิจัยนี้
- ท่านเกิดการบาดเจ็บรุนแรง หรือผู้วิจัยประเมินแล้วว่าท่านไม่สามารถเข้าร่วมโครงการต่อไปได้
- ท่านแพ้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้

14. ท่านจะได้รับการปกป้องรักษาข้อมูลความลับของท่านอย่างไรบ้าง?

ข้อมูลการวิจัยจะถูกเก็บในคอมพิวเตอร์ มีการปกป้องเข้าถึงข้อมูลโดยใช้การเข้ารหัส ซึ่งทีมผู้วิจัยเท่านั้นที่สามารถเข้าถึงได้ ข้อมูลเฉพาะที่อาจนำไปสู่การเปิดเผยตัวท่าน จะได้รับการปกปิดและจะไม่เปิดเผยแก่สาธารณชน ในกรณีที่ผลการวิจัยได้รับการตีพิมพ์ ชื่อและที่อยู่ของท่านจะต้องได้รับการปกปิดอยู่เสมอ โดยจะใช้เฉพาะรหัสประจำโครงการวิจัยของท่าน ทั้งนี้ ข้อมูลของท่านจะถูกจัดเก็บเป็นระยะเวลาทั้งหมด 2 ปี สถานที่เก็บคือ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และจะทำลายภายใน 2 ปี

จากการลงนามยินยอมของท่าน ผู้ทำวิจัยและผู้สนับสนุนการวิจัยสามารถเข้าไปตรวจสอบบันทึกข้อมูลทางการวิจัยและข้อมูลทางการแพทย์ของท่านได้ แม้จะสิ้นสุดโครงการวิจัยแล้วก็ตาม หากท่านต้องการยกเลิกการให้สิทธิ์ดังกล่าว ท่านสามารถแจ้ง หรือเขียนบันทึกขอยกเลิกการให้คำยินยอม โดยส่งไปที่ นางสาว ธิดารัตน์ ผาระนัด เลขที่ 40 หมู่ 4 ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา 30320

หากท่านขอยกเลิกการให้คำยินยอมหลังจากที่ท่านได้เข้าร่วมโครงการวิจัยแล้ว ข้อมูลส่วนตัวของท่านจะไม่ถูกบันทึกเพิ่มเติม อย่างไรก็ตามข้อมูลอื่น ๆ ของท่านอาจถูกนำมาใช้เพื่อประเมินผลการวิจัย และท่านจะไม่สามารถกลับมาเข้าร่วมในโครงการนี้ได้อีก ทั้งนี้ เนื่องจากข้อมูลของท่านที่จำเป็นสำหรับใช้เพื่อการวิจัยไม่ได้ถูกบันทึก

จากการลงนามยินยอมของท่านนั้น ผู้ทำวิจัยสามารถบอกรายละเอียดของท่านที่เกี่ยวกับการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ให้แก่แพทย์ผู้รักษาท่านได้

15. ท่านจะมีสิทธิ์อย่างไรบ้าง ในฐานะของผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย?

ในฐานะที่ท่านเป็นผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านจะมีสิทธิ์ดังต่อไปนี้

1. ท่านจะได้รับทราบถึงลักษณะและวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้
2. ท่านจะได้รับการอธิบายเกี่ยวกับระเบียบวิธีการของการวิจัย รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้
3. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงความเสี่ยงและความไม่สบายที่จะได้รับจากการวิจัย
4. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงประโยชน์ที่ท่านอาจจะได้รับจากการวิจัย

5. ท่านจะมีโอกาสได้ซักถามเกี่ยวกับงานวิจัยหรือขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
6. ท่านจะได้รับทราบว่าการยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ท่านสามารถขอถอนตัวจากโครงการเมื่อไรก็ได้ โดยผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยสามารถขอถอนตัวจากโครงการโดยไม่ได้รับผลกระทบใด ๆ ทั้งสิ้น
7. ท่านจะได้รับเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยและสำเนาเอกสารใบยินยอมที่มีทั้งลายเซ็นและวันที่
8. ท่านมีสิทธิ์ในการตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมในโครงการวิจัยหรือไม่ก็ได้ โดยปราศจากการใช้อิทธิพลบังคับข่มขู่ หรือการหลอกลวง

ถ้าท่านตัดสินใจแล้วว่าจะเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ขอให้ท่านลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมของโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณในการร่วมมือของท่านมา ณ ที่นี้

NU-IRB APPROVAL 29 July 2021

หากท่านไม่ได้รับการชดเชยอันควรต่อการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นโดยตรงจากการวิจัย หรือท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามที่ปรากฏในเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในการวิจัย ท่านสามารถร้องเรียนได้ที่ สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ดังรายละเอียดข้อมูลติดต่อด้านล่างนี้

ที่อยู่ สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

กลุ่ม 1 กลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ โทร. 055-968752 อีเมล nu-irb-board1@nu.ac.th	กองการวิจัยและนวัตกรรม งานจัดการมาตรฐานและเครือข่าย คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ชั้น 4 อาคารมหาธรรมราชา มหาวิทยาลัยนเรศวร เลขที่ 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000
กลุ่ม 2 กลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ โทร. 055-968642 อีเมล nu-irb-board2@nu.ac.th	
กลุ่ม 3 กลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางการแพทย์ โทร. 055-965296 อีเมล nu-irb-board3@nu.ac.th	สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ กลุ่มสาขาวิชาวิทยศาสตร์ทางการแพทย์ ชั้น 3 อาคารสิรินธร โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร เลขที่ 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000

สแกนเพื่อร้องเรียน

แบบฟอร์ม
การส่งเรื่องร้องเรียน
สำหรับอาสาสมัคร

NU-IRB APPROVED 29 July 2021

2. หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

NU-IRB# ..... AF 05-10/5.0

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

(สำหรับกลุ่มอาสาสมัครอายุมากกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี)

คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

โครงการวิจัย

เรื่อง.....การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการใช้ความดันสูงในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร.....

วันให้คำยินยอม วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว.....

ที่อยู่.....

ข้าพเจ้าได้อ่านรายละเอียดจากเอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยวิจัยที่แนบมาฉบับวันที่.....

ข้าพเจ้ายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยโดยสมัครใจ

ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยที่ข้าพเจ้าได้ลงนาม และวันที่ พร้อมด้วยเอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย

ทั้งนี้ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมให้ทำการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึง

- วัตถุประสงค์ของการวิจัย
- ระยะเวลาของการทำวิจัย
- วิธีการวิจัย
- อันตราย หรืออาการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย หรือจากยาที่ใช้
- ประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัย
- แนวทางรักษาโดยวิธีอื่นอย่างละเอียด

ข้าพเจ้ามีเวลาและโอกาสเพียงพอในการซักถามข้อสงสัยจนมีความเข้าใจอย่างดีแล้ว โดยผู้วิจัยได้ตอบคำถามต่าง ๆ ด้วยความเต็มใจไม่ปิดบังซ่อนเร้นจนข้าพเจ้าพอใจ

ข้าพเจ้ารับทราบจากผู้วิจัยว่าหากเกิดอันตรายใด ๆ จากการวิจัยดังกล่าว ข้าพเจ้าจะได้รับการรักษาพยาบาลโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ข้าพเจ้าจะได้รับการรักษาพยาบาลโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย และไม่ได้รับค่าชดเชยจากผู้สนับสนุนการวิจัย

ข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกเข้าร่วมในโครงการวิจัยเมื่อใดก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องแจ้งเหตุผล และการบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้ จะไม่มีผลต่อการรักษาโรคหรือสิทธิอื่น ๆ ที่ข้าพเจ้าจะพึงได้รับต่อไป

ผู้วิจัยรับรองว่าจะเก็บข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าเป็นความลับ และจะเปิดเผยได้เฉพาะเมื่อได้รับการยินยอมจากข้าพเจ้าเท่านั้น บุคคลอื่นในนามของ (บริษัท) ผู้สนับสนุนการวิจัย คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา) อาจได้รับอนุญาตให้เข้ามาตรวจและประมวลข้อมูลของข้าพเจ้า ทั้งนี้จะต้องกระทำไปเพื่อ

วัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเท่านั้น โดยการตกลงที่จะเข้าร่วมการศึกษานี้ข้าพเจ้าได้ให้คำยินยอมที่จะให้มีการตรวจสอบ (ข้อมูลประวัติทางการแพทย์) ของข้าพเจ้าได้

ผู้วิจัยรับรองว่าจะไม่มีการเก็บข้อมูลใด ๆ เพิ่มเติม หลังจากที่ข้าพเจ้าขอยกเลิกการเข้าร่วมโครงการวิจัยและต้องการให้ทำลายเอกสารและ/หรือ ตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบทั้งหมดที่สามารถสืบค้นถึงตัวข้าพเจ้าได้

ข้าพเจ้าเข้าใจว่า ข้าพเจ้ามีสิทธิ์ที่จะตรวจสอบหรือแก้ไขข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าและสามารถยกเลิกการให้สิทธิในการใช้ข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าได้ โดยต้องแจ้งให้ผู้วิจัยรับทราบ

ข้าพเจ้าได้ตระหนักว่าข้อมูลในการวิจัยรวมถึงข้อมูลทางการแพทย์ของข้าพเจ้าที่ไม่มีการเปิดเผยชื่อ จะผ่านกระบวนการต่าง ๆ เช่น การเก็บข้อมูล การบันทึกข้อมูลในแบบบันทึกและในคอมพิวเตอร์ การตรวจสอบ การวิเคราะห์ และการรายงานข้อมูลเพื่อวัตถุประสงค์ทางวิชาการ (รวมทั้งการใช้ข้อมูลทางการแพทย์ในอนาคตหรือการวิจัยทางด้านเภสัชภัณฑ์) เท่านั้น

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นและมีความเข้าใจดีทุกประการแล้ว ยินดีเข้าร่วมในการวิจัยด้วยความเต็มใจ จึงได้ลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมนี้

..... ลงนามผู้ให้ความยินยอม
(.....) ชื่อผู้ยินยอม
วันที่.....

ข้าพเจ้าได้อธิบายถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการไม่พึงประสงค์หรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย หรือจากยาที่ใช้ รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียด ให้ผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยตามนามข้างต้นได้ทราบและมีความเข้าใจดีแล้ว พร้อมลงนามลงในเอกสารแสดงความยินยอมด้วยความเต็มใจ

ชิดชัดน์ ผาระนัด ลงนามผู้ทำวิจัย
(นางสาวธิดารัตน์ ผาระนัด) ชื่อผู้ทำวิจัย
วันที่.....

..... ลงนามพยาน
(.....) ชื่อพยาน
วันที่.....

3. แบบคัดกรองอาสาสมัคร

รายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย (Questionnaire)
แบบคัดกรองก่อนการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้า ผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร

วัตถุประสงค์: เพื่อคัดกรองให้เกิดความปลอดภัยแก่อาสาสมัคร แบบสอบถามนี้เป็นการประเมินตนเองเบื้องต้นเท่านั้น การตัดสินใจทำการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร ขึ้นอยู่กับดุลพินิจของอาสาสมัคร

หมายเลขผู้ทดสอบ (Code).....

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม โปรดใส่เครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐

เพศ: ☐ ชาย ☐ หญิง

อายุ ☐ 20-30 ปี ☐ 31-40 ปี

ระดับการศึกษา ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก ☐ อื่น ๆ (โปรดระบุ)

ท่านยินยอมเข้าร่วมทำการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร หรือไม่

☐ ยินยอม ☐ ไม่ยินยอม

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกณฑ์การคัดเข้า และเกณฑ์การคัดออกของอาสาสมัคร โปรดใส่เครื่องหมาย ✓ ลงใน (ใช่) หรือ (ไม่ใช่) หรือเติมข้อความในช่องว่างที่ตรงกับตัวท่านมากที่สุด

ลำดับ	รายละเอียด	ใช่	ไม่ใช่	หมายเหตุ
1	ท่านมีอายุครบ 20 ปีบริบูรณ์ หรือไม่			
2	สามารถอ่านเขียนภาษาไทยได้ หรือไม่			
3	ยินยอมเข้าร่วมการวิจัยโดยสมัครใจ และลงนามในเอกสารให้ความยินยอมโดยสมัครใจ หรือไม่			
4	มีสภาวะการรับรสชาติอาหารเป็นปกติ หรือไม่			
5	มีประวัติการแพ้ส่วนประกอบที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำผึ้ง มะนาว เสาวรส ลิ้นจี่ เกลือ น้ำตาลทรายขาว น้ำตาลพาลาทีน โพลีเดกส์โตรส คาราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสบีนกัม หรือไม่			
6	ท่านตั้งครรภ์ หรือให้นมบุตร หรือไม่			

ลงชื่อผู้คัดกรอง.....

(.....)

วันที่.....

ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

4. เอกสารรับรองด้านจริยธรรมวิจัยในมนุษย์

AF 08-09/5.0

COA No. 335/2021
IRB No. P10148/64

คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 เบอร์โทรศัพท์ 05596 8752

หนังสือรับรองโครงการวิจัยครั้งแรก

คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ดำเนินการให้การรับรองโครงการวิจัยตามแนวทางหลักจริยธรรมการวิจัยในคนที่เป็นมาตรฐานสากล ได้แก่ Declaration of Helsinki, The Belmont Report, CIOMS Guideline และ International Conference on Harmonization in Good Clinical Practice หรือ ICH-GCP

ชื่อโครงการ : การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการใช้ความดันสูงในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร
ผู้วิจัยหลัก : นางสาวธิดารัตน์ ผาระนัด
สังกัดหน่วยงาน : คณะเกษตรศาสตร์ฯ
วิธีทบทวน : แบบเร่งรัด
รายงานความก้าวหน้า : ส่งรายงานความก้าวหน้าอย่างน้อย 1 ครั้ง/ปี หรือส่งรายงานฉบับสมบูรณ์หากดำเนินโครงการเสร็จสิ้นก่อน 1 ปี

เอกสารรับรอง

1.AF 01-10 เวอร์ชั่น 1.0 วันที่ 16 มิถุนายน 2564
2.AF 02-10 เวอร์ชั่น 1.0 วันที่ 16 มิถุนายน 2564
3.AF 03-10 เวอร์ชั่น 1.0 วันที่ 16 มิถุนายน 2564
4.AF 04-10 (สำหรับกลุ่มอาสาสมัครอายุมากกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี) เวอร์ชั่น 2.0 วันที่ 17 กรกฎาคม 2564
5.AF 05-10 (สำหรับกลุ่มอาสาสมัครอายุมากกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี) เวอร์ชั่น 1.0 วันที่ 16 มิถุนายน 2564
6.สรุปโครงการเพื่อการพิจารณาทางจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ เวอร์ชั่น 2.0 วันที่ 17 กรกฎาคม 2564
7.โครงการวิจัยฉบับเต็ม เวอร์ชั่น 2.0 วันที่ 17 กรกฎาคม 2564
8.ประวัติผู้วิจัย เวอร์ชั่น 1.0 วันที่ 16 มิถุนายน 2564
9.แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส เวอร์ชั่น 2.0 วันที่ 17 กรกฎาคม 2564
10.ใบรายงานผลการทดสอบชิม (5 สิ่งทดลอง) เวอร์ชั่น 2.0 วันที่ 17 กรกฎาคม 2564
11.ใบรายงานผลการทดสอบชิม (6 สิ่งทดลอง) เวอร์ชั่น 2.0 วันที่ 17 กรกฎาคม 2564
12.ใบรายงานผลการทดสอบชิม (3 สิ่งทดลอง) เวอร์ชั่น 2.0 วันที่ 17 กรกฎาคม 2564
13.แบบคัดกรอง เวอร์ชั่น 2.0 วันที่ 17 กรกฎาคม 2564
14.งบประมาณของโครงการวิจัย เวอร์ชั่น 1.0 วันที่ 16 มิถุนายน 2564
15.เอกสารเชิญชวนอาสาสมัคร เวอร์ชั่น 1.0 วันที่ 17 กรกฎาคม 2564

ลงนาม:.....
(นายแพทย์สมบูรณ์ ตันสุภสวัสดิกุล)
ประธานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

วันที่รับรอง : 29 กรกฎาคม 2564
วันหมดอายุ : 29 กรกฎาคม 2565

ทั้งนี้ การรับรองนี้มีเงื่อนไขดังที่ระบุไว้ด้านหลังทุกข้อ (ดูด้านหลังของเอกสารรับรองโครงการวิจัย)

นักวิจัยทุกท่านที่ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยต้องปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. ดำเนินการวิจัยตามที่ระบุไว้ในโครงการวิจัยอย่างเคร่งครัด
2. ใช้เอกสารแนะนำอาสาสมัคร ใบยินยอม (และเอกสารเชิญเข้าร่วมวิจัยหรือใบโฆษณาถ้ามี) แบบสัมภาษณ์ และหรือแบบสอบถาม เฉพาะที่มีตราประทับของคณะกรรมการจริยธรรมในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวรเท่านั้น และส่งสำเนาเอกสารดังกล่าวที่ใช้กับผู้เข้าร่วมวิจัยจริงรายแรกมาที่คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ เพื่อเก็บไว้เป็นหลักฐาน
3. รายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงที่เกิดขึ้นหรือการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมวิจัยใด ๆ ต่อคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ภายในระยะเวลาที่กำหนดในวิธีดำเนินการมาตรฐาน (SOPs)
4. ส่งรายงานความก้าวหน้าต่อคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ตามเวลาที่กำหนดหรือเมื่อได้รับการร้องขอ
5. หากการวิจัยไม่สามารถดำเนินการเสร็จสิ้นภายในกำหนด ผู้วิจัยต้องยื่นขออนุมัติใหม่ก่อน อย่างน้อย 1 เดือน
6. หากผู้วิจัยส่งรายงานความก้าวหน้าหลังใบรับรองหมดอายุ และยังไม่ได้ใบรับรองฉบับใหม่ ผู้วิจัยจะต้องหยุดดำเนินการวิจัยส่วนที่เกี่ยวข้องกับการรับอาสาสมัครใหม่ นับตั้งแต่หลังวันใบรับรองหมดอายุจนกว่าจะได้รับใบรับรองฉบับใหม่
7. หากการวิจัยเสร็จสมบูรณ์ผู้วิจัยต้องแจ้งปิดโครงการตามแบบฟอร์มของคณะกรรมการจริยธรรมในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

*รายชื่อของคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ (ชื่อและตำแหน่ง) ที่เข้าร่วมประชุม ณ วันที่พิจารณารับรองโครงการวิจัย (หากร้องขอล่วงหน้า)

Institutional Review Board
NU - IRB
Naresuan University

5. เอกสารรับรองด้านความปลอดภัยทางชีวภาพ

ใบรับรองด้านความปลอดภัยทางชีวภาพ

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการใช้ความดันสูงในผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยน้ำว้าผสมไฮโดรบีดส์เสริมใยอาหาร
ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ)	Study Conditions of High Pressure Processing on Kluai Nam Wa (ABB group) Jelly Mixed with Hydro beads
ชื่อผู้วิจัย	นางสาวธิดารัตน์ ผาระนัด
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพร กงบังเกิด
สังกัดหน่วยงาน/คณะ	คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
เลขสำคัญโครงการ	NUIBC MI 64-07-27
เลขที่รับรองโครงการ	65-19
ประเภทการรับรอง	งานประเภทที่ 2
การรับรองครั้งที่ 1	ข้อเสนอการวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณาและรับรองจากคณะกรรมการเพื่อความปลอดภัยทางชีวภาพ มหาวิทยาลัยนเรศวร ครั้งที่ 6/2565 เมื่อวันที่ 8 มีนาคม 2565 เห็นว่ามีความสอดคล้องกับแนวทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางชีวภาพ จึงเห็นควรให้ดำเนินการวิจัยด้านความปลอดภัยทางชีวภาพ ตามข้อเสนอการวิจัยนี้ได้
วันหมดอายุครั้งที่ 1	8 มีนาคม 2566

ลงนาม

(ดร.จิสาข์ สุพรรณไพบูลย์)
ประธานคณะกรรมการเพื่อความปลอดภัยทางชีวภาพ
มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยนเรศวร

หมายเหตุ ใบรับรองฉบับนี้ใช้ควบคู่กับหนังสือราชการ เลขที่ อว 0603.01.13(1)/ว 0565 ลงวันที่ 14 มีนาคม 2565

ผู้วิจัยที่ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการเพื่อความปลอดภัยทางชีวภาพ มหาวิทยาลัยนเรศวร จะต้องปฏิบัติตามระเบียบของคณะกรรมการเพื่อความปลอดภัยทางชีวภาพ ดังต่อไปนี้

1. เอกสารรับรองโครงการ จะมีผลครอบคลุมตั้งแต่วันที่ออกเอกสารรับรองจนถึงวันหมดอายุการรับรอง และการต่ออายุ
2. ผู้วิจัยจะต้องดำเนินการตามโครงการวิจัยที่ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการฯ อย่างเคร่งครัด
3. หากมีการเปลี่ยนแปลงส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงการวิจัย หรือระเบียบวิธีการวิจัย ผู้วิจัยจักแจ้งให้ประธานคณะกรรมการฯ ทราบเพื่อขอการรับรองในส่วนที่แก้ไขเพิ่มเติม

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

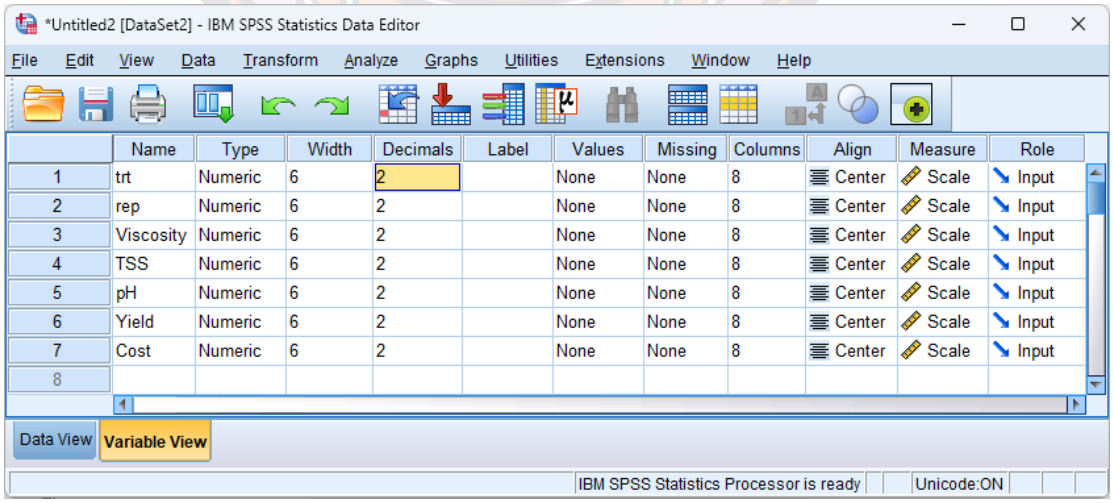
(Statistics 17.0, Copyright© 2017)

1. การใช้ F–test ในการวิเคราะห์ข้อมูลในแผนการทดลองแบบ CRD

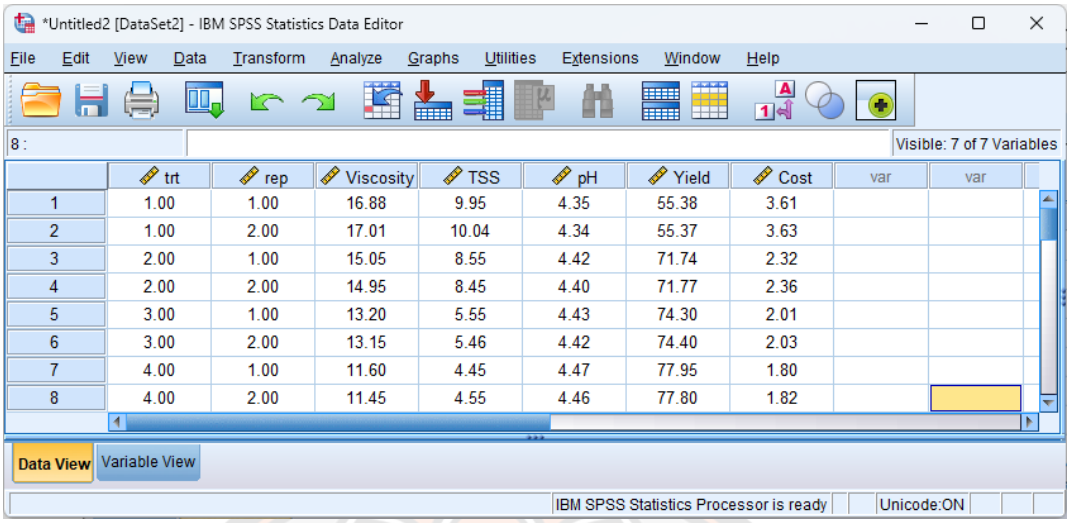
แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) เป็นแผนการทดลองที่มีความแปรปรวนของปัจจัยทางเดียว ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจะเกิดจากสิ่งทดลองเท่านั้น ในการศึกษานี้ ได้ทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร ทั้ง 3 สิ่งทลอง โดยใช้การวิเคราะห์ General linear model แบบ Univariate ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 2 กลุ่ม (สิ่งทดลอง) ขึ้นไป ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ เช่น ตัวอย่างการเปรียบเทียบคุณลักษณะทางด้านความข้นหนืด (cP) (ที่ 30±2°C) ของน้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อปริมาณน้ำแตกต่างกัน จำนวน 4 สิ่งทดลอง ว่ามีค่าความชื้นแตกต่างกันหรือไม่ เป็นต้น โดยการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS มีรายละเอียดดังนี้

1.1 การวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

1) ป้อนข้อมูลโดยกำหนดตัวแปรในหน้า Variable view (ภาพผนวก 2) และป้อนค่าที่ได้จากการทดลองในหน้า Data view (ภาพผนวก 3)

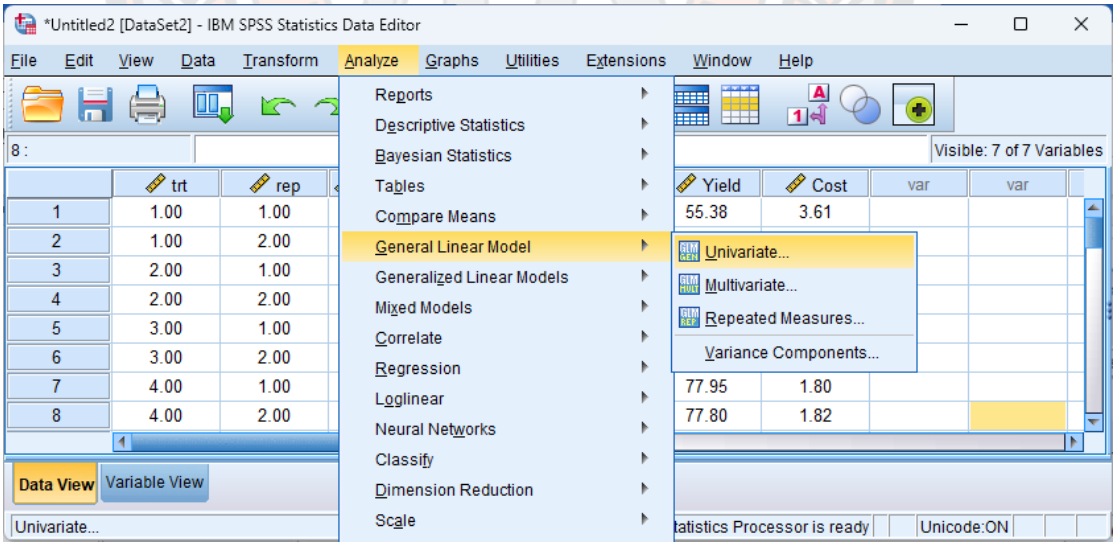


ภาพผนวก 2



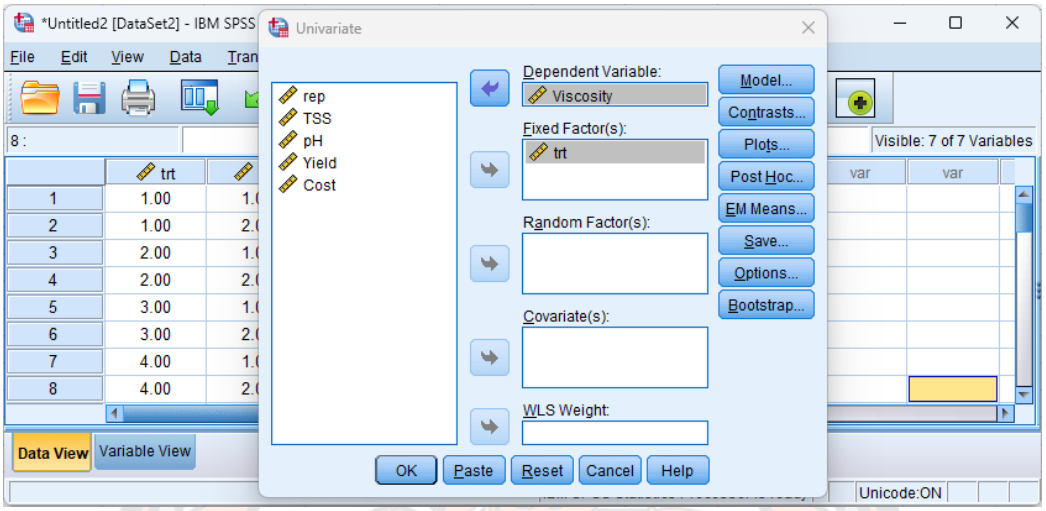
ภาพผนวก 3

2). ทำการวิเคราะห์ผลโดยเลือกเมนู Analyze เลือก General Linear Model แล้วทำการเลือก Univariate (ภาพผนวก 4)



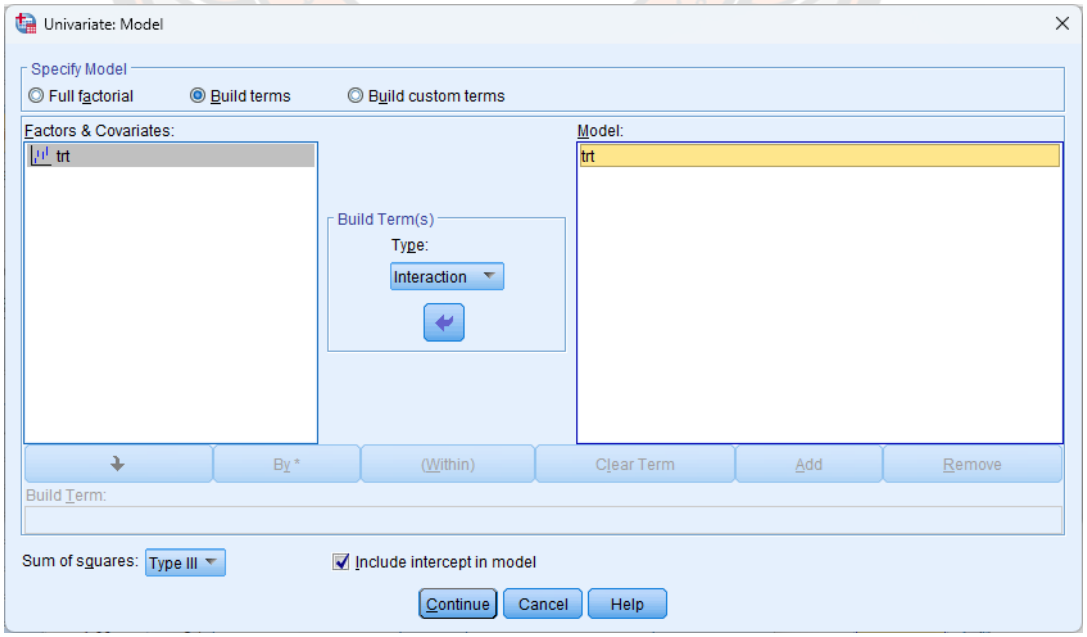
ภาพผนวก 4

3) จะปรากฏหน้าต่าง เลือกค่าที่วัด (Viscosity) ไปอยู่ในช่อง Dependent variable และเลือกตัวแปรในการทดลอง (จากตัวอย่างคือ Trt) เป็น Fixed factor (s) (ภาพผนวก 5)



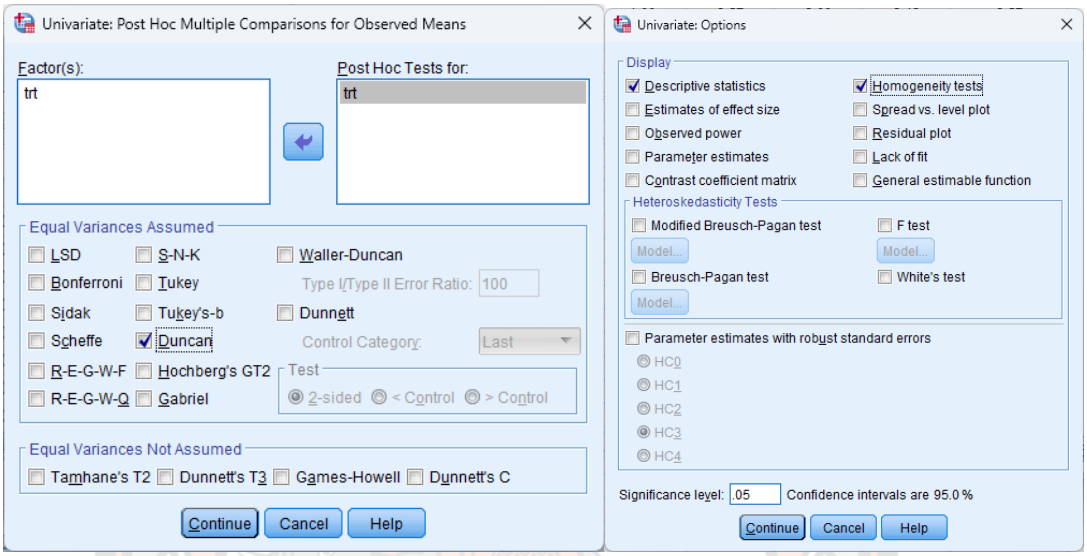
ภาพผนวก 5

4) เลือก Post Hoc เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยเอา Trt เข้าไปใน Post Hoc



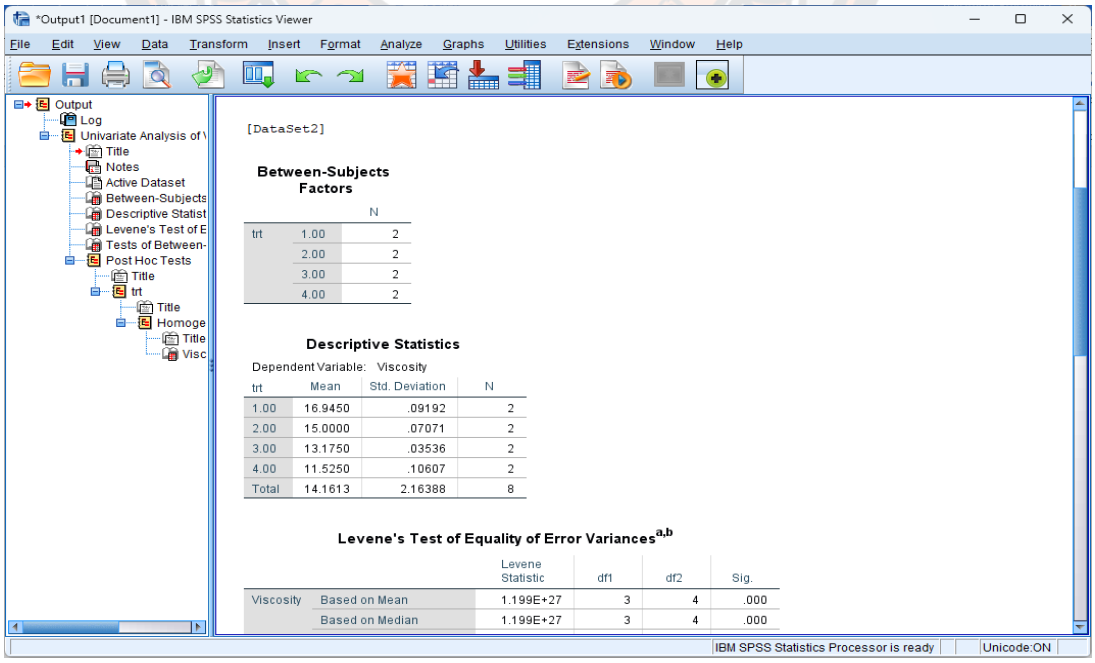
ภาพผนวก 6

5) เลือกวิธีทดสอบ (Multiple comparison) ได้ เช่น LSD หรือ Duncan แล้วคลิก Continue (ภาพผนวก 7)



ภาพผนวก 7

6) จากนั้นคลิก Continue แล้วคลิก OK จะได้ผลการวิเคราะห์ใน Output ดังภาพผนวก 8



ภาพผนวก 8

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Viscosity

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	32.751[a]	3	10.917	1682.751	.000
Intercept	1604.328	1	1604.328	247295.262	.000
trt	32.751	3	10.917	1682.751	.000
Error	.026	4	.006		
Total	1637.105	8			
Corrected Total	32.776	7			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Viscosity

	(I) trt	(J) trt	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	1.00	2.00	1.9450*	.08055	.000	1.7214	2.1686
		3.00	3.7700*	.08055	.000	3.5464	3.9936
		4.00	5.4200*	.08055	.000	5.1964	5.6436
	2.00	1.00	-1.9450*	.08055	.000	-2.1686	-1.7214
		3.00	1.8250*	.08055	.000	1.6014	2.0486
		4.00	3.4750*	.08055	.000	3.2514	3.6986
	3.00	1.00	-3.7700*	.08055	.000	-3.9936	-3.5464
		2.00	-1.8250*	.08055	.000	-2.0486	-1.6014
		4.00	1.6500*	.08055	.000	1.4264	1.8736
	4.00	1.00	-5.4200*	.08055	.000	-5.6436	-5.1964
		2.00	-3.4750*	.08055	.000	-3.6986	-3.2514
		3.00	-1.6500*	.08055	.000	-1.8736	-1.4264

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .006.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

1.2 การอ่าน Output ของ SPSS

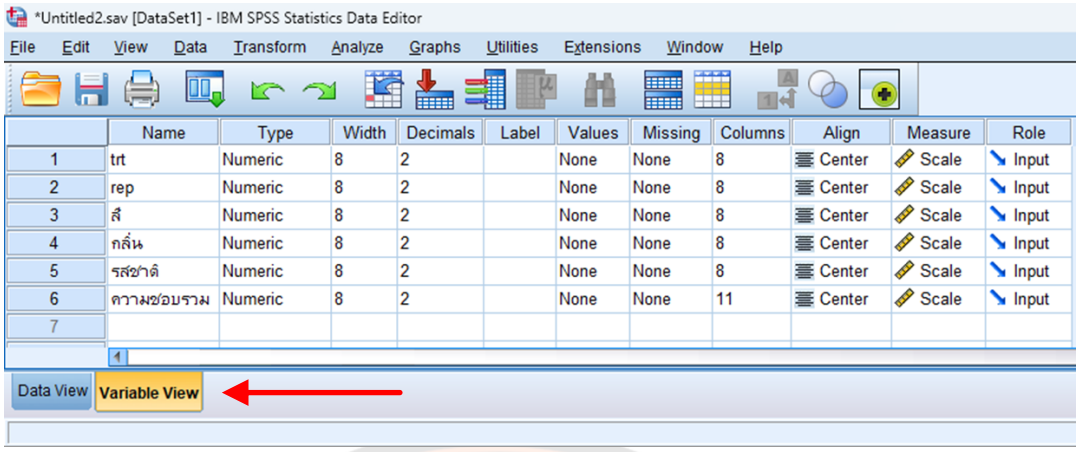
ตาราง ANOVA ที่ได้จะสรุปได้ว่า Treatment มีผลต่อสิ่งที่เราวัดหรือไม่ ซึ่งสังเกตได้จากค่า Sig ที่ได้ถ้ามีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญหรือค่า α ที่เราตั้งไว้คือ 0.05 แสดงว่าสิ่งทดลอง (Treatment) ที่ทำการทดลองมีผลต่อค่า Y ที่เราวัด (Viscosity แต่ในทางกลับกันถ้าค่า Sig ที่ได้มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่า Treatment ไม่มีผลต่อค่า Y ที่เราวัดในตาราง Post Hoc แสดงให้เห็นว่าแต่ละ Treatment มีความแตกต่างกันอย่างไร จากผลที่ได้แสดงว่าทุก Treatment ที่ทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยจากผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าปริมาณพาลาทีนที่นำมาใช้ส่งผลให้น้ำกล้วยน้ำว้ามีค่าความข้นหนืด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. การใช้ F-test ในการวิเคราะห์ข้อมูลในแผนการทดลองแบบ RCBD

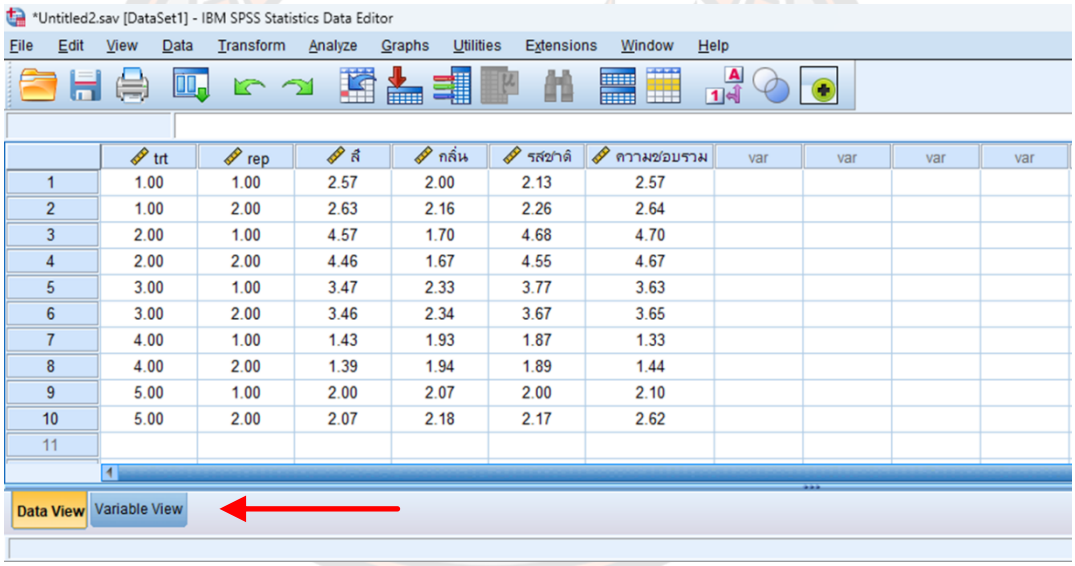
แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized complete block design: RCBD) เป็นแผนการทดลองที่มีความแปรปรวนของปัจจัย 2 ทาง ซึ่งแผนการทดลองนี้ สิ่งทดลองถูกสุ่มจัดลงในบล็อก เพื่อให้ภายในบล็อกมีความสม่ำเสมอมากที่สุด โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้การวิเคราะห์ General linear model แบบ Univariate เช่นเดียวกับแผนการทดลองแบบ CRD แต่นอกจากจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 2 กลุ่ม (สิ่งทดลอง) ขึ้นไป ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่แล้ว ยังสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของบล็อก (หรือผู้ทดสอบชิม) ไปในเวลาเดียวกันได้ เช่น ตัวอย่างการเปรียบเทียบคะแนนด้านสี ของตัวอย่างน้ำกล้วยน้ำว้าที่ใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อปริมาณน้ำแตกต่างกัน จำนวน 4 สิ่งทดลอง โดยผู้ทดสอบชิมจานวน 30 คน ว่าให้คะแนนความชอบด้านสีแตกต่างกันหรือไม่ เป็นต้น

1.1 การวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรม SPSS

1) ป้อนข้อมูลโดยกำหนดตัวแปรในหน้า Variable view (ภาพผนวก 9) และป้อนค่าที่ได้จากการทดลองในหน้า Data view (ภาพผนวก 10)

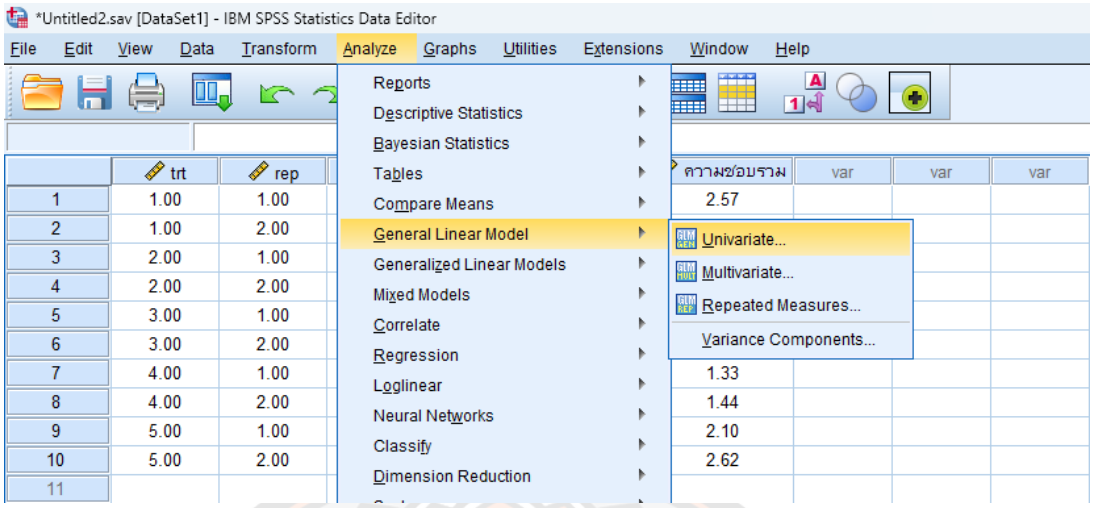


ภาพผนวก 9



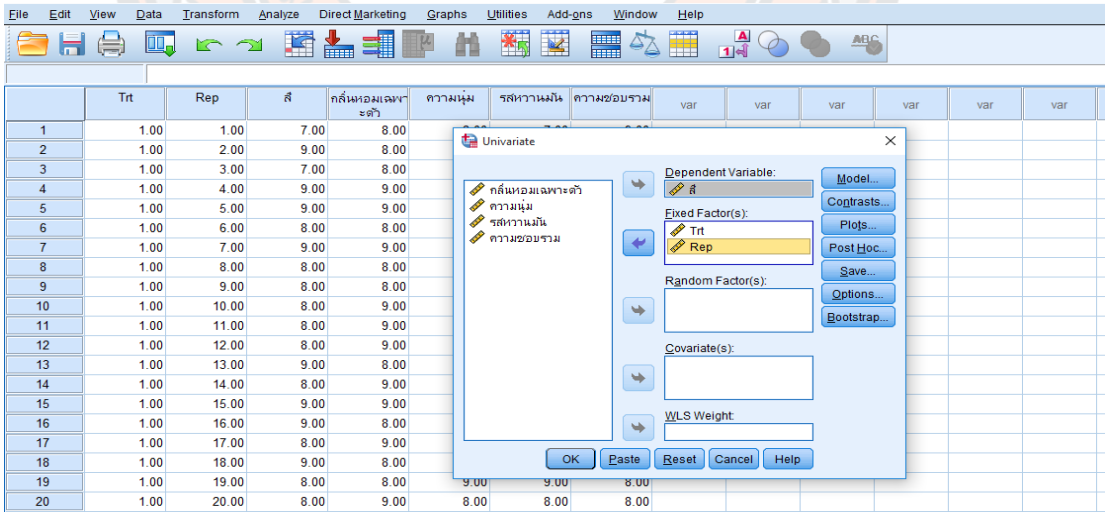
ภาพผนวก 10

2). ทำการวิเคราะห์ผลโดยเลือกเมนู Analyze เลือก General Linear Model แล้วทำการเลือก Univariate (ภาพผนวก 11)



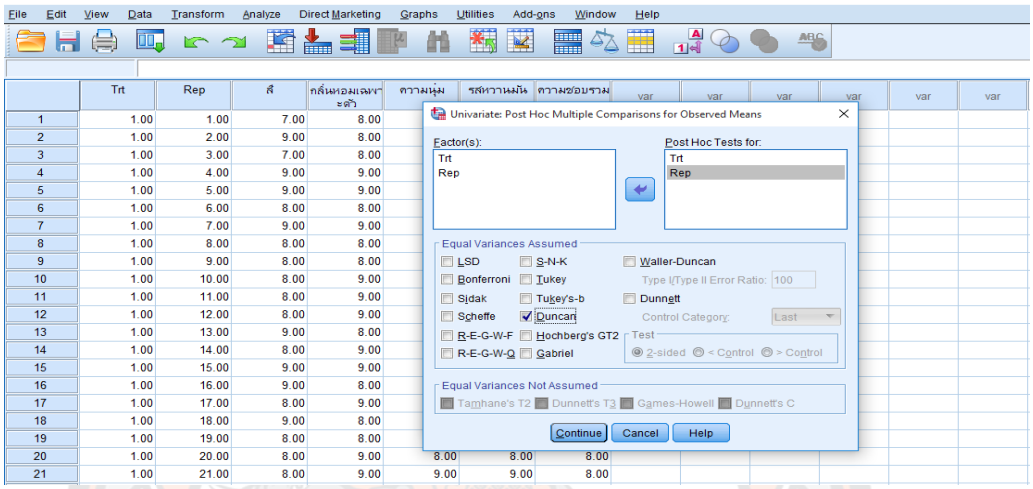
ภาพผนวก 11

3) จะปรากฏหน้าต่าง เลือกค่าที่วัด (ค่าสี) ไปอยู่ในช่อง Dependent variable และเลือกตัวแปรในการทดลอง (จากตัวอย่างคือ Trt และ Rep) เป็น Fixed factor (s) (ภาพผนวก 12)



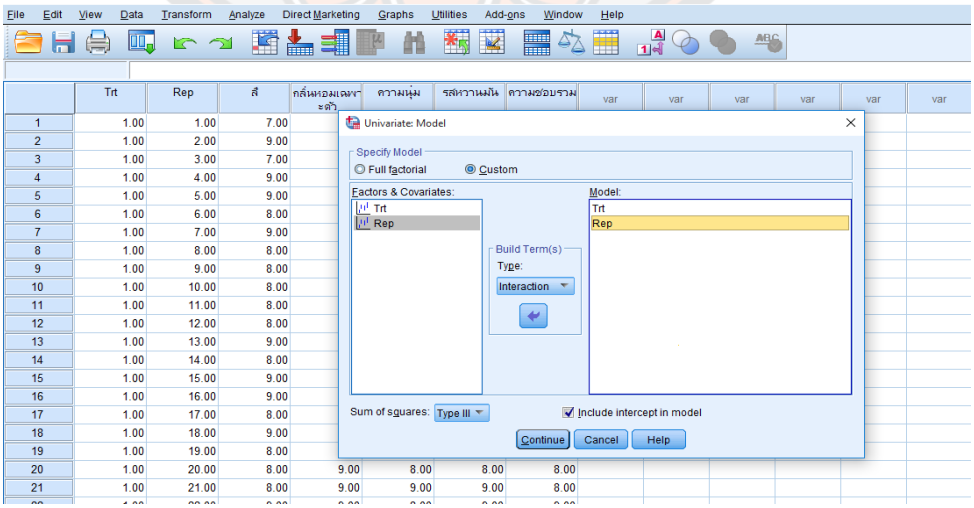
ภาพผนวก 12

4) เลือก Post Hoc เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยเอา Trt และ Rep เข้าไปใน Post Hoc Tests for และสามารถเลือกวิธีทดสอบ (Multiple comparison) ได้ เช่น LSD หรือ Duncan แล้วคลิก Continue (ภาพผนวก 13)



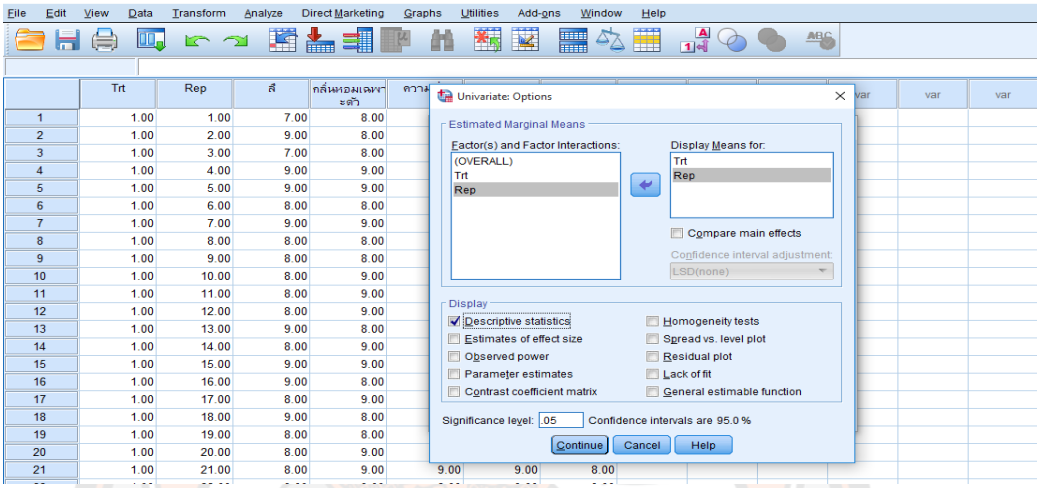
ภาพผนวก 13

5) เลือก Model เพื่อกำหนดรูปแบบตัวแปรและ interaction ในการทดสอบ โดยคลิกที่ Custom แล้วเอา Trt และ Rep เข้าไปใน Model โดยในกรณีนี้ ไม่ต้องเลือก Interaction คือ Trt * Rep เข้าไปใน Model แล้วคลิก Continue (ภาพผนวก 14)



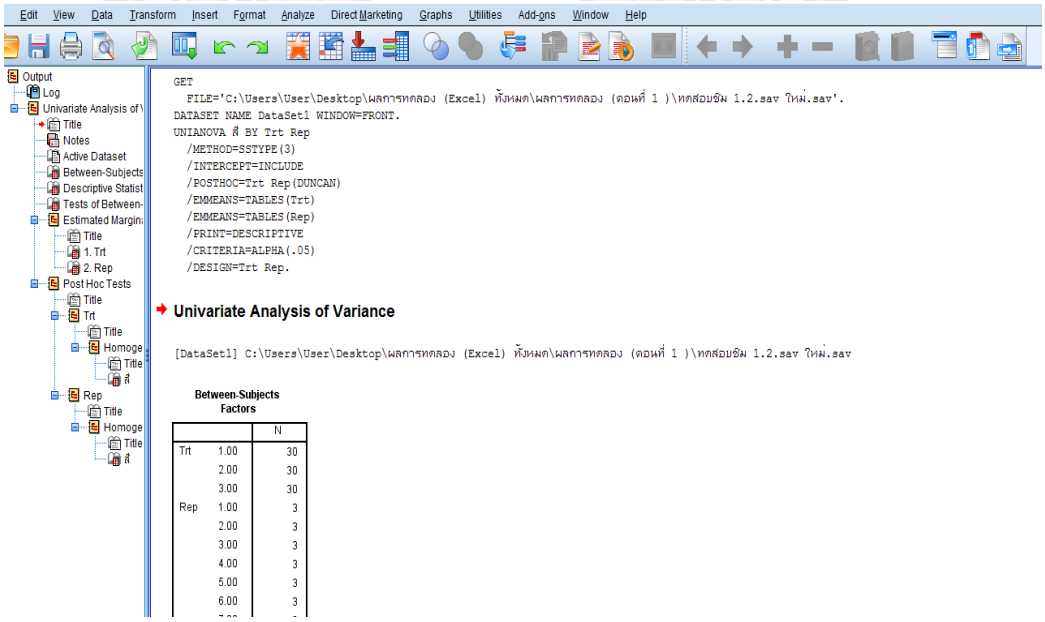
ภาพผนวก 14

6) และสามารถเลือกระดับนัยสำคัญที่ต้องการที่ Significant level และหากต้องการให้แสดงค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลองพร้อมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ให้คลิกที่ Descriptive statistics (ภาพผนวก 15)



ภาพผนวก 15

7) จากนั้นคลิก Continue แล้วคลิก OK จะได้ผลการวิเคราะห์ใน output (ภาพผนวก 16)



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	ธิดารัตน์ ผาระนัด
วัน เดือน ปี เกิด	20 พฤษภาคม 2538
ที่อยู่ปัจจุบัน	40 หมู่ 4 ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา 30320
ที่ทำงานปัจจุบัน	คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	นักศึกษา
ประสบการณ์การทำงาน	บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2560: วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก
ผลงานตีพิมพ์	– จารุวรรณ ทองสนิท โอคุมุระ อัจฉรา แสนคม ธิดารัตน์ ผาระนัด วรรณภา สระพินครบุรี เฉลิมพล ถนอมวงค์ และอรรณพ ทัศนอุดม. 2567. สภาวะที่เหมาะสมของการใช้ความดันสูงในการผลิตเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร. วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ – จารุวรรณ ทองสนิท โอคุมุระ ธิดารัตน์ ผาระนัด วรรณภา สระพินครบุรี เฉลิมพล ถนอมวงค์ และอรรณพ ทัศนอุดม. 2566. สภาวะที่เหมาะสมของการใช้ความดันสูงในการผลิตเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร. การนำเสนอภาคบรรยาย ในการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 6 ระหว่างวันที่ 27–28 เมษายน 2566 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา – ธิดารัตน์ ผาระนัด อรรณพ ทัศนอุดม และธีรพร กงบังเกิด. 2565. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารโดยใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาล. การนำเสนอภาคบรรยาย ในงานประชุมวิชาการระดับชาติ “นเรศวรวิจัยและนวัตกรรม” ครั้งที่ 18 (206–218) พิษณุโลก: กองการวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร. (Full proceeding) – อรรณพ ทัศนอุดม ธิดารัตน์ ผาระนัด และวรรณภา สระพินครบุรี. 2563. ผลของสภาวะฆ่าเชื้อระดับสเตอริไลซ์ต่อคุณภาพและความปลอดภัยของเยลลี่ทุเรียนที่ใช้ซูคราโลสทดแทนน้ำตาลบางส่วน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 51:1(พิเศษ): 150–156.

– ธิดารัตน์ ผาระนัด และ อรรณพ ทัศนอุดม. 2562. ผลของขนาดอนุภาคและวิธีการเคลือบต่อการยึดติดของผงปรุงรสในผลิตภัณฑ์มะคาเดเมียและเมล็ดบัวปรุงรส. วารสารการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. 11: 15–33.
– ธิดารัตน์ ผาระนัด. อัญชัน อ่อนเส็ง และอรรณพ ทัศนอุดม. 2562. ผลของพลาสมาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของมะคาเดเมียและเมล็ดบัว ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวปรุงรส. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมทางวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 8.