



รายงานการวิจัย  
เรื่อง

การพัฒนาคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ร่วมกับไคโตซาน  
Mulberry juice caviar development with chitosan

นายอัศพงษ์ อุประวรรณ

มหาวิทยาลัยสวन्दุสิต

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวन्दุสิต



รายงานการวิจัย  
เรื่อง

การพัฒนาคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ร่วมกับไคโตซาน  
Mulberry juice caviar development with chitosan

นายอัศพงษ์ อุประวรรณ  
(โรงเรียนการเรือน)

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต  
2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต  
(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัย ปีงบประมาณ 2561)

หัวข้อวิจัย	การพัฒนาคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ร่วมกับโคโตซาน
ผู้ดำเนินการวิจัย	นายอัศพงษ์ อุประวรรณ
หน่วยงาน	หลักสูตรเทคโนโลยีการประกอบอาหารและการบริการ โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ศูนย์การศึกษานอกที่ตั้ง ลำปาง
ปี พ.ศ.	2562

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ด้วยสารละลายโซเดียมอัลจินेटที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 (ALG 0.5, ALG 1.0, ALG 1.5 และ ALG 2.0 ตามลำดับ) และผลของการผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ด้วยสารละลายโซเดียมอัลจินेटผสมกับโคโตซานที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 (CHI 0.5, CHI 1.0, CHI 1.5 และ CHI 2.0 ตามลำดับ) ที่มีต่อคุณภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินेटส่งผลต่อทั้งปริมาณผลผลิตและสมบัติด้านต่าง ๆ ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้ โดย ALG 1.5 คือ คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่มีคุณภาพดี และได้รับความชอบโดยรวมสูงสุด ซึ่งได้รับคัดเลือกไปใช้ในการเตรียมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (อุณหภูมิแช่เย็นที่ประมาณ 4 – 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้องที่ประมาณ 26 – 32 องศาเซลเซียส) โดยพบว่าความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานส่งผลต่อทั้งปริมาณผลผลิตและสมบัติด้านต่าง ๆ ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่เตรียมได้ โดยขนาดอนุภาค ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และกิจกรรมกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอลดลงระหว่างการเก็บรักษา การเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นช่วยลดการสูญเสียคุณภาพด้านต่าง ๆ ช่างต้นได้ดีกว่า นอกจากนี้ CHI 1.0 คือ คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่มีคุณภาพดี และมีการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียทั้งหมดและเชื้อยีสต์และราทั้งหมดต่ำสุด รวมทั้งได้รับความชอบในด้านลักษณะปรากฏ ( $8.00 \pm 0.56$ ) สี ( $7.35 \pm 0.75$ ) เนื้อสัมผัส ( $8.15 \pm 0.88$ ) และความชอบโดยรวม ( $6.95 \pm 0.69$ ) อยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อเสิร์ฟผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานพร้อมกับเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ พบว่า ได้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏอยู่ในเกณฑ์ชอบมาก ส่วนในด้านสี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมได้คะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง ในขณะที่ คะแนนความชอบในด้านกลิ่น รสหวาน และรสเปรี้ยวได้รับความชอบอยู่ในเกณฑ์เฉย ๆ และชอบเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน คือ อีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ทางเลือกที่ดีต่อสุขภาพ

<b>Research Title</b>	Mulberry juice caviar development with chitosan
<b>Researcher</b>	Mr. Utsaphong Uprarawanna
<b>Organization</b>	Division of Culinary Technology and Service, School of Culinary Arts, Suan Dusit Rajabhat University, Lampang Center
<b>Year</b>	2019

The objectives of this research were to study effect of sodium alginate concentrations (0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 %, w/w) and chitosan concentrations (0, 0.5, 1.0 and 1.5 %, w/w) on qualities of chitosan mixed mulberry caviar product and sensory acceptance of the product. Changes in qualities of the mulberry caviar during storage under different temperatures namely chilling (approximately 4 – 10 °C) and ambient (approximately 26 – 32 °C) temperatures were also investigated. The result indicated that alginate concentration affected production yield and several properties of the mulberry caviar. ALG 1.5 was mulberry caviar of high qualities and also the highest overall sensory acceptance. Thus, ALG 1.5 was selected to be an alginate base formula for preparing the chitosan-mixed mulberry caviar. Chitosan concentration also affected production yield and several properties of the chitosan-mixed mulberry caviar. Size, total phenolic content, total anthocyanin content, and DPPH radical scavenging activity were continuously decreased during storage for both chilling and ambient temperatures. However, the chilling temperature could reduce the loss of these parameters as come and with those of storage at ambient temperature. Interestingly, CHI 1.0 provided high product quality and also the lowest microbial growth during storage. In addition, it got the high score in sensory attributes including appearance ( $8.00 \pm 0.56$ ), color ( $7.35 \pm 0.75$ ), texture ( $8.15 \pm 0.88$ ), and overall acceptance ( $6.95 \pm 0.69$ ). When CHI 1.0 was served with alcohol beverage, it got the best score for appearance and the medium score for color, texture and overall acceptance. However, it got the dislike score for sourness. Chitosan-mixed mulberry caviar product is an alternative for health care people.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2561 ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง  
หวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานวิจัยฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการศึกษาต่อยอดให้  
กับผู้สนใจและเกี่ยวข้องกับงานด้านนี้ต่อไป

นายอัศพงษ์ อุประวรรณ

2562

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
<b>บทที่ 1    บทนำ</b>	<b>1</b>
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2    แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
มัลเบอร์รี่ (Mulberry)	4
โมเลกุลาร์แกสโตรโนมี (Molecular gastronomy)	5
อัลจีเนต (Alginate)	5
ไคโตซาน (Chitosan)	6
สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compounds)	7
<b>บทที่ 3    วิธีดำเนินการวิจัย</b>	<b>9</b>
การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมัลเบอร์รี่	9
การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอัลจีเนตที่เหมาะสมในการผลิต คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่	10
การศึกษาผลของการใช้ไคโตซานที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ระหว่างการเก็บรักษา	13
การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่	16

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย</b>	<b>17</b>
สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมัลเบอร์รี่ที่ใช้ในการผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่	17
ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอัลจินเตที่เหมาะสมใน การผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่	18
การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานในระหว่าง การเก็บรักษา	35
ผลการศึกษารายอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ ผสมโคโตซาน	53
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ</b>	<b>55</b>
สรุปผลการวิจัย	55
ข้อเสนอแนะ	55
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>56</b>
บรรณานุกรมภาษาไทย	56
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	56
<b>ภาคผนวก</b>	<b>64</b>
ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมีและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ	65
ภาคผนวก ข รูปภาพประกอบงานวิจัย	72
ภาคผนวก ค แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	78
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	<b>80</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	อัตราส่วนของส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี	11
3.2	อัตราส่วนของส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รีผสมโคโตซาน	13
4.1	สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมัลเบอร์รีเข้มข้น ร้อยละ 50	18
4.2	สมบัติทางเคมีกายภาพของส่วนผสมที่เตรียมได้จากสารละลาย	21
4.3	ปริมาณผลผลิตและลักษณะรูปร่างของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รีที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินेटที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	21
4.4	สมบัติทางเคมีกายภาพของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รีที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินेटที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	25
4.5	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รีที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินेटที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	25
4.6	ข้อมูลทางด้านเนื้อสัมผัสของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รีที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินेटที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	26
4.7	คุณภาพทางประสาทสัมผัสของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รีที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินेटที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	27
4.8	สมบัติทางเคมีกายภาพของส่วนผสมที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินेटผสมโคโตซานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	29
4.9	ปริมาณผลผลิตและลักษณะรูปร่างของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รีผสมโคโตซานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	29
4.10	สมบัติทางเคมีกายภาพของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รีผสมโคโตซานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	32
4.11	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รีผสมโคโตซานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	33
4.12	ข้อมูลทางด้านเนื้อสัมผัสของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รีผสมโคโตซานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	34
4.13	การเปลี่ยนแปลงค่า hardness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รีผสมโคโตซานระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	44
4.14	การเปลี่ยนแปลงค่า adhesiveness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รีผสมโคโตซานระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	45

ตารางที่	หน้า
4.15	46
การเปลี่ยนแปลงค่า springiness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	
4.16	47
การเปลี่ยนแปลงค่า cohesiveness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	
4.17	48
การเปลี่ยนแปลงค่า gumminess ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	
4.18	49
การเปลี่ยนแปลงค่า chewiness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	
4.19	51
การเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสม โคโตซานในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	
4.20	52
การเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อยีสต์และราทั้งหมดในคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ ผสมโคโตซานในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	
4.21	53
คุณภาพทางประสาทสัมผัสของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่ ผ่านการตรวจทางจุลินทรีย์	
4.22	54
คุณภาพทางประสาทสัมผัสของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่ เสิร์ฟพร้อมกับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์	

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ลักษณะของผลมัลเบอร์รี่	4
2.2	โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์อัลจินต	6
2.3	โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์ไคโตซาน	7
4.1	ลักษณะของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินตที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน (ก) ร้อยละ 0.5 (ข) ร้อยละ 1.0 (ค) ร้อยละ 1.5 และ (ง) ร้อยละ 2.0	20
4.2	ลักษณะของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินตผสมไคโตซานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน (ก) ร้อยละ 0.5 (ข) ร้อยละ 1.0 (ค) ร้อยละ 1.5 และ (ง) ร้อยละ 2.0	30
4.3	การเปลี่ยนแปลงของขนาดคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแตกต่างกัน (ก) อุณหภูมิภายในตู้เย็น (ประมาณ 5 – 10 องศาเซลเซียส) และ (ข) อุณหภูมิห้องทั่วไป (ประมาณ 26 – 32 องศาเซลเซียส)	36
4.4	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแตกต่างกัน (ก) อุณหภูมิภายในตู้เย็น (ประมาณ 5 – 10 องศาเซลเซียส) และ (ข) อุณหภูมิห้องทั่วไป (ประมาณ 26 – 32 องศาเซลเซียส)	38
4.5	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแตกต่างกัน (ก) อุณหภูมิภายในตู้เย็น (ประมาณ 5 – 10 องศาเซลเซียส) และ (ข) อุณหภูมิห้องทั่วไป (ประมาณ 26 – 32 องศาเซลเซียส)	40
4.6	การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมไคโตซานที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแตกต่างกัน (ก) อุณหภูมิภายในตู้เย็น (ประมาณ 5 - 10 องศาเซลเซียส) และ (ข) อุณหภูมิห้องทั่วไป (ประมาณ 26 – 32 องศาเซลเซียส)	42
ก-1	กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	68
ข-1	ลักษณะของ ALG 0.5	73
ข-2	ลักษณะของ ALG 1.0	73

ภาพที่		หน้า
ข-3	ลักษณะของ ALG 1.5	74
ข-4	ลักษณะของ ALG 2.0	74
ข-5	ลักษณะของ CHI 0.5	75
ข-6	ลักษณะของ CHI 1.0	75
ข-7	ลักษณะของ CHI 1.5	76
ข-8	คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่เสิร์ฟพร้อมกับเครื่องดื่มแอลกอฮอล์	76
ข-9	อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ขนาดของเม็ดคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่	77

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญ

มัลเบอร์รี่หรือหม่อน (Mulberry fruit) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Morus nigra* L. เป็นพืชที่เพาะปลูกเพื่อใช้ใบเป็นอาหารในการเลี้ยงหนอนไหม ซึ่งสร้างเส้นใยไหมเพื่อการผลิตเครื่องนุ่งห่ม นอกจากนี้ ผลมัลเบอร์รี่ยังสามารถรับประทานได้ ประเทศไทยมีการพัฒนาสายพันธุ์ของมัลเบอร์รี่มากมาย เพื่อใช้ในวัตถุประสงค์ที่เหมาะสม เช่น การพัฒนาสายพันธุ์เพื่อบริโภคผลภายใต้การควบคุมดูแลของกรมหม่อนไหม เป็นต้น ทั้งนี้ ผลมัลเบอร์รี่มีคุณค่าทางโภชนาการและมีสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่มีประโยชน์ปริมาณสูง เช่น สารประกอบฟีนอล สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน เป็นต้น ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Donno et al., 2015; Sánchez-Salcedo et al., 2015; Tchabo et al., 2015; Gültekin-Özgülven et al., 2015) ผลของมัลเบอร์รี่สามารถรับประทานได้ทั้งแบบผลสดและแปรรูป แต่มีผิวบาง ส่งผลให้ได้รับความเสียหายได้ง่ายในระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษาในรูปแบบแช่เยือกแข็ง จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม ถึงแม้การแช่เยือกแข็งสามารถช่วยยืดอายุในการเก็บรักษาและคงคุณค่าทางโภชนาการของผลมัลเบอร์รี่ได้ แต่จะทำให้เนื้อสัมผัสของผลมัลเบอร์รี่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น การแปรรูปผลมัลเบอร์รี่จากผลแช่แข็งจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการสร้างความแปลกใหม่และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากมัลเบอร์รี่

ปัจจุบันนี้ การแปรรูปอาหาร ประกอบอาหาร และให้บริการอาหาร มีการประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมากยิ่งขึ้น เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหาร และสร้างให้เกิดความแปลกใหม่กับอาหาร เช่น รูปร่าง สี สัน และเนื้อสัมผัสที่แปลกใหม่ เป็นต้น ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในชื่อ โมเลกุลแกสโตรโนมี (Molecular gastronomy) (Aguilera, 2012; Baldwin, 2012; Lane, 2013; Lightner & Rand, 2014; Rognsa et al., 2014; Vega & Ubbink, 2008) เทคนิคหนึ่งที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ Spherification และ Reverse spherification (Lee & Rogers, 2012) ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการสร้างเยื่อกินได้ (Edible membrane) ด้วยการห่อหุ้มของเหลวไว้ในเยื่อดังกล่าว โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาเคมีกันระหว่างไฮโดรคอลลอยด์ (อัลจินตที่สกัดจากสาหร่าย) และสารละลายแคลเซียม (Comaposada et al., 2015) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดหลากหลายขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิต มีการจัดเสิร์ฟได้ในรูปแบบของซอสที่อยู่ในเยื่อทรงกลมและมีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ เรียกว่า คาเวียร์ (Caviar) ส่วนมากจะนิยมใช้เป็น Topping สำหรับอาหารจานหวาน เพื่อสร้างสีสันและสร้างความหลากหลายของเนื้อสัมผัสให้กับอาหารจานนั้น ๆ ซึ่งเยื่อที่กินได้ที่เกิดขึ้นจะมีคุณสมบัติในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสารต่าง ๆ ที่บรรจุภายใน และส่วนผสมในกระบวนการยังสามารถ

ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้เช่นกัน (Azarakhsh et al., 2014; Guerreiro et al., 2015) อาทิ โคลโตซาน ซึ่งเป็นสารที่สกัดได้จากธรรมชาติ นอกจากช่วยให้ความหนืดและช่วยในการเกิดเจลแล้ว ยังมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วย ดังนั้น เมื่อนำไปผสมกับผลิตภัณฑ์อาหาร จึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานยิ่งขึ้น (Farajzadeh et al., 2016; Aquino et al., 2015; Vieira et al., 2016)

ตามข้อมูลข้างต้น การนำวัตถุดิบที่มีในประเทศมาใช้ประโยชน์ด้วยการแปรรูปให้เกิดผลิตภัณฑ์หลากหลายขึ้น เพื่อสนับสนุนยุทธศาสตร์ในด้านความมั่นคงทางอาหาร และการพัฒนา National food valley ของสำนักงานคณะกรรมการงานวิจัยแห่งชาติ (วช.) ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาวิจัยการแปรรูปน้ำผลหม่อนหรือน้ำผลมัลเบอร์รี่ (Mulberry juice) ซึ่งอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผ่านกระบวนการ Caviar spherification ภายใต้อุณหภูมิและความเข้มข้นของอัลจินตและโคลโตซานแตกต่างกัน และคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จะถูกวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติทางจุลินทรีย์ และการประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาด้วย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หลากหลาย และได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าจากธรรมชาติที่มีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้นโดยไม่ใช้สารกันเสีย

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นอัลจินตที่มีการผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่
2. เพื่อศึกษาการผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่เสริมโคลโตซานและผลของความเข้มข้นโคลโตซาน
3. เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

### ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินต 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนัก ที่มีต่อคุณภาพคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ โดยใช้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่เข้มข้นร้อยละ 50 (ที่มีจำหน่ายเชิงการค้า) เป็นวัตถุดิบหลัก และคัดเลือกสารละลายอัลจินตจากความเข้มข้นที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุดมาใช้ผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมสารละลายโคลโตซาน โดยจะผันแปรความเข้มข้นของสารละลายโคลโตซานเป็น 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0 (ตัวอย่างควบคุม), 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะมีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ ได้แก่ สมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และทางจุลินทรีย์ ในระหว่างการเก็บรักษาเป็น

ระยะเวลา 21 วัน ที่อุณหภูมิต้อง (30 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแช่เย็น (4 – 5 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่จะได้ รับการประเมินทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคจำนวนมากกว่า 50 คน

### ระยะเวลาการทำวิจัย

ระยะเวลาการทำวิจัย 1 ปี (ปีงบประมาณ 2561 : 1 ตุลาคม 2560 – 30 กันยายน 2561)

### สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการ ศูนย์วิทยาศาสตร์สิรินธร มหาวิทยาลัยสวนดุสิต กรุงเทพมหานคร  
ห้องปฏิบัติการ โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต (วิทยาเขตสุพรรณบุรี) สุพรรณบุรี  
ห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ศูนย์การศึกษานอกที่ตั้ง ลำปาง

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบผลของความเข้มข้นอัลจินเตที่มีต่อคุณภาพของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่ผลิตได้
2. ทราบผลของความเข้มข้นโคโคซานที่มีต่อคุณภาพของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานที่ผลิตได้
3. ได้ผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคและมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น
4. ได้แนวทางในการพัฒนาต่อยอดความรู้ต่อไป

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### มัลเบอร์รี่ (Mulberry)

มัลเบอร์รี่ (หรือหม่อน) เป็นพืชโตเร็ว พบได้ในเขตอบอุ่นตอนเหนือของเส้นศูนย์สูตร (Ercisli & Orhan, 2007) สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งส่วนของใบ ลำต้น ราก และผล ประเทศไทยเพาะปลูกเพื่อใช้ใบเป็นอาหารในการเลี้ยงไหม ซึ่งสร้างเส้นใยไหมสำหรับการผลิตเครื่องนุ่งห่ม นอกจากนี้ มัลเบอร์รี่ยังเป็นพืชที่ให้ผลที่สามารถใช้รับประทานได้ โดยในประเทศไทยมีการพัฒนาสายพันธุ์ของมัลเบอร์รี่มากมายเพื่อวัตถุประสงค์ที่เหมาะสม เช่น การพัฒนาสายพันธุ์เพื่อกินผลภายใต้การควบคุมดูแลของกรมหม่อนไหม เป็นต้น ผลมัลเบอร์รี่ (ภาพที่ 2.1) มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิดต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพในปริมาณค่อนข้างสูง เช่น สารประกอบฟีนอลิก สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน เป็นต้น ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Donno et al., 2015; Sánchez-Salcedo et al., 2015; Tchabo et al., 2015; Gültekin-Özgüven et al., 2015) ทั้งนี้ ผลมัลเบอร์รี่สามารถรับประทานได้ทั้งผลสดและผ่านการแปรรูป แต่มีผลข้างเคียงทำให้เกิดการเสียดายได้ง่ายระหว่างการขนส่ง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสของผลมัลเบอร์รี่ที่เกิดขึ้นได้ระหว่างการแช่เยือกแข็ง ด้วยเหตุนี้ การแปรรูปผลมัลเบอร์รี่จากผลแช่เยือกแข็งจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการสร้างความแปลกใหม่และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากมัลเบอร์รี่



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของผลมัลเบอร์รี่

## โมเลกุลแกสโตรโนมี (Molecular gastronomy)

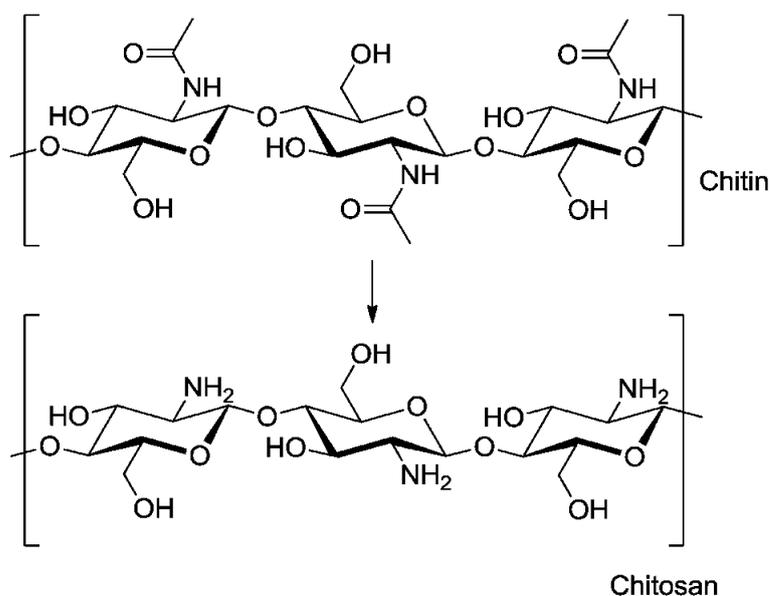
การทำอาหารด้วยวิธีการที่รู้จักกันในชื่อว่า โมเลกุลแกสโตรโนมี เป็นวิธีการที่อาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์มาช่วยในการออกแบบอาหารในงานให้เกิดความแปลกใหม่ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับวัตถุดิบที่แปลกใหม่ วิธีการเตรียมวัตถุดิบที่แปลกใหม่ และอุปกรณ์ที่แปลกใหม่ (Vega & Ubbink, 2008) ดังนั้น ความรู้ความเข้าใจในพื้นฐานความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับอาหาร จึงมีความจำเป็นอย่างมาก ซึ่งกล่าวได้ว่า โมเลกุลแกสโตรโนมี คือ ศาสตร์ที่เป็นส่วนผสมระหว่างความเป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะเข้าด้วยกันอย่างลงตัว (Goldfarb, 2014) ซึ่งช่วยเพิ่มความน่าสนใจให้กับอาหารงานปกติได้เป็นอย่างดี มี 2 เทคนิค ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ Spherification และ Reverse spherification (Lee & Rogers, 2012) โดยของเหลวจะถูกห่อหุ้มไว้ข้างในเยื่อกินได้ (Edible membrane) ด้วยอาศัยการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากผนังเซลล์ของสาหร่าย ที่เรียกว่า อัลจิเนต และสารละลายโลหะที่ให้ไอออนบวกอยู่ 2 ประจุ ได้แก่ แมกนีเซียม และแคลเซียม เป็นต้น (Comaposada et al., 2015) ผลลัพธ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเม็ดปิดเล็ก ๆ ที่เรียกว่า คาเวียร์ (Caviar) ซึ่งสามารถมีได้หลากหลายขนาด ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิต โดยมีการจัดเสิร์ฟคาเวียร์ได้ทั้งในรูปแบบของซอสที่อยู่ในเยื่อทรงกลมและการใช้เป็น Topping สำหรับอาหารงานหวาน เพื่อใช้สร้างสีสัน และความหลากหลายของเนื้อสัมผัสให้กับอาหารงานนั้น ๆ

### อัลจิเนต (Alginate)

อัลจิเนต คือ พอลิเมอร์สายตรงของ (1-4)-Linked  $\beta$ -D-mannuronic acid (M) และ  $\alpha$ -L-guluronic acid (G) (Phillips & Williams, 2000; Caccavo et al., 2016) (ภาพที่ 2.2) ซึ่งเป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) โดยอัลจิเนตทางการค้าจะอยู่ในรูปอนุพันธ์หลากหลาย เช่น อนุพันธ์ของเกลือโซเดียมและโพแทสเซียม เป็นต้น ซึ่งจะมีความสามารถในการละลายน้ำแตกต่างกัน เมื่อละลายน้ำความหนืดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้น และการมีโลหะประจุบวกในสารละลาย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) มีการประยุกต์ใช้อัลจิเนตอย่างหลากหลายในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวในไอศกรีมและน้ำสลัด สารให้ความข้นหนืด สารป้องกันการคินตัว และสารเคลือบผิวที่กินได้ ซึ่งนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทางกายภาพ และทางจุลินทรีย์ เพราะลดการซึมผ่านของออกซิเจนและยังสามารถผสมสารต้านอนุมูลอิสระและสารอื่น ๆ ซึ่งช่วยเพิ่มศักยภาพในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงด้านต่าง ๆ ข้างต้น อายุการเก็บรักษาของผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคจึงยาวนานมากขึ้น และการประยุกต์ใช้โคโตซานในงาน Molecular gastronomy ถึงแม้ว่าจะมีการใช้ในงานบริการอาหารและการแปร



การเสียดต่อโรกระบบทางเดินอาหารและโรคอื่น ๆ ในระบบเลือดที่เกี่ยวข้อง กับการดูดซึมไขมันในระบบทางเดินอาหาร เช่น มะเร็งลำไส้ ท้องผูก โรคหัวใจ โรคอ้วน และไขมันอุดตันเส้นเลือด เป็นต้น (Shahidi et al., 1999)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์ไคโตซาน  
ที่มา: Heckel et al. (2013)

### สารออกฤทธิ์ชีวภาพ (Bioactive compounds)

สารออกฤทธิ์ชีวภาพที่พบได้ในน้ำมัลเบอร์รี่มีหลากหลายชนิด ดังนี้

สารประกอบฟีนอลิก (Phenolics) คือ สารที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) อย่างน้อย 1 หมู่ ยึดกับวงอะโรมาติก (Aromatic hydrocarbon group) ทั้งนี้ อนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอลิกเกิดขึ้นในกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช ซึ่งส่วนใหญ่ถูกสังเคราะห์ได้จาก Phenyl-propanoid pathway ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ลิกนิน (Lignin) กรดซินนามิก (Cinnamic acid) กรดแอบไซซิก (Abscisic acid) กรดคลอโรจีนิก (Chlorogenic acid) กรดคาเฟอิก (Caffeic acid) และกรดอะมิโน ได้แก่ ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) ไทโรซีน (Tyrosine) ไดไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน (Dihydroxy phenylalanine, DOPA) และโคเอนไซม์คิว (Coenzyme Q) เป็นต้น โดยทั่วไป สารประกอบฟีนอลิกมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) ทำหน้าที่หน่วงเหนี่ยวและ/หรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยการช่วยหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระได้ (Duthie et

al., 2000) มีงานวิจัยยืนยันมากมายว่าสารประกอบฟีนอลมีฤทธิ์สามารถช่วยต้านการเกิดมะเร็งได้ (Fernández-Arroyo et al., 2012; Taamalli et al., 2012; Vuong et al., 2014)

แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) คือ หนึ่งในสารออกฤทธิ์ชีวภาพชนิดสำคัญ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก ทั้งนี้ แอนโทไซยานินมาจากภาษากรีก คำว่า Anthos แปลว่า ดอกไม้ และ คำว่า Kyanos ซึ่งแปลว่า สีน้ำเงิน (Cavalcanti et al., 2011) เป็นสารที่อยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกที่พบได้ทั่วไปในพืชสีส้ม แดง ม่วง ไปจนถึงสีน้ำเงิน สามารถละลายน้ำได้ดี มีบทบาทสำคัญเป็นรงควัตถุในพืชมีสี ทำให้พืชมีสีตั้งแต่สีส้มไปจนถึงสีน้ำเงิน (Fernades et al., 2013) นอกจากนี้ มีการประยุกต์ใช้สีของแอนโทไซยานินเป็นตัวบ่งชี้ถึงระยะการสุกของผลไม้หลายชนิด (Iglesis et al., 2008; Usenik et al., 2009) เมื่อผลไม้สุกมากยิ่งขึ้นมักจะพบปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มมากขึ้น โดยปกติจะพบแอนโทไซยานิน บริเวณผิวของผลไม้ (Usenik et al., 2009) หรืออาจพบในส่วนอื่น ๆ เช่น ลำต้น ใบ ดอก และส่วนที่ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหาร เป็นต้น (Oren-Shamir, 2009; Moreno et al., 2010; Jie et al., 2013)

### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

### การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมัลเบอร์รี่

น้ำมัลเบอร์รี่ที่ใช้ในการศึกษานี้มีความเข้มข้น ร้อยละ 50 (50% Mulberry juice) ซื้อมาจาก บริษัทดอยคำผลิตภัณฑ์อาหาร (Doi Kham Food Products) เชียงราย ประเทศไทย โดยจะนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพดังต่อไปนี้

1. ปริมาณความชื้น วิเคราะห์ตามวิธีการของ AOAC (2000) (ภาคผนวก ก)
2. ปริมาณของแข็งทั้งหมด วิเคราะห์ตามวิธีการของ AOAC (2000) (ภาคผนวก ก)
3. ค่าพีเอช วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter) (Starter 3100, OHAUS, NJ, USA) ที่อุณหภูมิห้อง (~ 30 องศาเซลเซียส) โดยใช้ตัวอย่าง ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
4. ค่าความเป็นกรดที่วิเคราะห์ด้วยวิธีการไตเตรต (Titratable acidity) วิเคราะห์ตามวิธีการของ AOAC (2000) (ภาคผนวก ก)
5. ค่าสี (Color values) วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) (CR-400, Konica Minolta, Japan) ในระบบ CIE Lab และรายงานเป็นค่าความสว่างของสี (Lightness;  $L^*$ ) ค่าความเป็นสีแดง (Redness;  $a^*$ ) ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness;  $b^*$ ) ค่าความเข้มของสี (Chroma;  $C^*$ ) ค่าเฉดสี (Hue angle;  $h^\circ$ ) และค่าความแตกต่างของสี (Color difference;  $\Delta E$ ) โดยที่ค่า  $\Delta E$  คำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$\Delta E = ((L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2)^{1/2} \quad (1)$$

6. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) วิเคราะห์ตามวิธีการที่อธิบายโดย Xu และ Chang (2007) (ภาคผนวก ก)
7. ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total anthocyanin content) วิเคราะห์ตามวิธีการที่อธิบายโดย Giusti และ Wrolstad (2001) (ภาคผนวก ก)
8. ค่ากิจกรรมกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH free radical scavenging activity assay) วิเคราะห์ตามวิธีการของ AOAC (2000) (ภาคผนวก ก)
9. การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical analysis) วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ จำนวน 3 ซ้ำ ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ IBM SPSS Statistic เวอร์ชัน 20 (IBM Thailand Co., Ltd., Thailand) และเปรียบเทียบ

ค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นน้อยกว่าหรือเท่ากับ ร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

## การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอัลจินตที่เหมาะสมในการผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

### การเตรียมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่จากสารละลายโซเดียมอัลจินต

เตรียมสารละลายโซเดียมอัลจินตความเข้มข้น ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนัก ด้วยเทคนิค Extrusion-dipping เริ่มจากละลายโซเดียมอัลจินตชนิดผง (Union Science, เชียงใหม่, ประเทศไทย) ในน้ำร้อน (อุณหภูมิ  $80 \pm 5$ ) องศาเซลเซียส และใช้เครื่องกวนแบบแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) ช่วยในการผสม โดยใช้เวลาเตรียมสารละลายประมาณ  $20 (\pm 5)$  นาที ก่อนลดอุณหภูมิของสารละลายโซเดียมอัลจินตลงมาให้เหลือต่ำกว่า  $35 (\pm 5)$  องศาเซลเซียส ด้วยการแช่ลงในน้ำเย็น หลังจากนั้น ผสมสารละลายโซเดียมอัลจินตที่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเข้ากับน้ำมัลเบอร์รี่เข้มข้น ร้อยละ 50 โดยใช้อัตราส่วนสารละลายโซเดียมอัลจินตต่อน้ำมัลเบอร์รี่ 75 ต่อ 25 โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 3.1) และผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องกวน (Overhead stirrer) ที่ความเร็ว 250 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 10 นาที ต่อจากนั้น ไล่ฟองอากาศออกจากส่วนผสมด้วยเครื่องโซนิเคเตอร์ (Sonicator) เป็นระยะเวลา 10 นาที จะได้ส่วนผสมที่พร้อมใช้ (Feed mixture) โดยส่วนผสมดังกล่าวจะถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าพีเอช ค่าความเป็นกรดด้วยวิธีไตเตรต (ภาคผนวก ก) และค่าความหนืด (ภาคผนวก ก) ทั้งนี้ ส่วนผสมที่เตรียมได้จะถูกป้อนผ่านเข้าสู่ชุดหัวฉีด (Injector) ที่มีขนาดรูเปิด 1.0 มิลลิเมตร ซึ่งติดตั้งสูงจากผิวหน้าของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 1.0 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ประมาณ 2.0 เซนติเมตร ต่อจากนั้น ส่วนผสมจะถูกปล่อยให้ไหลลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลกด้วยอัตราการไหลคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินต เมื่อหยดของส่วนผสมสัมผัสกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะเกิดเป็นเจลแข็งขึ้นทันทีและกลายเป็นคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่สามารถคงรูปร่างอยู่ได้ ซึ่งต่อมากาเวียร์น้ำ มัลเบอร์รี่ที่ได้จะถูกแช่ไว้ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นระยะเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดพื้นผิวที่แข็งแรง (Hardening) ก่อนกรองแยกด้วยตะแกรงและล้างด้วยน้ำสะอาด 5 รอบ คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จะถูกวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพดังต่อไปนี้

### ปริมาณผลผลิต

ปริมาณผลผลิต (Production yield) ผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ ประมาณจากอัตราส่วน ร้อยละของน้ำหนักเม็ดคาเวียร์ที่เตรียมได้ ( $W_2$ ) ต่อน้ำหนักของส่วนผสม ( $W_1$ ) ก่อนป้อนผ่านหัวฉีด ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2) และรายงานเป็นร้อยละของปริมาณผลผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

**ตารางที่ 3.1** อัตราส่วนของส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

ความเข้มข้นของอัลจินเต (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	อัลจินเต (กรัม)	น้ำ (กรัม)	น้ำมัลเบอร์รี่ (กรัม)	ส่วนผสม (กรัม)
0.5	0.5	74.5	25	100
1.0	1.0	74.0	25	100
1.5	1.5	73.5	25	100
2.0	2.0	73.0	25	100

$$\text{ปริมาณผลผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ (ร้อยละ)} = (W_2/W_1) \times 100 \quad (2)$$

#### ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้น (Moisture content) ของผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ วิเคราะห์โดยใช้วิธีการที่ดัดแปลงเล็กน้อยจากวิธีการของ AOAC (2000) ทั้งนี้ เริ่มจากชั่งคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ปริมาณ 5 กรัม ( $W_1$ ) และใส่ในภาควิเคราะห์ความชื้น ต่อจากนั้น อบแห้งคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (UN110, Memmert GmbH+Co.KG, Schwabach, Germany) หลังการอบแห้ง ให้บันทึกน้ำหนักตัวอย่างแห้งเป็น  $W_2$  โดยสามารถคำนวณปริมาณความชื้นได้ตามสมการที่ (3)

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = ((W_1 - W_2)/W_1) \times 100 \quad (3)$$

#### ความหนาแน่นรวม

ความหนาแน่นรวม (Bulk density) ของผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ วิเคราะห์โดยวิธีการที่มีการดัดแปลงเล็กน้อยจากวิธีการที่อธิบายโดย Laokuldilok และ Kanha (2015) ทั้งนี้ เริ่มต้นจากเติมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ลงในกระบอกตวง (ขนาด 100 มิลลิลิตร) ให้ได้ปริมาตร 20 มิลลิลิตร (หรือเทียบเท่า 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร) ก่อนบันทึกน้ำหนักและรายงานในหน่วย กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

#### สมบัติสีของผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

วิเคราะห์ค่าสีตามขั้นตอนที่อธิบายในหัวข้อก่อนหน้า

### **ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด**

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสามารถวิเคราะห์โดยใช้สารละลาย Folin–Ciocalteu (Singleton & Rossi 1965) ตามวิธีการที่มีการดัดแปลงเล็กน้อยจากที่อธิบายโดย Xu และ Chang (2007) และใช้กรดแกลลิกเป็นสารประกอบฟีนอลิมาตรฐานสำหรับการเปรียบเทียบ (ภาคผนวก ก)

### **ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total anthocyanin content)**

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดดำเนินการตามวิธีของ Giusti และ Wrolstad (2001) และรายงานเป็นปริมาณของแอนโทไซยานินชนิดไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (Cyanidin-3-glucoside) ตามวิธีการที่อธิบายใน ภาคผนวก ก

### **การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis)**

วิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture profile analysis (TPA) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Thrimawithana และคณะ (2010) โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (TA-Xt.Plus, USA) ร่วมกับ Compression probe กำหนดให้มีระยะกด ร้อยละ 75 ความเร็ว 2 มิลลิเมตร/วินาที โดยใช้หัววัด P/50 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างที่ 25 องศาเซลเซียส วัดตัวอย่างละ 20 ซ้ำ โดยจะได้ค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัส 6 ค่า คือ ความแข็ง (Hardness) การเกาะติด (Adhesiveness) การรวมตัวกัน (Cohesiveness) ความยืดหยุ่น (Springiness) การเคี้ยว (Chewiness) และความเหนียวเหนอะ (Gumminess)

### **การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา (Microbiological analysis)**

วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายใน ภาคผนวก ก

### **สมบัติทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)**

ผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินตที่ความเข้มข้นต่างกัน จะถูกนำมาประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสด้วยเทคนิค 9-Point hedonic scaling test ออกแบบการทดลองเป็นแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยให้ผู้บริโภคจำนวน 50 คน ทดลองชิมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินตที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบประเมินที่แสดงในภาคผนวก ค เพื่อทราบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ และได้ผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

### การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical analysis)

ทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัสจำนวน 3 ซ้ำ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ IBM SPSS Statistic เวอร์ชัน 20 (IBM Thailand Co., Ltd., Thailand) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นอย่างน้อย ร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

### การศึกษาผลของการใช้โคโตซานที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ระหว่างการเก็บรักษา

#### การเตรียมผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินเตที่ใช้ในการเตรียมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ (ตอนที่ 3.2) ที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด จะได้รับการพิจารณาว่าเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ โดยสารละลายโซเดียมอัลจินเตที่ความเข้มข้นดังกล่าวจะถูกเตรียมและนำมาผสมกับสารละลายโคโตซานที่ความเข้มข้นต่างกัน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0 (ตัวอย่างควบคุม) 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยน้ำหนัก ในอัตราส่วนสารละลายโซเดียมอัลจินเตต่อสารละลายโคโตซานเท่ากับ 75 : 25 โดยน้ำหนัก ซึ่งส่วนผสมดังกล่าวจะถูกนำผสมเข้ากับน้ำมัลเบอร์รี่เข้มข้น ร้อยละ 50 โดยใช้อัตราส่วนสารละลายโซเดียมอัลจินเตผสมโคโตซานต่อน้ำมัลเบอร์รี่ 75 : 25 โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 3.2) ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ปั่นด้วยความเร็วรอบ 12000 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 3 นาที หลังจากนั้น นำส่วนผสมที่เป็นเนื้อเดียวกันมาใส่ฟองอากาศออกด้วยเครื่องโซนิเคเตอร์เป็นระยะเวลา 10 นาที จะได้ส่วนผสมที่พร้อมใช้ในการเตรียมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน

ความเข้มข้นของโคโตซาน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	อัลจินเต*	โคโตซาน**	น้ำ	น้ำมัลเบอร์รี่	ส่วนผสม
	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)
0	56.25	0	18.75	25	100
0.5	56.25	0.50	18.25	25	100
1.0	56.25	1.00	17.75	25	100
1.5	56.25	1.50	17.25	25	100

\* สารละลายโซเดียมอัลจินเตที่ความเข้มข้นเหมาะสม

\*\* ปริมาณโคโตซานชนิดผง

ส่วนผสมดังกล่าวจะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพดังต่อไปนี้

1. ค่าความเป็นกรดด้วยวิธีการไตเตรต วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายใน ภาคผนวก ก
2. ค่าพีเอช วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายในหัวข้อ ภาคผนวก ก
3. ค่าความหนืด วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายในหัวข้อ ภาคผนวก ก
4. การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองเป็นแบบ Completely Randomized Design (CRD) ดำเนินการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพจำนวน 3 ซ้ำ ข้อมูลที่ได้จะถูกวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ IBM SPSS Statistic 20 (IBM Thailand Co., Ltd., Thailand) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นอย่างน้อย ร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

ส่วนผสมที่เตรียมได้จะถูกป้อนเข้าสู่ชุดหัวฉีดที่มีขนาดรูเปิด 1.0 มิลลิเมตร ซึ่งติดตั้งอยู่สูงจากผิวหน้าของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 1.0 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ประมาณ 2.0 เซนติเมตร หลังจากนั้น ส่วนผสมจะถูกปล่อยให้ไหลลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลกด้วยอัตราการไหลที่คงที่ เมื่อหยดของส่วนผสมสัมผัสกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ จะเกิดเป็นเจลแข็งขึ้นทันที และกลายเป็นเม็ดคาเวียร์ที่สามารถคงรูปร่างอยู่ได้ โดยแช่เม็ดคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้ไว้ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นระยะเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดพื้นผิวที่แข็งแรง ก่อนถูกกรองแยกด้วยตะแกรงและล้างด้วยน้ำสะอาด 5 รอบ ซึ่งเม็ดคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้

1. ปริมาณผลผลิต วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายในหัวข้อก่อนหน้านี้
2. ปริมาณความชื้น วิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามขั้นตอนที่อธิบายใน ภาคผนวก ก
3. ปริมาณของแข็งทั้งหมด วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายใน ภาคผนวก ก
4. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายใน ภาคผนวก ก
5. ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายใน ภาคผนวก ก
6. ค่ากิจกรรมกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายในภาคผนวก ก
7. ค่าสี วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้
8. ความหนาแน่นรวม วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายในหัวข้อก่อนหน้านี้
9. การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายไว้ใน ภาคผนวก ก
10. การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้
11. สมบัติทางประสาทสัมผัส คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จะถูกประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัส คือ ความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยใช้เทคนิค 9-Point hedonic scaling test ออกแบบการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยให้ผู้ทดลองชิมจำนวน 50 คน ชิมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ และ

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบประเมิน (ภาคผนวก ค) เพื่อให้ทราบความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายไคโตซานสำหรับผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่และได้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

12. การวิเคราะห์ทางสถิติ ดำเนินการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัสจำนวน 3 ข้อ และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ IBM SPSS Statistic 20 (IBM Thailand Co., Ltd., Thailand) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

#### การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ระหว่างการเก็บรักษา

คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินเตผสมสารละลายไคโตซานทั้ง 4 ความเข้มข้น (ร้อยละ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5) จะถูกนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา โดยบรรจุในบรรจุภัณฑ์พลาสติกและปิดฝาให้สนิท ก่อนนำไปเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแช่เย็น (ประมาณ 4 – 5 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 35 วัน โดยสุ่มตัวอย่างออกมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพและทางจุลชีววิทยาทุก ๆ 7 วัน ดังนี้

1. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดคาเวียร์ที่ได้ โดยใช้ Vernier cliper (AACC, 1977)
2. ค่าความเป็นกรดด้วยวิธีการไตเตรต วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายในภาคผนวก ก
3. ค่าพีเอช
4. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายในภาคผนวก ก
5. ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายในภาคผนวก ก
6. ค่าสี วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้
7. ความหนาแน่นรวม วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้
8. การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายไว้ในภาคผนวก ก
9. การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา วิเคราะห์ตามขั้นตอนที่อธิบายไว้ในภาคผนวก ก
10. การวิเคราะห์ทางสถิติ วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัสจำนวน 3 ข้อ และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ IBM SPSS Statistic เวอร์ชัน 20 (IBM Thailand Co., Ltd., Thailand) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นอย่างน้อย ร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

คัดเลือกตัวอย่างที่ผ่านการตรวจทางจุลินทรีย์และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารไปทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคจำนวน 50 คน ออกแบบการทดลองเป็นแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) คุณลักษณะที่ประเมิน ได้แก่ ความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยวิธี 9-Points hedonic scaling test นำคะแนนที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple rank test และคัดเลือกตำรับที่ได้คะแนนความชอบจากผู้ทดสอบมากที่สุดอย่างน้อย 1 ตัวอย่าง ไปศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ต่อไป

#### **การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เสิร์ฟพร้อมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์**

เสิร์ฟผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่พร้อมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ประเภทสุรา และประเมินทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคจำนวน 200 คน โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) คุณลักษณะที่ประเมิน ได้แก่ ความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Points hedonic scaling test นำคะแนนที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple rank test

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมัลเบอร์รี่ที่ใช้ในการผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

น้ำมัลเบอร์รี่ที่ใช้เตรียมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่มีความเข้มข้น ร้อยละ 50 โดยผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพดังตารางที่ 4.1 ทั้งนี้ เห็นได้ชัดว่า น้ำมัลเบอร์รี่มีสภาพค่อนข้างเป็นกรด โดยมีค่าพีเอชต่ำ (พีเอช  $3.0 \pm 0.0$ ) ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Lin และ Lay (2013) ที่พบว่า ค่าพีเอชของน้ำมัลเบอร์รี่มีอยู่ในช่วง 2.9 – 3.3 และมีปริมาณกรดที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธีไทเตรต (Titratable acidity) ค่อนข้างสูง เทียบได้กับปริมาณกรดซิตริก ร้อยละ  $5.83 \pm 0.11$  Lee และ Kwang (2017) รายงานว่า น้ำมัลเบอร์รี่มีปริมาณกรดอยู่ในช่วง 0.3 – 2.4 กรัม กรดซิตริก/100 มิลลิลิตร เนื่องจากธรรมชาติของน้ำมัลเบอร์รี่ที่มีปริมาณกรดอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ สูง เช่น กรดคลอโรเจนิค (Chlorogenic acid) กรดคาเฟอิก (Caffeic acid) กรดเฟอร์รูริก (Ferulic acid) กรดเอลลาจิก (Ellagic acid) และกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) เป็นต้น (Aramwit, Bang, & Srichana, 2010; Natic et al., 2015; Lee & Kwang, 2017) จึงมีค่าพีเอชต่ำและมีความเป็นกรดสูง

ทั้งนี้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในน้ำมัลเบอร์รี่เข้มข้น ร้อยละ 50 ตรวจสอบด้วยวิธีวิเคราะห์โดยใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometric assay) และรายงานผลเทียบเป็นปริมาณสมมูลของกรดแกลลิก (Gallic acid equivalent, GAE) และไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (C3G) ตามลำดับ โดยพบว่า น้ำมัลเบอร์รี่ความเข้มข้น ร้อยละ 50 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดอยู่ 261.46 มิลลิกรัม GAE/ลิตร และ 119 มิลลิกรัม C3G/ลิตร ตามลำดับ โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าน้ำมัลเบอร์รี่สดที่ไม่ได้ผ่านการเจือจาง (ประมาณ 750 มิลลิกรัม GAE/ลิตร) ค่อนข้างมาก (Nguyen & Nguyen, 2018) ซึ่งคิดเป็นปริมาณเกือบ 3 เท่า อย่างไรก็ตาม เป็นธรรมชาติของน้ำผลไม้ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปที่จะเกิดการสูญเสียปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compounds) บางส่วนไปกับผลของปัจจัยที่ใช้แปรรูป ได้แก่ การล้าง (Washing) การบด (Mashing) การบีบเค้น (Pressing) ความร้อนที่ใช้ฆ่าเชื้อ และการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation reaction) เป็นต้น (Tomas, Toydemir, Boyacioglu, Hall, Beekwilder, & Capanoglu, 2015) ทั้งนี้ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสอดคล้องกับปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ซึ่งปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า น้ำมัลเบอร์รี่พันธุ์ต่าง ๆ มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดอยู่ในช่วง 147.68 – 2725.46 มิลลิกรัม GAE/ลิตร (Liu, Xiao, Chen, Xu, & Wu, 2004) ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ (Cultivars) สภาพแวดล้อมที่เติบโต และระยะ

สุก (Ripening stage) (Lin & Lay, 2013; Natic et al., 2015; Lee & Kwang, 2017) นอกจากนี้ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสามารถส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพสีของน้ำมัลเบอร์รี่ด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 4.1)

**ตารางที่ 4.1** สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมัลเบอร์รี่เข้มข้น ร้อยละ 50

สมบัติทางเคมีกายภาพ	ค่า
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	87.58 ± 0.06
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	12.42 ± 0.06
ปริมาณกรดที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธีไตเตรต (ร้อยละ)*	5.83 ± 0.11
พีเอช	3.00 ± 0.01
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม GAE/ลิตร)	261.46 ± 7.11
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัม C3G/ลิตร)	119.00 ± 0.77
ค่ากิจกรรมกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)**	2.62 ± 0.20
ค่าสี $L^*$	20.31 ± 0.01
$a^*$	0.69 ± 0.02
$b^*$	4.23 ± 0.01
$C^*$	4.29 ± 0.02
$h^\circ$	80.62 ± 0.14

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 3 ซ้ำ

\*\* รายงานเป็นค่าความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้ ร้อยละ 50

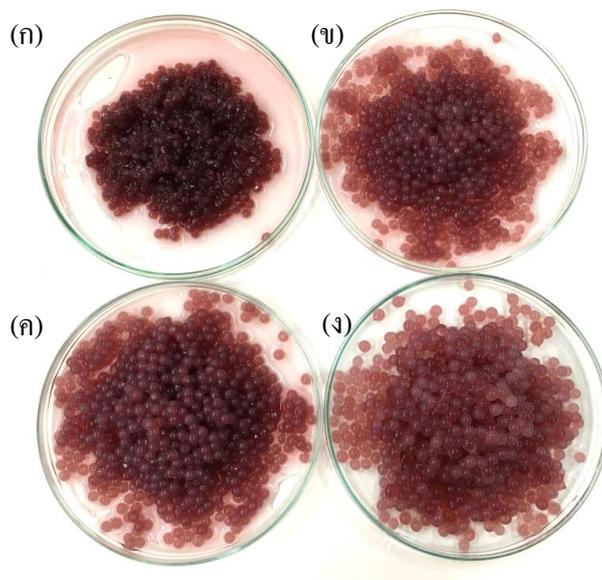
### ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอัลจินตที่เหมาะสมในการผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

#### ปริมาณผลผลิตและลักษณะรูปร่างของผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

น้ำมัลเบอร์รี่เข้มข้น ร้อยละ 50 ถูกนำมาผสมกับสารละลายโซเดียมอัลจินตทั้ง 4 ความเข้มข้น (ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0) ในอัตราส่วนน้ำมัลเบอร์รี่ต่อสารละลายโซเดียมอัลจินต 25 ต่อ 75 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของส่วนผสมข้างต้นแสดงดังตารางที่ 4.2 ส่วนผสมมีค่าความเป็นกรดอยู่ในช่วง ร้อยละ 1.35 – 1.45 ( $p > 0.05$ ) แตกต่างจากค่าพีเอชที่พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินตจาก ร้อยละ 0.5 เป็น 1.5 หรือ 2.0 ส่งผลให้ส่วนผสมที่เตรียมได้มีค่าพีเอชสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ปริมาณผลผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินตความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 – 2.0 โดยน้ำหนัก

(เรียกโดยย่อว่า ALG 0.5, ALG 1.0, ALG 1.5 และ ALG 2.0 ตามลำดับ) แสดงดังตารางที่ 4.3 โดยพบว่า ปริมาณผลผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากทุก ๆ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยมีปริมาณผลผลิตอยู่ในช่วง ร้อยละ 72.69 – 77.31 ในขณะที่ ค่าความหนาแน่นรวมของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้อยู่ในช่วง 0.63 – 0.80 กรัม/ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยค่าความหนาแน่นรวมของ ALG 0.5 และ ALG 1.0 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่มีค่าสูงกว่าของ ALG 1.5 และ ALG 2.0 ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้ การใช้สารละลายโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นสูงกว่าจะได้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรัศมี เส้นผ่านศูนย์กลาง และปริมาตรของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้ คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่มีขนาดเล็กกว่าและมีพื้นผิวอ่อนกว่าจะสามารถเรียงตัวในพื้นที่จำกัดได้แน่นกว่า ในทางตรงข้าม คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่มีขนาดใหญ่กว่าและมีพื้นผิวที่แข็งกว่าจะมีช่องว่างระหว่างอนุภาคที่เต็มไปด้วยอากาศมากกว่าเช่นกัน ดังนั้น คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้นสูงกว่าจึงมีอัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตรน้อยกว่าที่ความเข้มข้นต่ำกว่า

คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจิเนตทั้ง 4 ความเข้มข้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 3.52 – 4.03 มิลลิเมตร (ตารางที่ 4.3) ลักษณะคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจิเนตแต่ละความเข้มข้นแสดงดังภาพที่ 4.1 โดย ALG 0.5 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำที่สุด รองลงมา คือ ALG 1.0, ALG 1.5 และ ALG 2.0 ตามลำดับ ทั้งนี้ จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การใช้สารละลายโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นสูงกว่า จะได้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่มีขนาดใหญ่กว่าด้วยเช่นกัน ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากผลของความหนืดของส่วนผสม โดยสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่ข้นหนืดมากที่สุด คือ ความเข้มข้น ร้อยละ 2.0 รองลงมา คือ ความเข้มข้น ร้อยละ 1.5, 1.0, และ 0.5 ตามลำดับ สอดคล้องกับค่าความหนืดของสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่วิเคราะห์ได้ ซึ่งเท่ากับ 20.33, 114.23, 327.80 และ 975.57 มิลลิปาสคาล·วินาที ตามลำดับ Del Gaudio, Colombo, Colombo, Russo และ Sonvico (2005) แสดงให้เห็นว่า ขนาดของเม็ดปิด (alginate bead) ขึ้นอยู่กับความหนืดของสารละลายโซเดียมอัลจิเนตและอัตราการป้อน โดยเม็ดปิดที่ผลิตโดยใช้อัตราการป้อน 10 มิลลิลิตร/นาที และมีค่าความหนืด 30 มิลลิปาสคาล·วินาที มีขนาดค่อนข้างเล็ก (เล็กกว่า 750 ไมโครเมตร) ซึ่งขนาดของเม็ดปิดเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วง 30 – 40 มิลลิปาสคาล·วินาที ในขณะที่ ถ้าใช้ความหนืดในช่วง 40 – 350 มิลลิปาสคาล·วินาที จะได้เม็ดปิดที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ (ประมาณ 3000 – 3500 ไมโครเมตร) ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความหนืดของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ส่งผลให้เม็ดปิดที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น



ภาพที่ 4.1 ลักษณะของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน (ก) ร้อยละ 0.5 (ALG 0.5) (ข) ร้อยละ 0.5 (ALG 1.0) (ค) ร้อยละ 0.5 (ALG 1.5) และ (ง) ร้อยละ 0.5 (ALG 2.0)

คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นต่างกัน มีลักษณะร่วมกัน คือ เป็นทรงกลม (Spherical shape) ซึ่งเป็นลักษณะรูปร่างทั่วไปของอัลจิเนตปิดที่เตรียมได้จากวิธี Extrusion-dipping (Lee, Chan, Dolzhenko, & Heng, 2006; Chan, Lim, Voo, Pogaku, Tey, & Zhang, 2011) อย่างไรก็ตาม มีลักษณะโครงสร้างบางอย่างแตกต่างกัน (ภาพที่ 4.1) โดย ALG 0.5 มีลักษณะต่างจากที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นอื่น ๆ มากที่สุด มีรูปร่างแตกต่างกันหลายลักษณะ เช่น ทรงกลม ทรงรีแกนไม่เท่า (Scalene ellipsoid) ทรงรีแบนขั้ว (Oblate spheroid) และแบนข้าง (Prolate spheroid) และทรงสี่เหลี่ยม เป็นต้น โดย ALG 0.5 ส่วนใหญ่จะมีพื้นผิวแบนเรียบและมีลักษณะเป็นเหลี่ยม ๆ ที่สำคัญ คือ คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่มีขนาดเล็ก ซึ่งมีสาเหตุมาจากอนุภาคคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ปลดปล่อยน้ำออกมาจากผลกระทบของพื้นผิวที่ไม่แข็งแรง ส่งผลให้โมเลกุลน้ำสามารถแทรกตัวผ่านรูพรุนหรือช่องว่างระหว่างอนุภาคออกมาได้ง่ายกว่า คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่จึงมีลักษณะลึบและไม่เต่ง โดยปริมาณน้ำที่ปลดปล่อยออกมาเป็นผลจากความแข็งแรงของปฏิสัมพันธ์ที่เกิดระหว่างไอออนและยูโรเนต (Ion-uronate interaction) (Grasdalen, Larsen, & Smidsrød, 1979; Morch, Donati, Strand, & Skjak-Braek, 2006; Chan et al., 2011) แตกต่างจาก ALG 1.0, ALG 1.5 และ ALG 2.0 ที่มีลักษณะเป็นทรงกลม มีพื้นผิวที่เรียบ และเต่ง เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่สูงกว่า จะผลิตอัลจิเนตปิดที่มีโครงสร้างแข็งแรงกว่า (Chan et al., 2011)

**ตารางที่ 4.2** สมบัติทางเคมีกายภาพของส่วนผสมที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินेटที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ปริมาณผลผลิตและสมบัติทางเคมีกายภาพ	ALG 0.5	ALG 1.0	ALG 1.5	ALG 2.0
ปริมาณกรดที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธีไตเตรต (ร้อยละ) <sup>NS</sup>	1.45 ± 0.02	1.45 ± 0.02	1.44 ± 0.02	1.35 ± 0.05
พีเอช	4.27 <sup>c</sup> ± 0.01	4.28 <sup>c</sup> ± 0.00	4.37 <sup>b</sup> ± 0.00	4.44 <sup>a</sup> ± 0.01
ความหนืด (มิลลิปาสคาล·วินาที)	20.33 <sup>a</sup> ± 0.23	114.23 <sup>b</sup> ± 1.66	327.80 <sup>c</sup> ± 5.11	975.57 <sup>d</sup> ± 8.91

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>NS</sup> แสดงถึงข้อมูลในแต่ละแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 4.3** ปริมาณผลผลิตและลักษณะรูปร่างของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินेटที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ปริมาณผลผลิตและสมบัติทางเคมีกายภาพ	ALG 0.5	ALG 1.0	ALG 1.5	ALG 2.0
ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ) <sup>NS</sup>	72.69 ± 3.53	75.08 ± 3.16	75.45 ± 2.42	77.31 ± 5.13
ความหนาแน่นรวม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.80 <sup>a</sup> ± 0.01	0.79 <sup>a</sup> ± 0.03	0.68 <sup>b</sup> ± 0.03	0.63 <sup>c</sup> ± 0.02
รัศมี (มิลลิเมตร)	1.76 <sup>c</sup> ± 0.02	1.81 <sup>c</sup> ± 0.05	1.91 <sup>b</sup> ± 0.02	2.01 <sup>a</sup> ± 0.05
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	3.52 <sup>c</sup> ± 0.04	3.61 <sup>c</sup> ± 0.10	3.82 <sup>b</sup> ± 0.04	4.03 <sup>a</sup> ± 0.11
ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	22.90 <sup>c</sup> ± 0.80	24.86 <sup>c</sup> ± 2.18	29.30 <sup>b</sup> ± 1.02	34.54 <sup>a</sup> ± 2.83

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>NS</sup> แสดงถึงข้อมูลในแต่ละแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

### สมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

ผลการศึกษสมบัติทางเคมีกายภาพแสดงดังตารางที่ 4.4 โดยปริมาณความชื้นของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินเตจากร้อยละ 0.5 เป็น 2.0 ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง ร้อยละ 95.28 – 96.50 แต่ในทางตรงข้าม การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินเตจากร้อยละ 0.5 เป็น 2.0 ส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วง ร้อยละ 3.50 – 4.72 ทั้งนี้ ผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินเตส่งผลต่อทั้งปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ โดยสารละลายโซเดียมอัลจินเตที่มีความเข้มข้นสูงกว่า อาจสามารถก่อตัวเป็นโครงสร้างอัลจินเตปิดที่บรรจุปริมาณน้ำอยู่ภายในน้อยกว่า เนื่องจากน้ำถูกแทนที่ด้วยความหนาแน่นของพอลิเมอร์อัลจินเต

สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 2473.92 – 3804.70 มิลลิกรัม GAE/100 กรัม น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4.4) โดย ALG 0.5, ALG 1.0 และ ALG 1.5 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่มีค่าสูงกว่า ALG 2.0 ( $p \leq 0.05$ ) ในขณะที่ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่อยู่ในช่วง 321.21 – 535.56 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4.4) ALG 0.5 และ ALG 1.0 มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่สูงกว่า ALG 1.5 และ ALG 2.0 ตามลำดับ ( $p \leq 0.05$ ) สำหรับผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินเตที่มีต่อค่ากิจกรรมกำจัดอนุมูลอิสระของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่แสดงดังตารางที่ 4.4 การใช้สารละลายโซเดียมอัลจินเตที่มีความเข้มข้นสูงกว่าให้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่มีค่ากิจกรรมกำจัดอนุมูลอิสระที่ต่ำกว่า โดยมีค่าความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอชได้ ร้อยละ 50 (50 % Efficient concentration) หรือค่า  $EC_{50}$  อยู่ในช่วง 30.96 – 149.88 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่ง ALG 0.5 ให้ค่ากิจกรรมกำจัดอนุมูลอิสระสูงสุด ซึ่งเท่ากับว่า ใช้เพียงความเข้มข้น 30.96 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในการกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอชได้ ร้อยละ 50 ทั้งนี้ จากผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินเตส่งผลต่อทั้งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และค่ากิจกรรมกำจัดอนุมูลอิสระของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากโครงสร้างของเม็ดปิดที่ค่อนข้างแข็งแรง เมื่อถูกเตรียมด้วยสารละลายโซเดียมอัลจินเตที่มีความเข้มข้นสูง และสามารถเกิดเจลที่แข็งแรงได้โดยอาศัยประจุบวก (Divalent cation) ช่วยทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมข้าม (Cross-linker) ในการเกิดการเชื่อมข้าม (Cross-linking) ระหว่างโมเลกุลของแคลเซียมไอออนและอัลจินเต และก่อให้เกิดเป็นโครงสร้างกล่องไข่ (Egg-box structure) ขึ้น (Chan et al., 2011) โครงสร้างที่แข็งแรงดังกล่าวสามารถกักเก็บสารต้านอนุมูลอิสระไว้ภายในได้เป็นอย่างดี ด้วย

เหตุนี้ เมื่อสกัดสารต้านอนุมูลอิสระออกมาจากคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ จึงมีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากโครงสร้างได้ ที่น่าสนใจ คือ การใช้สารละลายโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้นต่ำให้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่มีโครงสร้างไม่แข็งแรง ง่ายต่อการปลดปล่อยโมเลกุลน้ำและสารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ ส่งผลให้มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า และอาจเป็นทางเลือกที่ดีที่ตอบสนองต่อสุขภาพมากกว่าด้วยเช่นกัน

ผลการศึกษาค่าสี (Color properties) ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่แสดงดังตารางที่ 4.4 โดยพบว่า ค่าความสว่างของสี (Lightness) หรือค่า  $L^*$  ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่มีค่าอยู่ในช่วง 22.91 – 25.74 โดยมีค่าสูงขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารละลายโซเดียมอัลจินเต สำหรับค่าความเป็นสีแดง (Redness) หรือค่า  $a^*$  และค่าความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน (Yellowness/blueness) หรือค่า  $b^*$  ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่มีค่าอยู่ในช่วง 3.58 – 4.59 และ 2.45 – 3.51 ตามลำดับ โดย ALG 0.5 มีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  สูงกว่าที่ความเข้มข้นอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในขณะที่ ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ของ ALG 1.0, ALG 1.5 และ ALG 2.0 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) สำหรับในส่วนของค่าความเข้มสี (Chroma) หรือค่า  $C^*$  ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 4.41 – 5.28 โดย ALG 0.5 และ ALG 1.0 ( $p > 0.05$ ) ให้ค่า  $C^*$  สูงกว่า ALG 1.5 และ ALG 2.0 ( $p > 0.05$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) สำหรับค่าเฉดสี (Hue angle) หรือค่า  $h^\circ$  ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้มีค่าอยู่ในช่วง 28.09 – 44.62 โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินเตส่งผลให้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้มีค่า  $h^\circ$  ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาจากค่าความแตกต่างของสี (Color difference) หรือค่า  $\Delta E$  ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 11.39 – 20.72 โดยมีเพียง ALG 2.0 เท่านั้นที่แตกต่างจากที่เตรียมได้จากความเข้มข้นอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในขณะที่ ALG 0.5, ALG 1.0 และ ALG 1.5 พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ทั้งนี้ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินเตส่งผลต่อสมบัติสีของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ การใช้สารละลายโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้นต่ำกว่าให้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่มีความสว่างของสีต่ำกว่า แต่สามารถคงความเป็นสีแดงที่เป็นสีธรรมชาติของน้ำมัลเบอร์รี่ไว้ได้มากกว่าเช่นกัน นอกจากนี้ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินเตยังค่อนข้างมีผลกระทบต่อเฉดสีของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ การเตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินเตแตกต่างกัน จะได้ผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่มีเฉดสีแตกต่างกัน หากพิจารณาเฉพาะสมบัติสีด้านเดียว การเตรียมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่จากสารละลายโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้นในช่วง ร้อยละ 0.5 – 1.5 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความแตกต่างของสีจากสีเดิมของน้ำมัลเบอร์รี่น้อยกว่าที่ความเข้มข้น ร้อยละ 2.0

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางเคมีและค่าสีของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้นแตกต่างกัน

สมบัติทางเคมีกายภาพ	ALG 0.5	ALG 1.0	ALG 1.5	ALG 2.0
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	96.50 <sup>a</sup> ± 0.18	96.48 <sup>a</sup> ± 0.00	95.35 <sup>b</sup> ± 0.00	95.28 <sup>b</sup> ± 0.00
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	3.50 <sup>a</sup> ± 0.18	3.52 <sup>a</sup> ± 0.02	4.65 <sup>b</sup> ± 0.10	4.72 <sup>b</sup> ± 0.08
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม GAE/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	3804.70 <sup>a</sup> ± 223.42	3791.30 <sup>a</sup> ± 91.46	3717.60 <sup>a</sup> ± 77.58	2473.92 <sup>b</sup> ± 226.80
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	535.56 <sup>a</sup> ± 20.39	508.84 <sup>a</sup> ± 5.35	440.58 <sup>b</sup> ± 43.30	321.21 <sup>c</sup> ± 21.58
ค่ากิจกรรมกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (EC <sub>50</sub> ) (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) <sup>‡</sup>	30.96 <sup>a</sup> ± 0.54	52.93 <sup>b</sup> ± 7.82	110.97 <sup>c</sup> ± 6.53	149.88 <sup>d</sup> ± 4.07
ค่าสี				
<i>L</i> <sup>*</sup>	22.91 <sup>c</sup> ± 0.04	23.97 <sup>b</sup> ± 0.42	24.63 <sup>b</sup> ± 0.27	25.74 <sup>a</sup> ± 0.72
<i>a</i> <sup>*</sup>	4.59 <sup>a</sup> ± 0.25	3.76 <sup>b</sup> ± 0.06	3.58 <sup>b</sup> ± 0.07	3.58 <sup>b</sup> ± 0.17
<i>b</i> <sup>*</sup>	3.51 <sup>a</sup> ± 0.36	2.77 <sup>b</sup> ± 0.16	2.57 <sup>b</sup> ± 0.11	2.45 <sup>b</sup> ± 0.17
<i>C</i> <sup>*</sup>	5.28 <sup>a</sup> ± 0.05	5.21 <sup>a</sup> ± 0.26	4.53 <sup>b</sup> ± 0.20	4.41 <sup>b</sup> ± 0.12
<i>h</i> <sup>°</sup>	44.62 <sup>a</sup> ± 0.62	37.78 <sup>b</sup> ± 1.45	35.67 <sup>c</sup> ± 0.79	28.09 <sup>d</sup> ± 1.75
Δ <i>E</i>	11.39 <sup>a</sup> ± 0.76	12.57 <sup>a</sup> ± 1.98	14.98 <sup>a</sup> ± 1.10	20.75 <sup>b</sup> ± 3.72

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>‡</sup> รายงานเป็นค่าความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอชได้ ร้อยละ 50

### คุณภาพทางด้านจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่แสดงดังตารางที่ 4.5 โดยพบว่า คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากทุก ๆ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนตมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและเชื้อราทั้งหมด (โดยประมาณ) ต่ำกว่า 1 Colony forming unit (CFU)/ มิลลิลิตร ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นการยืนยันว่า ขั้นตอนในการเตรียมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่มีการปนเปื้อนจุลินทรีย์ต่ำทั้งแบคทีเรียและเชื้อรา

ตารางที่ 4.5 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมจากสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (CFU/มิลลิลิตร)	ปริมาณเชื้อยีสต์และราทั้งหมด (CFU/มิลลิลิตร)
ALG 0.5	< 1	< 1
ALG 1.0	< 1	< 1
ALG 1.5	< 1	< 1
ALG 2.0	< 1	< 1

### สมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสอาหาร (Texture profile analysis)

ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหารโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer แสดงดังตารางที่ 4.6 ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ค่าความแข็ง (Hardness) ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่มีค่าอยู่ในช่วง 42.78 – 393.94 นิวตัน โดยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ซึ่งแสดงให้เห็นว่า คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากที่ความเข้มข้นสูงกว่าต้องใช้แรงมากกว่าในการเคี้ยวด้วยเช่นกัน ในขณะที่ ค่า Adhesiveness (หรือค่าการเกาะติดของตัวอย่างกับผิวสัมผัสอื่น) มีค่าอยู่ในช่วง -1.38 – -0.51 กรัม-วินาที โดย ALG 1.5 มีค่า Adhesiveness ติดลบมากที่สุด ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า ตัวอย่างนี้อาจสามารถเกาะติดกับผิวสัมผัสอื่น ๆ ได้ง่ายที่สุด สำหรับค่า Springiness (ค่าความสามารถในการคืนตัวหลังการกดครั้งแรก) ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.18 – 0.47 โดยมีค่าสูงขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ALG 1.5 และ ALG 2.0 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) สำหรับค่า Cohesiveness (ค่าการยึดเกาะกันของตัวอย่าง) ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.44 – 0.57 ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่า คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้น ร้อยละ 1.0 – 2.0 ให้ค่า Cohesiveness ใกล้เคียงกัน สำหรับค่า Gumminess (ค่าแสดงการแตกตัวของตัวอย่างจนถึงสภาวะที่จะกลืนได้) ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 19.01 – 205.79 โดย ALG 0.5 สามารถแตกตัวได้ง่ายสุด และในทางตรงข้าม ALG 2.0 แตกตัวได้ยากสุด และสำหรับค่า Chewiness (ค่าความต้านทานในการเคี้ยว) ของคาเวียร์ น้ำมัลเบอร์รี่ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 3.35 – 96.01 ซึ่งค่าที่สูงกว่าบ่งบอกถึงความต้านทานในการเคี้ยวมากกว่า โดยจากผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินตที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความต้านทานการเคี้ยวสูงตาม ( $p \leq 0.05$ ) และมีความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่า Hardness และค่า Adhesiveness

**ตารางที่ 4.6** ข้อมูลทางด้านเนื้อสัมผัสของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินต ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ข้อมูลทางด้านเนื้อสัมผัส	ALG 0.5	ALG 1.0	ALG 1.5	ALG 2.0
Hardness (N)	0.42 <sup>c</sup> ± 0.01	1.43 <sup>b</sup> ± 0.04	1.45 <sup>b</sup> ± 0.05	3.86 <sup>a</sup> ± 0.06
Adhesiveness (g·sec)	-0.51 <sup>a</sup> ± 0.10	-0.66 <sup>ab</sup> ± 0.11	-1.38 <sup>c</sup> ± 0.19	-0.85 <sup>b</sup> ± 0.07
Springiness	0.18 <sup>c</sup> ± 0.01	0.39 <sup>b</sup> ± 0.00	0.47 <sup>a</sup> ± 0.02	0.47 <sup>a</sup> ± 0.01
Cohesiveness	0.44 <sup>c</sup> ± 0.05	0.57 <sup>a</sup> ± 0.02	0.51 <sup>b</sup> ± 0.00	0.52 <sup>ab</sup> ± 0.01
Gumminess	19.01 <sup>c</sup> ± 2.41	82.61 <sup>b</sup> ± 0.59	75.59 <sup>b</sup> ± 2.98	205.79 <sup>a</sup> ± 7.09
Chewiness	3.35 <sup>d</sup> ± 0.40	31.81 <sup>c</sup> ± 0.23	35.16 <sup>b</sup> ± 2.03	96.01 <sup>a</sup> ± 2.32

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### สมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินตที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4.7 โดยพบว่า คะแนนผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเต็ม 10 คะแนน ผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากทุก ๆ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินต ได้รับคะแนนด้านลักษณะปรากฏจากผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน อยู่ในช่วง 6.45 – 8.35 คะแนน โดย ALG 2.0 ได้คะแนนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) รองลงมา คือ ALG 1.5, ALG 1.0 และ ALG 0.5 ตามลำดับ ในด้านสี คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมจากสารละลายโซเดียมอัลจินตทุก ๆ ความเข้มข้นได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 5.90 – 7.35 โดย ALG 1.5 และ ALG 2.0 ได้คะแนนด้านสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่ได้คะแนนสูงกว่าทั้ง ALG 0.5 และ ALG 1.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) สำหรับในด้านของกลิ่น รสหวาน และรสเปรี้ยว พบว่า ทั้ง 3

ด้าน ได้คะแนนไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยได้คะแนนความชอบอยู่ในช่วง 6.00 – 6.30, 4.80 – 5.10 และ 5.30 – 5.80 ตามลำดับ ในด้านเนื้อสัมผัส พบว่า คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ ได้คะแนนอยู่ในช่วง 5.55 – 8.30 โดย ALG 1.5 ได้คะแนนสูงสุด ( $p \leq 0.05$ ) รองลงมา คือ ALG 1.5, ALG 2.0 และ ALG 0.5 ตามลำดับ และด้านความชอบโดยรวม พบว่า ALG 1.5 และ ALG 2.0 ได้รับคะแนนไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่สูงกว่าทั้ง ALG 0.5 และ ALG 1.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้ ถึงแม้ ALG 1.5 และ ALG 2.0 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) แต่การใช้ปริมาณน้อยกว่าย่อมลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมได้มากกว่าและอาจคุ้มค่ากว่าในการผลิต ดังนั้น สารละลายโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้น ร้อยละ 1.5 จึงเหมาะสมที่สุดสำหรับการเตรียมผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

**ตารางที่ 4.7** คุณภาพทางประสาทสัมผัสของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่จากสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

สมบัติทางประสาทสัมผัส	ALG 0.5	ALG 1.0	ALG 1.5	ALG 2.0
ลักษณะปรากฏ	6.45 <sup>c</sup> ± 0.76	7.45 <sup>b</sup> ± 0.51	7.85 <sup>b</sup> ± 0.67	8.35 <sup>a</sup> ± 0.67
สี	5.90 <sup>b</sup> ± 0.85	6.20 <sup>b</sup> ± 0.83	7.25 <sup>a</sup> ± 0.72	7.35 <sup>a</sup> ± 0.49
กลิ่น <sup>NS</sup>	6.30 ± 0.73	6.10 ± 0.79	6.05 ± 0.60	6.00 ± 0.65
รสหวาน <sup>NS</sup>	4.80 ± 0.70	4.65 ± 0.67	4.80 ± 0.77	5.10 ± 0.79
รสเปรี้ยว <sup>NS</sup>	5.80 ± 1.01	5.65 ± 0.81	5.55 ± 1.05	5.30 ± 0.57
เนื้อสัมผัส	5.55 <sup>d</sup> ± 0.69	6.55 <sup>c</sup> ± 0.60	8.30 <sup>a</sup> ± 0.73	7.80 <sup>b</sup> ± 0.77
ความชอบโดยรวม	5.80 <sup>b</sup> ± 0.77	6.05 <sup>b</sup> ± 0.76	6.95 <sup>a</sup> ± 0.60	6.75 <sup>a</sup> ± 0.44

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 50 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>NS</sup> แสดงถึงข้อมูลในแต่ละแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

### ผลของการใช้โคโตซานที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานระหว่างการเก็บรักษา

#### ปริมาณผลผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน

สารละลายโซเดียมอัลจิเนต (ความเข้มข้น ร้อยละ 1.5) ผสมสารละลายโคโตซานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 ถูกเตรียมขึ้นก่อนผสมกับน้ำมัลเบอร์รี่เข้มข้น ร้อยละ 50 ในอัตราส่วนน้ำมัลเบอร์รี่ต่อสารละลายโซเดียมอัลจิเนตผสมสารละลายโคโตซาน 25 ต่อ

75 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ ส่วนผสมข้างต้นจะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.8 โดยส่วนผสมมีค่าความเป็นกรดอยู่ในช่วง ร้อยละ 1.45 – 2.48 และมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.97 – 4.37 การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโคโตซาน ส่งผลให้ส่วนผสมที่เตรียมได้มีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นและมีค่าพีเอชลดลง ทั้งนี้ ภายหลังจากเตรียมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานจะเรียกคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ทั้ง 4 ชนิดว่า ALG 1.5, CHI 0.5, CHI 1.0 และ CHI 1.5 ตามลำดับ

สำหรับปริมาณผลผลิตคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.9 โดยพบว่า CHI 1.5 มีปริมาณผลผลิตสูงสุด ( $p \leq 0.05$ ) ในขณะที่ คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง 0.68 – 0.76 กรัม/ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยสารละลายโคโตซานความเข้มข้น ร้อยละ 1.0 และ 1.5 ให้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่มีค่าความหนาแน่นรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่สูงกว่าที่เตรียมได้จากทั้งความเข้มข้น ร้อยละ 0 และ 0.5 ตามลำดับ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งการใช้สารละลายโคโตซานที่ความเข้มข้นสูงกว่า มีแนวโน้มจะได้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่มีขนาดอนุภาคเล็กลง เป็นผลมาจากส่วนของน้ำภายในคาเวียร์ถูกแทนที่ด้วยโคโตซาน ซึ่งความเข้มข้นที่สูงกว่าส่งผลให้เกิดแรงดึงดูดกันระหว่างประจุลบของอัลจินตและประจุบวกของโคโตซานที่มากกว่า ทำให้น้ำถูกแยกออกมาและขนาดของอนุภาคจึงเล็กลง โดยพิจารณาได้จากรัศมี เส้นผ่านศูนย์กลาง และปริมาตรของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน ซึ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.9) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานเพิ่มจาก ร้อยละ 0 เป็น 1.5 ทั้งนี้ คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่มีขนาดเล็กกว่า จะสามารถแพ็คตัวในพื้นที่จำกัดได้แน่นมากกว่า แต่ในทางตรงข้าม คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่มีขนาดใหญ่กว่า จะมีช่องว่างระหว่างอนุภาคที่เต็มไปด้วยอากาศมากกว่าด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้ คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่เตรียมได้จากสารละลายโคโตซานความเข้มข้นที่สูงกว่าจึงมีอัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตรมากกว่า นอกจากนี้ ค่าความหนืดของส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลายโคโตซาน (ตารางที่ 4.8) ซึ่งอาจมีส่วนต่อขนาดที่เล็กลงของเม็ดปิดเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโคโตซาน โดยคาดว่าเป็นผลมาจากการเกาะเกี่ยวกันอย่างแข็งแรงยิ่งขึ้นผ่านทางปฏิสัมพันธ์แบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic interaction) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างหมู่แอมโมเนียมไอออนของโคโตซานและหมู่คาร์บอกซิเลทของอัลจินต และการเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) (Lin et al., 2005; Pasparakis & Bouropoulos, 2006) ส่งผลให้ปริมาตรที่สามารถรองรับน้ำมัลเบอร์รี่ได้ลดลงเช่นกัน (ตารางที่ 4.9)

**ตารางที่ 4.8** สมบัติทางเคมีกายภาพของส่วนผสมที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินเตผสมโคโคซานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ปริมาณผลผลิตและสมบัติทางเคมีกายภาพ	ALG 1.5	CHI 0.5	CHI 1.0	CHI 1.5
ค่าความเป็นกรด (ร้อยละ)	1.44 <sup>c</sup> ± 0.02	2.33 <sup>b</sup> ± 0.04	2.44 <sup>a</sup> ± 0.01	2.48 <sup>a</sup> ± 0.05
พีเอช	4.37 <sup>a</sup> ± 0.00	4.01 <sup>b</sup> ± 0.01	3.98 <sup>c</sup> ± 0.01	3.97 <sup>c</sup> ± 0.01
ความหนืด (มิลลิปาสคาล·วินาที)	327.80 <sup>c</sup> ± 5.11	275.57 <sup>d</sup> ± 2.44	544.93 <sup>b</sup> ± 2.00	1432.67 <sup>a</sup> ± 1.53

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

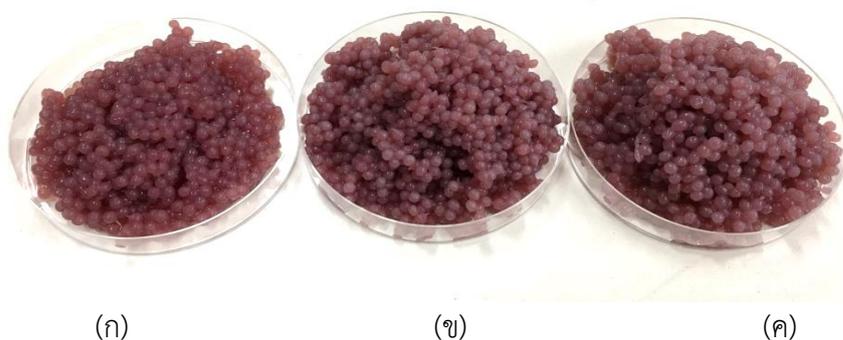
**ตารางที่ 4.9** ปริมาณผลผลิตและลักษณะรูปร่างของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ปริมาณผลผลิตและสมบัติทางเคมีกายภาพ	ALG 1.5	CHI 0.5	CHI 1.0	CHI 1.5
ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)	75.45 <sup>bc</sup> ± 2.42	73.99 <sup>c</sup> ± 0.64	78.19 <sup>b</sup> ± 0.62	82.75 <sup>a</sup> ± 2.48
ความหนาแน่นรวม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.68 <sup>b</sup> ± 0.03	0.70 <sup>b</sup> ± 0.02	0.74 <sup>a</sup> ± 0.01	0.76 <sup>a</sup> ± 0.01
รัศมี (มิลลิเมตร)	1.91 <sup>a</sup> ± 0.02	1.82 <sup>b</sup> ± 0.08	1.64 <sup>c</sup> ± 0.08	1.64 <sup>c</sup> ± 0.12
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	3.82 <sup>a</sup> ± 0.04	3.63 <sup>b</sup> ± 0.15	3.28 <sup>c</sup> ± 0.16	3.27 <sup>c</sup> ± 0.24
ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	29.30 <sup>a</sup> ± 1.02	13.84 <sup>b</sup> ± 1.18	11.30 <sup>c</sup> ± 1.10	11.27 <sup>c</sup> ± 1.68

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่เตรียมจากสารละลายโคโตซานความเข้มข้นแตกต่างกัน มีลักษณะร่วมกัน คือ มีรูปร่างเป็นทรงกลมและทรงรี ซึ่งเป็นลักษณะรูปร่างทั่วไปของเม็ดอัลจินเตปิดที่เตรียมด้วยเทคนิค Extrusion-dipping (Lee, Chan, Dolzhenko, & Heng, 2006; Chan, Lim, Voo, Pogaku, Tey, & Zhang, 2011) แต่มีลักษณะโครงสร้างบางอย่างต่างกัน (ภาพที่ 4.2) คือ CHI 1.0 และ CHI 1.5 มีจำนวนอนุภาคที่มีขั้ว (ซึ่งทำให้มีลักษณะคล้ายหยดน้ำ) มากกว่า CHI 0.5 โดยคาดว่า เป็นผลมาจากความหนืดของส่วนผสมที่ใช้



ภาพที่ 4.2 ลักษณะของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายโซเดียมอัลจินเตผสมโคโตซาน ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน (ก) ร้อยละ 1.0 (CHI 1.0) (ข) ร้อยละ 1.5 (CHI 1.5) และ (ค) ร้อยละ 2.0 (CHI 2.0)

ผลการศึกษสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานแสดงดังตารางที่ 4.10 โดยผลการศึกษาที่ได้พบว่า ปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานมีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 94.99 – 95.47 และ 4.53 – 5.01 ตามลำดับ โดยการใช้สารละลายโคโตซานความเข้มข้นในช่วง ร้อยละ 0 – 1.5 ไม่มีผลต่อทั้งปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน พบว่า อยู่ในช่วง 2912.19 – 3718.64 มิลลิกรัม GAE/100 กรัม น้ำหนักแห้ง โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานจาก ร้อยละ 0 เป็น 1.5 ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) สำหรับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน พบว่า อยู่ในช่วง 342.50 – 440.70 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง โดย ALG 1.5 มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงสุด ( $p \leq 0.05$ ) แต่ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของ CHI 0.5, CHI 1.0 และ CHI 1.5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อ

พิจารณาจากค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งรายงานเป็นค่าความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอชได้ ร้อยละ 50 (ค่าต่ำกว่าแสดงถึงการมีกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่า) พบว่า ALG 1.5 และ CHI 0.5 มีค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่สูงกว่า CHI 1.0 และ CHI 1.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้จากผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานไม่ส่งผลต่อปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมด แต่ส่งผลต่อทั้งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และกิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน แม้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของ CHI 0.5 น้อยกว่า ALG 1.5 แต่ค่ากิจกรรมกำจัดอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) อย่างไรก็ตาม ค่ากิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระของ ALG 1.5 และ CHI 0.5 มีค่าสูงกว่า CHI 1.0 และ CHI 1.5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเตรียมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ด้วยสารละลายโคโตซานที่ความเข้มข้นต่ำ จะได้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่มีโครงสร้างไม่แข็งแรง และง่ายต่อการปลดปล่อยโมเลกุลน้ำ รวมทั้งสารต้านออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ ดังนั้น CHI 1.0 จึงมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าและอาจเป็นทางเลือกที่ดีที่ตอบสนองต่อสุขภาพมากกว่าเช่นกัน

ผลการศึกษาค่าสีของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานแสดงดังตารางที่ 4.10 โดยคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานมีค่า  $L^*$  อยู่ในช่วง 24.63 – 33.74 ซึ่งสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานจาก ร้อยละ 0 เป็น 1.5 ( $p \leq 0.05$ ) สำหรับค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน พบว่า อยู่ในช่วง 3.58 – 8.77 และ 0.55 – 2.57 ตามลำดับ โดย CHI 1.0 และ CHI 1.5 มีค่า  $a^*$  ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่สูงกว่าที่ความเข้มข้นอื่น ๆ ( $p \leq 0.05$ ) ในขณะที่ ค่า  $b^*$  ของ ALG 1.5 มีค่าสูงสุด รองลงมา คือ CHI 1.0, CHI 1.5 และ CHI 0.5 ตามลำดับ ( $p \leq 0.05$ ) สำหรับค่า  $C^*$  ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน พบว่า อยู่ในช่วง 4.57 – 8.90 โดย CHI 1.0 และ CHI 1.5 ( $p > 0.05$ ) มีค่า  $C^*$  สูงกว่า ALG 1.5 และ CHI 2.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) สำหรับค่า  $h^\circ$  ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน พบว่า อยู่ในช่วง 4.52 – 35.67 ซึ่งค่า  $h^\circ$  ของ ALG 1.5 มีค่าสูงสุด ( $p \leq 0.05$ ) รองลงมา คือ CHI 1.0, CHI 1.5 และ CHI 0.5 ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta E$  ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน พบว่า อยู่ในช่วง 14.98 – 125.82 โดย CHI 1.0 และ CHI 1.5 ให้ค่า  $\Delta E$  ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่สูงกว่าที่ความเข้มข้นอื่น ๆ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานส่งผลต่อสมบัติสีของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน ซึ่งการผสมโคโตซานทำให้ค่าเฉดสีของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานเปลี่ยนแปลงไปอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกัน การผสมโคโตซานยังทำให้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่ได้มีสีที่แตกต่างจากน้ำมัลเบอร์รี่สดมากกว่าที่ไม่ได้ผสมโคโตซาน

ตารางที่ 4.10 สมบัติทางเคมีและค่าสีของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

สมบัติทางเคมีกายภาพ	ALG 1.5	CHI 0.5	CHI 1.0	CHI 1.5
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) <sup>NS</sup>	95.35 ± 0.00	95.47 ± 0.51	95.30 ± 0.65	94.99 ± 0.04
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ) <sup>NS</sup>	4.65 ± 0.10	4.53 ± 0.51	4.70 ± 0.65	5.01 ± 0.04
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม GAE/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	3718.64 <sup>a</sup> ± 77.60	3360.22 <sup>ab</sup> ± 267.82	3333.33 <sup>ab</sup> ± 229.68	2912.19 <sup>b</sup> ± 388.00
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	440.70 <sup>a</sup> ± 43.31	383.22 <sup>b</sup> ± 10.98	370.76 <sup>b</sup> ± 21.17	342.50 <sup>b</sup> ± 16.59
ค่ากิจกรรมกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (EC <sub>50</sub> ) (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) <sup>‡</sup>	110.97 <sup>b</sup> ± 6.53	109.28 <sup>b</sup> ± 2.96	119.25 <sup>a</sup> ± 2.89	119.30 <sup>a</sup> ± 2.43
ค่าสี <i>L</i> <sup>*</sup>	24.63 <sup>c</sup> ± 0.27	30.56 <sup>b</sup> ± 0.29	33.64 <sup>a</sup> ± 0.93	33.74 <sup>a</sup> ± 0.42
<i>a</i> <sup>*</sup>	3.58 <sup>c</sup> ± 0.07	6.99 <sup>b</sup> ± 0.37	8.77 <sup>a</sup> ± 0.68	8.45 <sup>a</sup> ± 0.93
<i>b</i> <sup>*</sup>	2.57 <sup>a</sup> ± 0.11	0.55 <sup>d</sup> ± 0.07	1.52 <sup>b</sup> ± 0.22	1.05 <sup>c</sup> ± 0.17
<i>C</i> <sup>*</sup>	4.53 <sup>c</sup> ± 0.20	7.01 <sup>b</sup> ± 0.36	8.90 <sup>a</sup> ± 0.70	8.51 <sup>a</sup> ± 0.93
<i>h</i> <sup>°</sup>	35.67 <sup>a</sup> ± 0.79	4.52 <sup>d</sup> ± 0.77	9.79 <sup>b</sup> ± 0.76	7.11 <sup>c</sup> ± 0.80
$\Delta E$	14.98 <sup>c</sup> ± 1.10	79.31 <sup>b</sup> ± 4.81	125.79 <sup>a</sup> ± 11.80	125.82 <sup>a</sup> ± 3.56

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>NS</sup> แสดงถึงข้อมูลในแต่ละแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

<sup>‡</sup> รายงานเป็นค่าความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอชได้ ร้อยละ 50

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (ปริมาณของแบคทีเรียและปริมาณเชื้อรา) ของผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานแสดงดังตารางที่ 4.11 ซึ่งพบว่า คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่เตรียมได้จากสารละลายโคโตซานทุก ๆ ความเข้มข้นมีปริมาณของแบคทีเรียและเชื้อรา (โดยประมาณ) ต่ำกว่า 1 CFU/มิลลิลิตร ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่า ขั้นตอนของการเตรียมคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานค่อนข้างปราศจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรียและเชื้อรา

**ตารางที่ 4.11** ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (CFU/มิลลิลิตร)	ปริมาณเชื้อยีสต์และราทั้งหมด (CFU/มิลลิลิตร)
ALG 1.5	< 1	< 1
CHI 1.0	< 1	< 1
CHI 1.5	< 1	< 1
CHI 2.0	< 1	< 1

สำหรับผลการวิเคราะห์ในด้านเนื้อสัมผัสของอาหารด้วยเครื่อง Texture Analyzer แสดงดังตารางที่ 4.12 โดยพบว่า ค่า Hardness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานมีค่าอยู่ในช่วง 1.23 – 3.23 นิวตัน การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานจาก ร้อยละ 0 เป็น 0.5 ส่งผลให้ค่า Hardness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่หลังจากเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานขึ้นเป็น 1.0 และ 1.5 กลับทำให้ค่า Hardness เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ตามลำดับ ในขณะที่ ค่า Adhesiveness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานมีค่าอยู่ในช่วง -1.38 – -0.35 กรัม.วินาที โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายโคโตซาน ร้อยละ 0 มีค่าติดลบมากที่สุด ( $p \leq 0.05$ ) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นเป็น ร้อยละ 0.5 กลับส่งผลให้มีค่า Adhesiveness ติดลบน้อยที่สุด ( $p \leq 0.05$ ) และมีค่าติดลบมากขึ้นอีกครั้ง (อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) ตามความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานที่เพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) สำหรับค่า Springiness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.31 – 0.47 โดย ALG 1.5 ให้ค่าสูงสุด ( $p \leq 0.05$ ) หลังจากเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโคโตซาน พบว่า CHI 0.5 ให้ค่า Springiness ต่ำสุด ( $p \leq 0.05$ ) และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้ง (อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานเพิ่มขึ้นเป็น 1.0 และ 1.5 ( $p \leq 0.05$ ) ตามลำดับ ในส่วนของค่า Cohesiveness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.31 – 0.51 โดย ALG 1.5, CHI 0.5 และ CHI 1.0 มีค่า Cohesiveness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่มีค่าสูงกว่า CHI 1.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในขณะที่ ค่า Gumminess และค่า

Chewiness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 59.31 – 102.99 และ 18.37 – 41.18 ตามลำดับ โดยค่า Gumminess ลดลง ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานเป็น ร้อยละ 0.5 และเพิ่มขึ้นอีกครั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานเพิ่มขึ้นเป็น 1.0 และ 1.5 ( $p \leq 0.05$ ) ตามลำดับ เช่นเดียวกัน ค่า Chewiness ลดลง ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานเป็น ร้อยละ 0.5 และมีค่าสูงขึ้นอีกครั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานเพิ่มขึ้นเป็น 1.0 และ 1.5 ( $p \leq 0.05$ ) ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า โคโตซานส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ โดยที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ จะไปลดค่า Hardness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess และ Chewiness ลง และในทางตรงข้ามคือทำให้ค่า Adhesiveness เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วนของโคโตซานให้ขึ้นจะส่งผลให้ค่า Hardness, Springiness, Gumminess และ Chewiness เพิ่มขึ้นตาม และมีค่า Adhesiveness ตีลบมากขึ้น เป็นการสะท้อนให้เห็นว่า สัดส่วนของโคโตซานทำให้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่มีความแข็งมากขึ้น เหนียวหนึบมากขึ้น มีความเคี้ยวมากขึ้น เกิดการแตกตัวจนถึงสภาวะที่จะกลืนได้ยากยิ่งขึ้น และมีความต้านทานในการเคี้ยวสูงขึ้น ซึ่งข้อมูลด้านเนื้อสัมผัสอาหารดังกล่าวต้องพิจารณาร่วมกับผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสควบคู่กันไป

**ตารางที่ 4.12** ข้อมูลทางด้านเนื้อสัมผัสของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

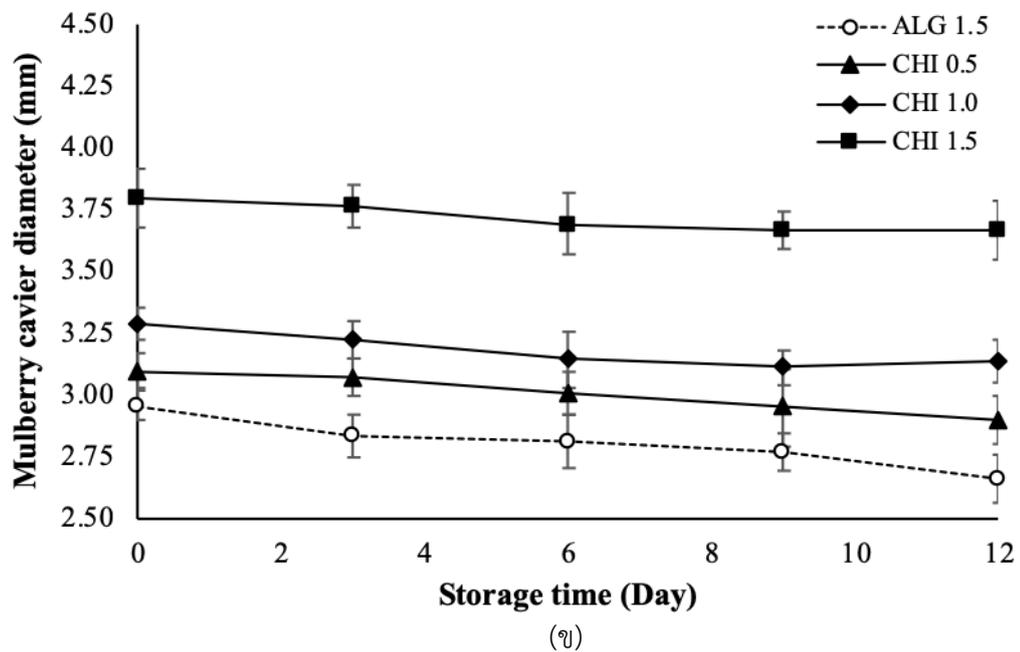
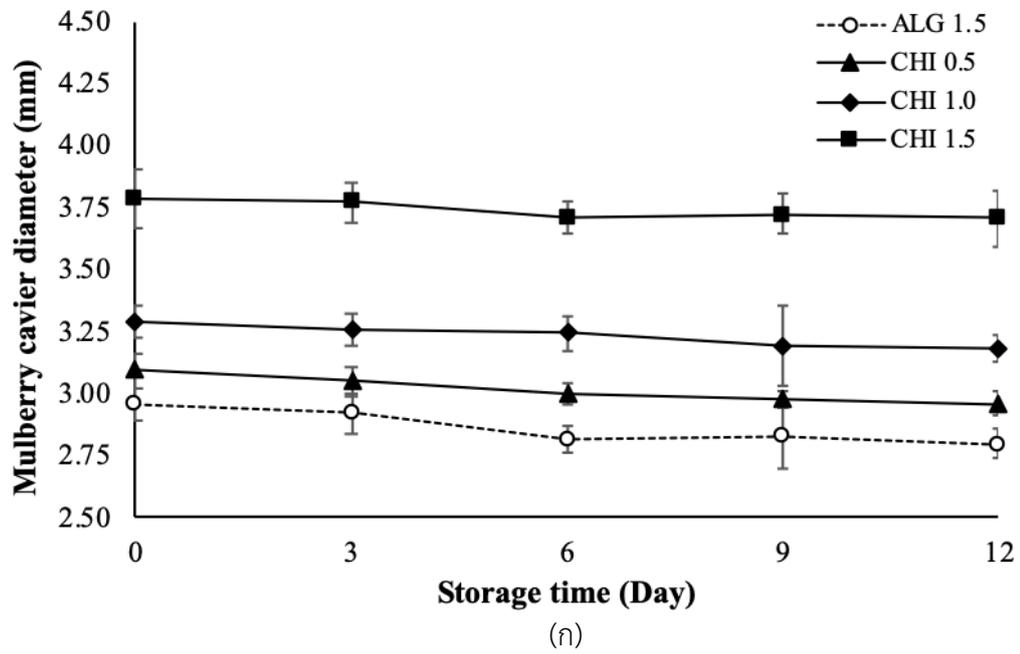
ข้อมูลทางด้านเนื้อสัมผัส	ALG 1.5	CHI 0.5	CHI 1.0	CHI 1.5
Hardness (N)	1.45 <sup>c</sup> ± 0.05	1.23 <sup>d</sup> ± 0.05	1.75 <sup>b</sup> ± 0.06	3.23 <sup>a</sup> ± 0.08
Adhesiveness (g·sec)	-1.38 <sup>d</sup> ± 0.19	-0.35 <sup>a</sup> ± 0.04	-0.63 <sup>b</sup> ± 0.03	-1.15 <sup>c</sup> ± 0.05
Springiness	0.47 <sup>a</sup> ± 0.02	0.31 <sup>d</sup> ± 0.01	0.37 <sup>c</sup> ± 0.01	0.40 <sup>b</sup> ± 0.01
Cohesiveness	0.51 <sup>a</sup> ± 0.00	0.47 <sup>a</sup> ± 0.04	0.50 <sup>a</sup> ± 0.01	0.31 <sup>b</sup> ± 0.01
Gumminess	75.59 <sup>c</sup> ± 2.98	59.31 <sup>d</sup> ± 7.21	89.14 <sup>b</sup> ± 1.38	102.99 <sup>a</sup> ± 2.49
Chewiness	35.16 <sup>b</sup> ± 2.03	18.37 <sup>c</sup> ± 2.23	32.39 <sup>b</sup> ± 0.75	41.18 <sup>a</sup> ± 0.94

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

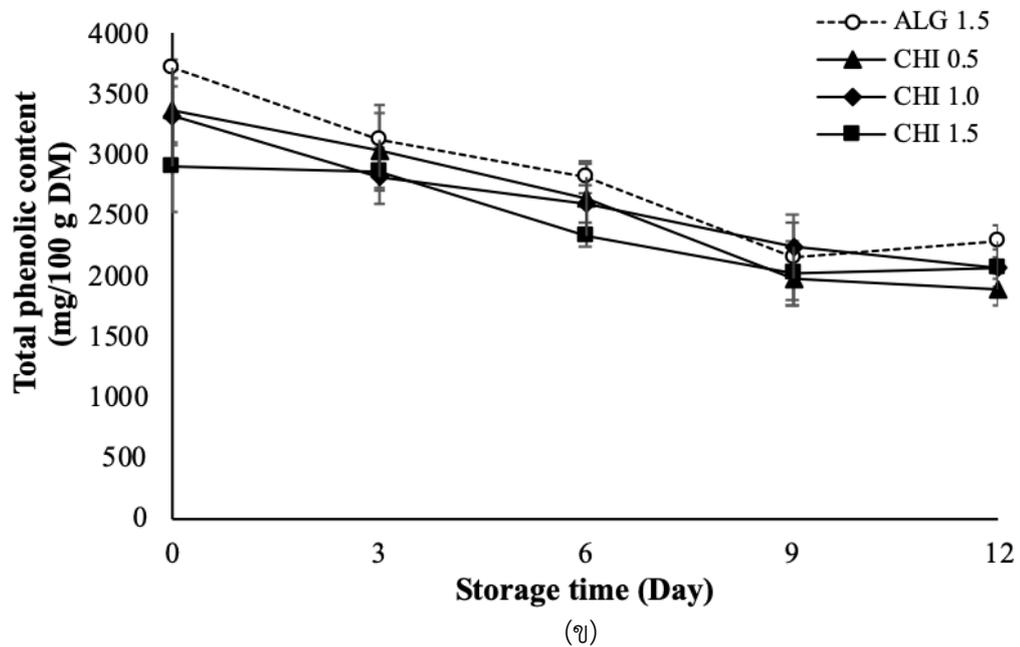
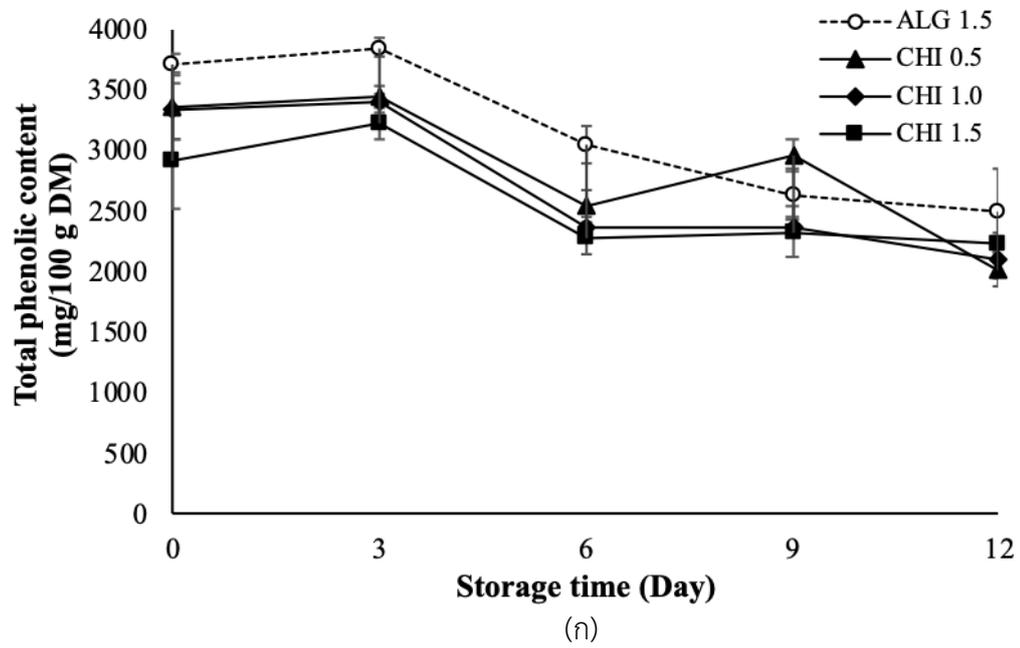
### การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานในระหว่างเก็บรักษา

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของขนาดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแตกต่างกันแสดงดังภาพที่ 4.3 (ก) และ (ข) โดยจุดเริ่มต้นของการเก็บรักษา ALG 1.5 (ไม่มีโคโตซาน) CHI 0.5, CHI 1.0 และ CHI 1.5 มีขนาดเฉลี่ย 2.96, 3.09, 3.29 และ 3.79 มิลลิเมตร ตามลำดับ ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ได้แก่ อุณหภูมิแช่เย็นที่ 5 – 10 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิห้องที่ 28 – 32 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า การเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแช่เย็นมีขนาดเฉลี่ย 2.80, 2.96, 3.18, และ 3.71 มิลลิเมตร ตามลำดับ และภายใต้อุณหภูมิห้องมีขนาดเฉลี่ย 2.66, 2.90, 3.13, และ 3.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งขนาดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายอัลจินเตผสมโคโตซานทุก ๆ ความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจากจุดเริ่มต้นทั้งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็นและที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 4.3) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นส่งผลให้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่มีขนาดเฉลี่ยเล็กลง ร้อยละ 5.2, 4.3, 3.2 และ 2.1 และที่อุณหภูมิห้องมีขนาดเฉลี่ยเล็กลง ร้อยละ 10.0, 6.4, 4.7 และ 3.4 ซึ่งจากผลการศึกษาเห็นได้ชัดว่าการเก็บภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่าส่งผลให้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เก็บรักษามีขนาดเฉลี่ยเล็กลงมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิห้อง เมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากการเก็บรักษาในทั้ง 2 อุณหภูมิ พบว่า CHI 1.5 มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดน้อยที่สุด รองลงมา คือ CHI 1.0, CHI 0.5 และ ALG 1.5 ตามลำดับ ทั้งนี้ ผลการศึกษาที่ได้ อาจเกี่ยวข้องกับความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ในอนุภาคของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน โดยสามารถสังเกตเห็นปริมาณน้ำที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้อย่างชัดเจนในระหว่างการทดลอง (โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับ ALG 1.5) และทำให้มีขนาดอนุภาคเล็กลงตาม โครงสร้างร่างแห (Network structure) ที่เกิดจากแคลเซียมและอัลจินเตถูกเติมด้วยโคโตซาน ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่ามีหมู่แอมโมเนียมไอออนจำนวนมาก สามารถเกิดพันธะและยึดจับกับโมเลกุลน้ำไว้ได้ดีกว่า ขนาดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่จึงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าในระหว่างเก็บรักษา



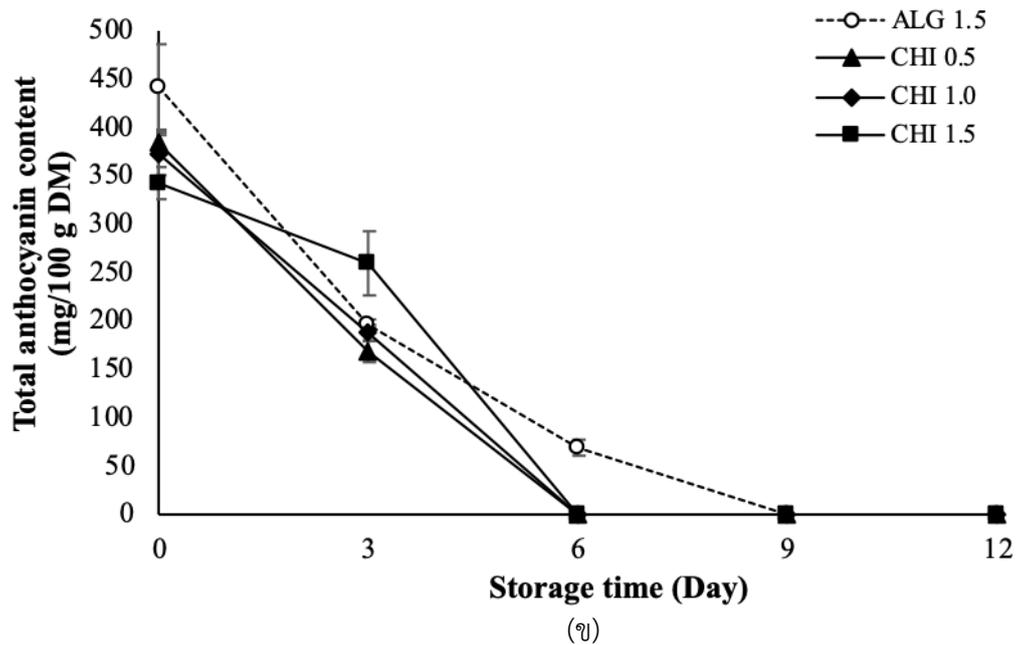
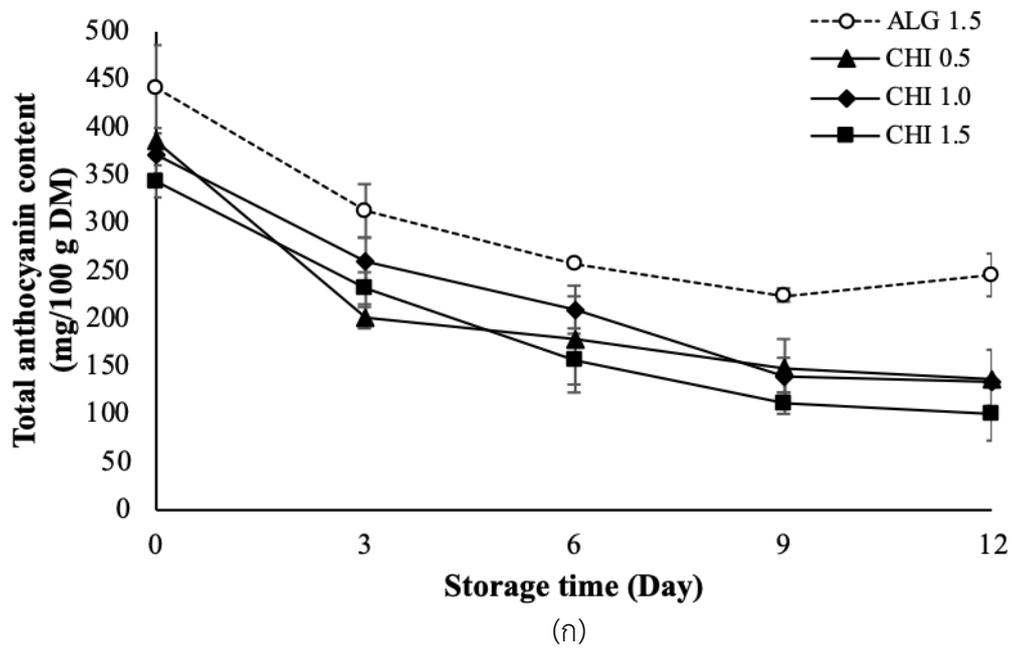
ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของขนาดคาวีร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแตกต่างกัน  
 (ก) อุณหภูมิภายในตู้เย็น (ประมาณ 5 – 10 องศาเซลเซียส) และ (ข) อุณหภูมิห้องทั่วไป (ประมาณ 26 – 32 องศาเซลเซียส)

ผลการศึกษการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแตกต่างกันแสดงดังภาพที่ 4.4 (ก) และ (ข) โดยที่จุดเริ่มต้นของการเก็บรักษา ALG 1.5, CHI 0.5, CHI 1.0 และ CHI 1.5 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 3718.64, 3360.22, 3333.33 และ 2912.19 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแช่เย็น ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเหลือ 2508.96, 2016.13, 2105.73 และ 2240.14 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และภายใต้อุณหภูมิต่ำเหลือปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพียง 2284.95, 1881.72, 2060.93 และ 2060.93 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายอัลจินตผสมโคโตซานทุก ๆ ความเข้มข้นลดลงจากจุดเริ่มต้น ทั้งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็นและที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (ภาพที่ 4.4) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ลดลง ร้อยละ 32.53, 40.00, 36.83 และ 23.08 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิต่ำปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ร้อยละ 38.54, 44.00, 38.17 และ 29.23 ตามลำดับ ทั้งนี้ ผลการศึกษได้เห็นได้ชัดว่า การเก็บภายใต้อุณหภูมิต่ำสูงกว่าส่งผลให้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เก็บรักษามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากการเก็บรักษาคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ในทั้ง 2 อุณหภูมิเปรียบเทียบกัน พบว่า CHI 1.5 เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยสุดในทั้ง 2 อุณหภูมิ รองลงมา คือ ALG 1.5, CHI 1.0 และ CHI 0.5 ตามลำดับ สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และ CHI 1.0, ALG 1.5 และ CHI 0.5 ตามลำดับ สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้ เป็นที่ทราบกันดีว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า เป็นปัจจัยสำคัญที่เร่งการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกให้มากกว่าเช่นกัน (Serea, Barna, Manley, & Kidd, 2014; Moldovan, Popa, & David, 2016; Galani, Mankad, Shah, Patel, Acharya, & Talati, 2017) นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานที่ใช้ด้วย ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของ CHI 1.5 ลดลงจากเดิมน้อยสุด อาจเป็นผลมาจากสัดส่วนของพอลิเมอร์ (ทั้งอัลจินตและโคโตซาน) ในโครงสร้างที่มีมากกว่าตัวอย่างอื่น ๆ โดยโครงสร้างของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด จะทำหน้าที่เสมือนเป็นแนวป้องกัน ซึ่งสามารถช่วยรองรับพลังงานความร้อนที่แพร่เข้ามาไว้ได้มากกว่า ส่งผลให้สามารถลดผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้มากกว่า



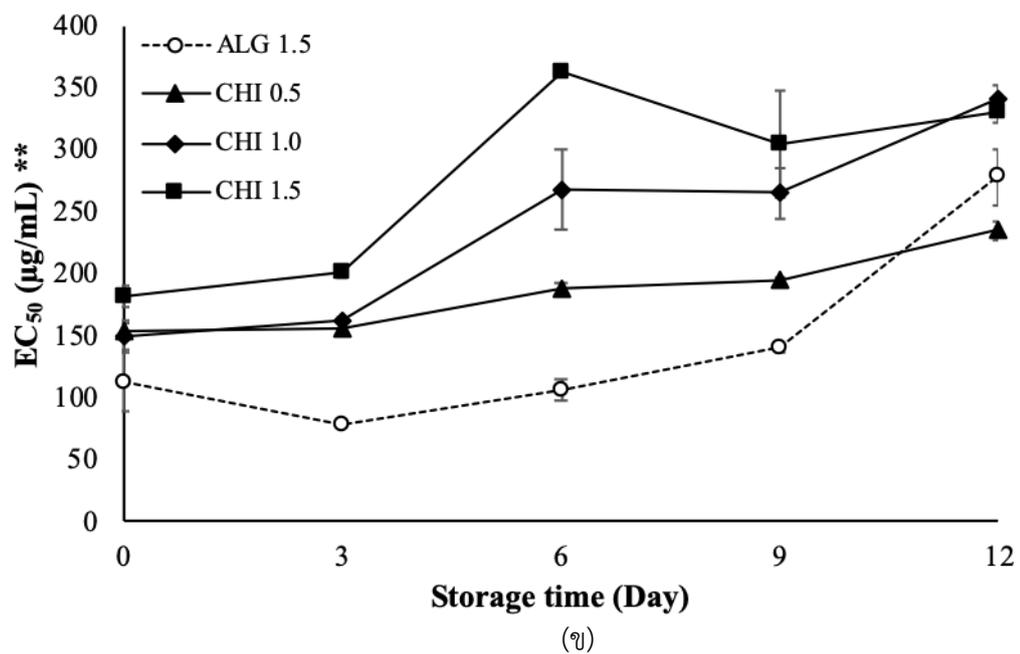
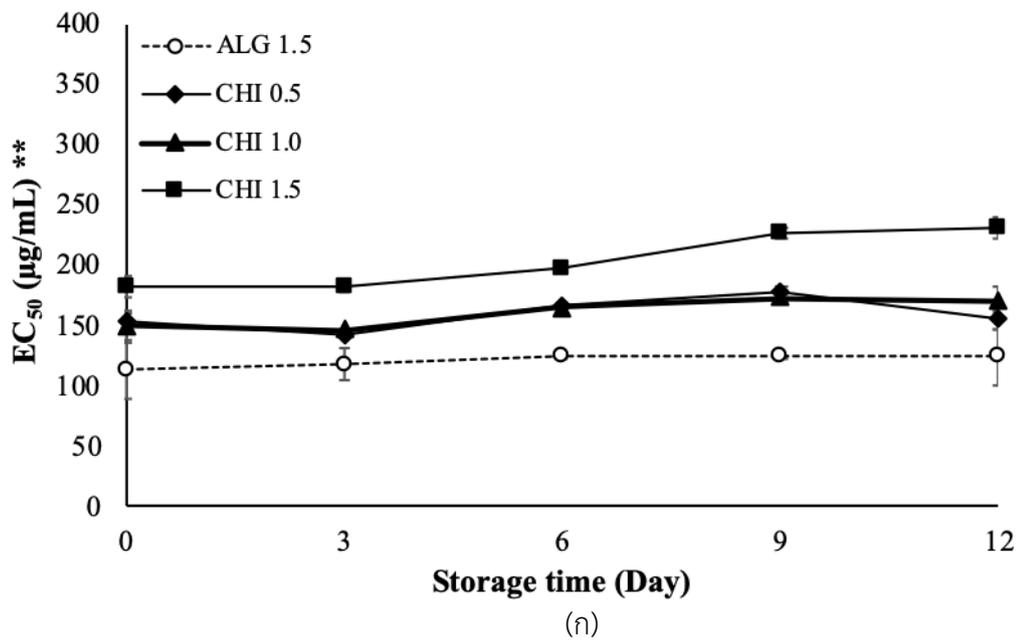
ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแตกต่างกัน (ก) อุณหภูมิภายในตู้เย็น (ประมาณ 5 – 10 องศาเซลเซียส) และ (ข) อุณหภูมิห้องทั่วไป (ประมาณ 26 – 32 องศาเซลเซียส)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดของคาวีร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแตกต่างกันแสดงดังภาพที่ 4.5 (ก) และ (ข) โดยที่จุดเริ่มต้นของการเก็บรักษา ALG 1.5, CHI 0.5, CHI 1.0 และ CHI 1.5 มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด 440.70, 383.22, 370.76 และ 342.50 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า คาวีร์น้ำมัลเบอร์รี่มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด การเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแช่เย็นส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดเหลือ 244.30, 136.52, 131.73 และ 100.59 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ แต่ในทางตรงข้ามการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิห้องไม่เหลือปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนเลย ซึ่งเห็นได้ชัดว่าวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดของคาวีร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากสารละลายอัลจินเตผสมไคโตซานทุก ๆ ความเข้มข้นลดลงจากจุดเริ่มต้น ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นและที่อุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 4.5) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นส่งผลให้คาวีร์น้ำมัลเบอร์รี่มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดลดลง ร้อยละ 44.57, 64.38, 64.47 และ 70.63 ตามลำดับ ในขณะที่ ที่อุณหภูมิห้องปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดของทุก ๆ ตัวอย่างลดลง ร้อยละ 100 ทั้งนี้ จากผลการศึกษาเห็นได้ชัดว่า การเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิสูงกว่าส่งผลให้คาวีร์น้ำมัลเบอร์รี่มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดลดลงมากกว่าการเก็บภายใต้อุณหภูมิต่ำ เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละตัวอย่าง พบว่า ภายใต้อุณหภูมิแช่เย็น ALG 1.5 มีการสูญเสียปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดต่ำสุด รองลงมา คือ CHI 0.5, CHI 1.0 และ CHI 1.5 ตามลำดับ เช่นเดียวกัน พิจารณาจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ยังมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดเหลืออยู่) พบว่า ALG 1.5 ยังคงเหลือปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ แต่ CHI 0.5, CHI 1.0 และ CHI 1.5 มีการสูญเสียปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดแล้ว ทั้งนี้ เป็นที่ทราบกันดีว่า แอมโมเนียไนโตรเจนเป็นหนึ่งในสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่คงตัวต่อการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิสูง การเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิที่สูงกว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่เร่งให้เกิดการสลายตัวของแอมโมเนียไนโตรเจนที่สูงกว่าเช่นกัน (Ersus, & Yurdagel, 2007; Kirca, Özkan, & Cemeroglu, 2007; Laokuldilok, & Kanha, 2017) นอกจากนี้ ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดในคาวีร์น้ำมัลเบอร์รี่ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานที่ใช้ด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดของ ALG 1.5 (ที่ไม่มีส่วนผสมของสารละลายไคโตซาน) ลดลงจากเดิมน้อยที่สุด ผลการศึกษาดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากการที่ไคโตซานมีหมู่อะมิโนที่สามารถดูดซับโปรตอนและก่อตัวเป็นหมู่แอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_3^+$ ) ได้ (Xie, Xu, & Liu, 2001) ส่งผลให้เกิดแรงผลักต่อโมเลกุลฟลาวิลเลียมไอออนและรบกวนการจัดเรียงตัวให้คงตัวอยู่ในโครงสร้างคาวีร์น้ำมัลเบอร์รี่ จึงง่ายต่อการสลายตัวทางความร้อนมากกว่า ซึ่งสามารถสังเกตได้จากตัวอย่างที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแช่เย็น ที่พบว่า ความเข้มข้นที่สูงกว่าของสารละลายไคโตซานส่งผลให้เกิดการสูญเสียปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่าเช่นกัน ดังนั้น การใช้สารละลายไคโตซานจึงไม่เป็นผลดีต่อปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิต่างกัน (ก) อุณหภูมิภายในตู้เย็น (ประมาณ 5 – 10 องศาเซลเซียส) และ (ข) อุณหภูมิห้องทั่วไป (ประมาณ 26 – 32 องศาเซลเซียส)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอชของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแตกต่างกันแสดงดังภาพที่ 4.6 (ก) และ (ข) ซึ่งการศึกษานี้รายงานผลกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอชเป็นค่าความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระได้ ร้อยละ 50 (Efficient concentration) หรือค่า  $EC_{50}$  โดยจุดเริ่มต้นของการเก็บรักษา ALG 1.5, CHI 0.5, CHI 1.0 และ CHI 1.5 มีค่า  $EC_{50}$  112.80, 154.72, 149.38 และ 182.19 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้ ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า ค่า  $EC_{50}$  ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแช่เย็น โดยมีค่า  $EC_{50}$  เพิ่มขึ้นเป็น 124.01, 155.56, 171.02 และ 230.94 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ การเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิห้องส่งผลให้ค่า  $EC_{50}$  เพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยมีค่า  $EC_{50}$  เพิ่มขึ้นเป็น 277.66, 235.44, 342.11 และ 331.12 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ชัดว่า ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ค่า  $EC_{50}$  ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่เตรียมได้จากทุกความเข้มข้นของสารละลายอัลจินตผสมโคโตซานสูงขึ้นจากเริ่มต้น ทั้งที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแช่เย็นและที่เก็บภายใต้อุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 4.6) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นส่งผลให้ค่า  $EC_{50}$  ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่เพิ่มขึ้น ร้อยละ 9.94, 0.54, 14.49 และ 26.75 ตามลำดับ ในขณะที่ การเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิห้อง ส่งผลให้ค่า  $EC_{50}$  ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่สูงขึ้น ร้อยละ 146.25, 52.17, 129.02 และ 81.74 ตามลำดับ ทั้งนี้ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่าส่งผลให้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่สูญเสียฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการเก็บภายใต้อุณหภูมิต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละตัวอย่างพบว่า ภายใต้อุณหภูมิแช่เย็น CHI 0.5 สามารถคงฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระไว้ได้มากที่สุด รองลงมา คือ ALG 1.5, CHI 1.0 และ CHI 1.5 ตามลำดับ ในขณะที่ ภายใต้อุณหภูมิห้อง พบว่า CHI 0.5 สามารถคงฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระไว้ได้มากที่สุด รองลงมา คือ CHI 1.5, CHI 1.0 และ ALG 1.5 ตามลำดับ ทั้งนี้ ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอชขึ้นอยู่กับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่และชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถสกัดออกมาได้ ซึ่งในการศึกษานี้ไม่ได้วิเคราะห์ถึงส่วนประกอบของสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic composition) ที่มีในสารสกัดที่ได้จากคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ แต่จากผลการศึกษาที่ได้คาดว่า แนวโน้มที่แตกต่างกันของค่า  $EC_{50}$  ที่วิเคราะห์จากทั้ง 2 อุณหภูมิ อาจเป็นผลมาจาก 3 กรณี คือ (1) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ภาพที่ 4.22) (2) ชนิดของสารประกอบฟีนอลิกที่ปลดปล่อยออกมา และ (3) การเกาะเกี่ยวอยู่กับโมเลกุลชนิดอื่น ๆ ของสารต้านอนุมูลอิสระ อาทิ แอนโทไซยานินจับอยู่กับไอออนของโลหะ (Metallic ion chelation) ทำให้สูญเสียหมู่ฟังก์ชันในการให้โปรตอนแก่อนุมูลอิสระไป เป็นต้น



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแตกต่างกัน (ก) อุณหภูมิภายในตู้เย็น (ประมาณ 5 - 10 องศาเซลเซียส) และ (ข) อุณหภูมิห้องทั่วไป (ประมาณ 26 - 32 องศาเซลเซียส)

\*\* ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอชรายงานเป็นค่า EC<sub>50</sub> ในหน่วยไมโครกรัม/มิลลิลิตร (µg/mL)

สำหรับผลการวิเคราะห์ด้านเนื้อสัมผัสของอาหารด้วยเครื่อง Texture Analyzer ในระหว่างการเก็บรักษาแสดงดังตารางที่ 4.13 – 4.18 เริ่มต้นค่าเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานมีค่า Hardness อยู่ในช่วง 1.18 – 1.83 นิวตัน (ตารางที่ 4.13) ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ค่า Hardness ผันแปรค่อนข้างมาก โดยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยทั้งความเข้มข้นของโคโคซาน อุณหภูมิการเก็บรักษา และจำนวนวันที่เก็บรักษา อย่างไรก็ตาม เมื่อสิ้นสุดระยะเก็บรักษา (วันที่ 12) พบว่า ค่าเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแช่เย็นมีค่า Hardness อยู่ในช่วง 1.14 – 2.39 นิวตัน ซึ่งส่วนใหญ่ (ALG 1.5, CHI 0.5 และ CHI 1.5) มีค่าสูงขึ้นจากจุดเริ่มต้น มีเพียง CHI 1.0 เท่านั้นที่มีค่าน้อยกว่าที่จุดเริ่มต้นของการเก็บรักษา ในขณะที่ ค่าเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิห้องมีค่า Hardness ที่วิเคราะห์ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษามีค่าอยู่ในช่วง 1.30 – 1.65 นิวตัน สำหรับ ALG 1.5 และ CHI 0.5 สำหรับตัวอย่าง CHI 1.0 และ CHI 1.5 ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในวันดังกล่าว เนื่องจากมีการบวมเป่งของจุลินทรีย์ค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา พบว่า CHI 1.0 และ CHI 1.5 มีค่า Hardness อยู่ในช่วง 1.73 – 2.06 นิวตัน ซึ่งสูงขึ้นจากจุดเริ่มต้นเช่นกัน จึงมีเพียง ALG 1.5 เท่านั้นที่มีค่าน้อยกว่าที่จุดเริ่มต้นของการเก็บรักษา ทั้งนี้ จากผลการศึกษาที่ได้ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่า อุณหภูมิการเก็บรักษาส่งผลต่อค่า Hardness ของคาร์เวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ เนื่องจากค่า Hardness ที่วิเคราะห์ได้ค่อนข้างผันแปร ไม่มีแนวโน้มที่แน่นอน ซึ่งอาจเกิดจากการสุ่มตัวอย่างที่ไม่สม่ำเสมอ และ/หรือจำนวนซ้ำในการวิเคราะห์น้อยเกินไป อย่างไรก็ตาม ค่า Hardness ที่เพิ่มสูงขึ้นอาจเป็นผลมาจากการปลดปล่อยน้ำออกจากโครงสร้าง ส่งผลให้คาร์เวียร์น้ำมัลเบอร์รี่มีความแข็งมากยิ่งขึ้น

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่า Adhesiveness ของคาร์เวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานแสดงดังตารางที่ 4.14 เริ่มต้นค่าเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานมีค่า Adhesiveness อยู่ในช่วง -1.69 – -0.56 กรัม·วินาที เช่นเดียวกับค่า Hardness ค่า Adhesiveness ของแต่ละตัวอย่างค่อนข้างผันแปรอย่างมากในระหว่างการเก็บรักษา ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยทั้งความเข้มข้นของโคโคซาน อุณหภูมิการเก็บรักษา และจำนวนวันที่เก็บรักษา อย่างไรก็ตาม เมื่อสิ้นสุดระยะเก็บรักษา (วันที่ 12) พบว่า ค่าเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแช่เย็นมีค่า Adhesiveness อยู่ในช่วง -1.38 – -0.98 กรัม·วินาที ซึ่งส่วนใหญ่ (ALG 1.5, CHI 0.5 และ CHI 1.0) มีแนวโน้มค่าติดลบมากยิ่งขึ้นจากจุดเริ่มต้น มีเพียง CHI 1.5 เท่านั้นที่มีค่าติดลบน้อยกว่าที่จุดเริ่มต้นของการเก็บรักษา ( $p \leq 0.05$ ) ในขณะที่ ค่าเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิห้องมีค่า Adhesiveness ที่วิเคราะห์ได้ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา อยู่ในช่วง -1.10 – -0.44 กรัม·วินาที สำหรับ ALG 1.5 และ CHI 0.5 ในขณะที่ CHI 1.0 และ CHI 1.5 ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในวันดังกล่าว เนื่องจากมีการบวมเป่งของจุลินทรีย์ค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา พบว่า CHI 1.0 และ CHI 1.5 มีค่า Adhesiveness อยู่ในช่วง -1.24 – -0.86 กรัม·วินาที ซึ่ง CHI 1.0 มีค่า Adhesiveness ติดลบมากขึ้นจากจุดเริ่มต้นเล็กน้อย ( $p > 0.05$ ) ในขณะที่ CHI 1.5 มีค่าติดลบน้อยกว่าที่จุดเริ่มต้นของการเก็บรักษา ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้ จากผลการศึกษา

**ตารางที่ 4.13** การเปลี่ยนแปลงค่า Hardness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

พารามิเตอร์ข้อมูล ทางด้านเนื้อสัมผัส	ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
			0	3	6	9	12
Hardness (N)	ALG 1.5	5 – 10	1.38 <sup>bc,B</sup> ± 0.11	1.01 <sup>d,C</sup> ± 0.04	1.18 <sup>de,C</sup> ± 0.04	1.42 <sup>def,B</sup> ± 0.08	1.68 <sup>c,A</sup> ± 0.07
		26 – 32	1.38 <sup>bc,B</sup> ± 0.11	1.25 <sup>c,B</sup> ± 0.21	1.28 <sup>d,B</sup> ± 0.04	1.59 <sup>bcd,A</sup> ± 0.06	1.30 <sup>d,B</sup> ± 0.09
	CHI 0.5	5 – 10	1.18 <sup>c,B</sup> ± 0.09	1.17 <sup>cd,B</sup> ± 0.12	1.06 <sup>e,B</sup> ± 0.11	1.18 <sup>g,B</sup> ± 0.07	2.06 <sup>b,A</sup> ± 0.17
		26 – 32	1.18 <sup>c,B</sup> ± 0.09	1.20 <sup>cd,B</sup> ± 0.19	1.24 <sup>de,B</sup> ± 0.08	1.37 <sup>efg,B</sup> ± 0.01	1.65 <sup>c,A</sup> ± 0.16
	CHI 1.0	5 – 10	1.48 <sup>b,A</sup> ± 0.09	1.36 <sup>c,A</sup> ± 0.02	1.51 <sup>c,A</sup> ± 0.07	1.50 <sup>cde,A</sup> ± 0.04	1.14 <sup>d,B</sup> ± 0.16
		26 – 32	1.48 <sup>b,B</sup> ± 0.09	1.70 <sup>b,A</sup> ± 0.11	1.72 <sup>b,A</sup> ± 0.07	1.73 <sup>b,A</sup> ± 0.15	-
	CHI 1.5	5 – 10	1.83 <sup>a,D</sup> ± 0.15	2.25 <sup>a,AB</sup> ± 0.13	2.05 <sup>a,BC</sup> ± 0.07	2.03 <sup>a,C</sup> ± 0.16	2.39 <sup>a,A</sup> ± 0.04
		26 – 32	1.83 <sup>a,B</sup> ± 0.15	2.13 <sup>a,A</sup> ± 0.04	2.22 <sup>a,A</sup> ± 0.08	2.06 <sup>a,A</sup> ± 0.13	-

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 20 ซ้ำ

ตัวอักษร (a – g) ที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตัวอักษร (A – D) ที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์เนื่องจากตัวอย่างเน่าเสีย

**ตารางที่ 4.14** การเปลี่ยนแปลงค่า Adhesiveness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

พารามิเตอร์ข้อมูล ทางด้านเนื้อสัมผัส	ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
			0	3	6	9	12
Adhesiveness (g·sec)	ALG 1.5	5 – 10	-0.99 <sup>b,BC</sup> ± 0.26	-0.89 <sup>b,AB</sup> ± 0.17	-0.64 <sup>ab,A</sup> ± 0.48	-1.26 <sup>cd,C</sup> ± 0.10	-1.20 <sup>bc,BC</sup> ± 0.19
		26 – 32	-0.99 <sup>b,AB</sup> ± 0.26	-1.34 <sup>c,C</sup> ± 0.32	-0.89 <sup>bc,A</sup> ± 0.16	-1.15 <sup>bcd,ABC</sup> ± 0.15	-1.10 <sup>bc,ABC</sup> ± 0.17
	CHI 0.5	5 – 10	-0.56 <sup>a,A</sup> ± 0.12	-0.45 <sup>a,A</sup> ± 0.08	-1.20 <sup>c,B</sup> ± 0.21	-1.16 <sup>bcd,B</sup> ± 0.03	-1.38 <sup>c,B</sup> ± 0.14
		26 – 32 <sup>NS</sup>	-0.56 <sup>a</sup> ± 0.12	-0.33 <sup>a</sup> ± 0.09	-0.36 <sup>a</sup> ± 0.09	-0.31 <sup>a</sup> ± 0.04	-0.44 <sup>a</sup> ± 0.04
	CHI 1.0	5 – 10	-0.69 <sup>ab,BC</sup> ± 0.63	-0.28 <sup>a,A</sup> ± 0.09	-0.64 <sup>ab,B</sup> ± 0.05	-1.14 <sup>bcd,D</sup> ± 0.07	-0.98 <sup>b,CD</sup> ± 0.24
		26 – 32	-0.69 <sup>ab,AB</sup> ± 0.63	-0.39 <sup>a,A</sup> ± 0.14	-0.62 <sup>ab,AB</sup> ± 0.09	-0.86 <sup>b,B</sup> ± 0.12	-
	CHI 1.5	5 – 10	-1.69 <sup>c,C</sup> ± 0.08	-1.36 <sup>c,AB</sup> ± 0.09	-2.09 <sup>e,D</sup> ± 0.17	-1.43 <sup>d,ABC</sup> ± 0.06	-1.16 <sup>bc,A</sup> ± 0.14
		26 – 32	-1.69 <sup>c,C</sup> ± 0.08	-1.30 <sup>c,AB</sup> ± 0.18	-1.55 <sup>d,BC</sup> ± 0.10	-1.24 <sup>cd,A</sup> ± 0.18	-

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 20 ซ้ำ

ตัวอักษร (a – d) ที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตัวอักษร (A – D) ที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>NS</sup> แสดงถึงข้อมูลในแต่ละคอลัมน์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์เนื่องจากตัวอย่างเน่าเสีย

**ตารางที่ 4.15** การเปลี่ยนแปลงค่า Springiness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

พารามิเตอร์ข้อมูล ทางด้านเนื้อสัมผัส	ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
			0	3	6	9	12 <sup>ns</sup>
Springiness	ALG 1.5	5 – 10	0.46 <sup>a,A</sup> ± 0.02	0.38 <sup>ab,B</sup> ± 0.06	0.41 <sup>ab,AB</sup> ± 0.03	0.45 <sup>ab,AB</sup> ± 0.05	0.43 <sup>AB</sup> ± 0.07
		26 – 32 <sup>NS</sup>	0.46 <sup>a</sup> ± 0.02	0.43 <sup>a</sup> ± 0.02	0.44 <sup>a</sup> ± 0.01	0.48 <sup>a</sup> ± 0.03	0.44 ± 0.04
	CHI 0.5	5 – 10	0.34 <sup>b,B</sup> ± 0.03	0.35 <sup>b,B</sup> ± 0.04	0.36 <sup>b,AB</sup> ± 0.02	0.38 <sup>b,AB</sup> ± 0.03	0.43 <sup>A</sup> ± 0.02
		26 – 32	0.34 <sup>b,C</sup> ± 0.03	0.44 <sup>a,AB</sup> ± 0.08	0.46 <sup>a,A</sup> ± 0.01	0.39 <sup>b,BC</sup> ± 0.01	0.39 <sup>BC</sup> ± 0.04
	CHI 1.0	5 – 10 <sup>NS</sup>	0.38 <sup>ab</sup> ± 0.05	0.36 <sup>b</sup> ± 0.04	0.37 <sup>b</sup> ± 0.03	0.40 <sup>ab</sup> ± 0.06	0.37 ± 0.04
		26 – 32 <sup>NS</sup>	0.38 <sup>ab</sup> ± 0.05	0.39 <sup>ab</sup> ± 0.03	0.40 <sup>ab</sup> ± 0.02	0.39 <sup>b</sup> ± 0.03	-
	CHI 1.5	5 – 10 <sup>NS</sup>	0.38 <sup>b</sup> ± 0.03	0.38 <sup>ab</sup> ± 0.02	0.42 <sup>ab</sup> ± 0.05	0.38 <sup>b</sup> ± 0.04	0.43 ± 0.05
		26 – 32 <sup>NS</sup>	0.38 <sup>b</sup> ± 0.03	0.38 <sup>ab</sup> ± 0.02	0.41 <sup>ab</sup> ± 0.01	0.39 <sup>b</sup> ± 0.03	-

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 20 ซ้ำ

ตัวอักษร (a – b) ที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตัวอักษร (A – C) ที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> แสดงถึงข้อมูลในแต่ละแถวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

<sup>NS</sup> แสดงถึงข้อมูลในแต่ละคอลัมน์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์เนื่องจากตัวอย่างน่าเสีย

**ตารางที่ 4.16** การเปลี่ยนแปลงค่า Cohesiveness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

พารามิเตอร์ข้อมูล ทางด้านเนื้อสัมผัส	ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
			0	3	6	9	12
Cohesiveness	ALG 1.5	5 – 10	0.59 <sup>a,B</sup> ± 0.02	0.68 <sup>a,A</sup> ± 0.05	0.61 <sup>a,AB</sup> ± 0.07	0.64 <sup>a,B</sup> ± 0.04	0.42 <sup>ab,C</sup> ± 0.03
		26 – 32	0.59 <sup>a,A</sup> ± 0.02	0.63 <sup>ab,A</sup> ± 0.03	0.59 <sup>ab,A</sup> ± 0.06	0.59 <sup>ab,A</sup> ± 0.03	0.48 <sup>a,B</sup> ± 0.04
CHI 0.5	CHI 0.5	5 – 10	0.41 <sup>b,B</sup> ± 0.08	0.55 <sup>b,A</sup> ± 0.01	0.47 <sup>cd,AB</sup> ± 0.02	0.47 <sup>c,AB</sup> ± 0.12	0.30 <sup>cd,C</sup> ± 0.02
		26 – 32	0.41 <sup>b,C</sup> ± 0.08	0.63 <sup>ab,A</sup> ± 0.07	0.53 <sup>bc,B</sup> ± 0.06	0.52 <sup>bc,B</sup> ± 0.05	0.36 <sup>bc,C</sup> ± 0.01
CHI 1.0	CHI 1.0	5 – 10	0.49 <sup>b,A</sup> ± 0.02	0.43 <sup>c,AB</sup> ± 0.06	0.35 <sup>ef,B</sup> ± 0.04	0.36 <sup>d,B</sup> ± 0.02	0.48 <sup>a,A</sup> ± 0.03
		26 – 32	0.49 <sup>b,A</sup> ± 0.02	0.45 <sup>c,AB</sup> ± 0.04	0.39 <sup>de,B</sup> ± 0.04	0.31 <sup>d,C</sup> ± 0.02	-
CHI 1.5	CHI 1.5	5 – 10	0.31 <sup>c,AB</sup> ± 0.01	0.33 <sup>d,AB</sup> ± 0.05	0.36 <sup>ef,A</sup> ± 0.03	0.31 <sup>d,AB</sup> ± 0.01	0.25 <sup>d,B</sup> ± 0.01
		26 – 32 <sup>NS</sup>	0.31 <sup>c</sup> ± 0.01	0.29 <sup>d</sup> ± 0.01	0.30 <sup>f</sup> ± 0.01	0.28 <sup>d</sup> ± 0.01	-

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 20 ซ้ำ

ตัวอักษร (a – f) ที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตัวอักษร (A – C) ที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>NS</sup> แสดงถึงข้อมูลในแต่ละคอลัมน์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์เนื่องจากตัวอย่างเน่าเสีย

**ตารางที่ 4.17** การเปลี่ยนแปลงค่า Gumminess ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

พารามิเตอร์ข้อมูล ทางด้านเนื้อสัมผัส	ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
			0	3	6	9	12
Gumminess	ALG 1.5	5 – 10	83.51 <sup>a,AB</sup> ± 8.48	70.41 <sup>abcde,B</sup> ± 7.14	73.43 <sup>ab,B</sup> ± 5.17	93.48 <sup>ab,A</sup> ± 8.82	71.47 <sup>a,B</sup> ± 6.14
		26 – 32	83.51 <sup>a,B</sup> ± 8.48	79.41 <sup>a,BC</sup> ± 10.53	77.41 <sup>a,BCD</sup> ± 8.63	96.24 <sup>a,A</sup> ± 3.68	64.14 <sup>ab,D</sup> ± 8.67
	CHI 0.5	5 – 10	49.48 <sup>b,C</sup> ± 8.51	65.78 <sup>abcde,A</sup> ± 7.78	50.87 <sup>e,BC</sup> ± 7.75	56.74 <sup>c,ABC</sup> ± 12.94	64.03 <sup>ab,AB</sup> ± 9.42
		26 – 32	49.48 <sup>b,D</sup> ± 8.51	76.06 <sup>abc,A</sup> ± 5.46	67.13 <sup>abcd,ABC</sup> ± 6.65	73.37 <sup>b,AB</sup> ± 7.35	61.02 <sup>ab,BCD</sup> ± 7.45
	CHI 1.0	5 – 10	74.01 <sup>a,A</sup> ± 1.43	59.13 <sup>e,B</sup> ± 9.00	54.05 <sup>de,B</sup> ± 8.99	54.99 <sup>c,B</sup> ± 2.70	55.13 <sup>b,B</sup> ± 9.33
		26 – 32	74.01 <sup>a,A</sup> ± 1.43	78.39 <sup>ab,A</sup> ± 1.49	68.27 <sup>abc,A</sup> ± 5.35	53.90 <sup>c,B</sup> ± 7.11	-
	CHI 1.5	5 – 10	57.40 <sup>b,B</sup> ± 5.75	74.79 <sup>abcd,A</sup> ± 9.66	74.39 <sup>ab,A</sup> ± 6.97	64.72 <sup>bc,AB</sup> ± 5.65	60.76 <sup>ab,AB</sup> ± 3.58
		26 – 32 <sup>NS</sup>	57.40 <sup>b</sup> ± 5.75	63.53 <sup>cde</sup> ± 2.40	68.18 <sup>abcd</sup> ± 4.18	59.08 <sup>c</sup> ± 3.83	-

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 20 ซ้ำ

ตัวอักษร (a – e) ที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตัวอักษร (A – D) ที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>NS</sup> แสดงถึงข้อมูลในแต่ละคอลัมน์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์เนื่องจากตัวอย่างเน่าเสีย

**ตารางที่ 4.18** การเปลี่ยนแปลงค่า Chewiness ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

พารามิเตอร์ข้อมูล ทางด้านเนื้อสัมผัส	ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
			0	3	6	9	12
Chewiness	ALG 1.5	5 – 10	38.39 <sup>a,A</sup> ± 5.58	27.05 <sup>abc,B</sup> ± 6.24	30.04 <sup>abc,B</sup> ± 3.96	42.36 <sup>a,A</sup> ± 8.97	30.57 <sup>a,B</sup> ± 3.86
		26 – 32	38.39 <sup>a,B</sup> ± 5.58	34.04 <sup>a,BC</sup> ± 3.32	34.08 <sup>a,BC</sup> ± 4.08	45.80 <sup>a,A</sup> ± 1.96	27.98 <sup>a,C</sup> ± 5.22
	CHI 0.5	5 – 10	16.95 <sup>c,B</sup> ± 3.21	23.11 <sup>bc,AB</sup> ± 4.63	18.32 <sup>e,B</sup> ± 3.71	21.58 <sup>b,AB</sup> ± 4.57	27.80 <sup>a,A</sup> ± 4.92
		26 – 32	16.95 <sup>c,D</sup> ± 3.21	33.11 <sup>a,A</sup> ± 4.18	31.08 <sup>ab,AB</sup> ± 2.75	28.41 <sup>b,ABC</sup> ± 3.47	23.44 <sup>a,BCD</sup> ± 1.62
	CHI 1.0	5 – 10	28.34 <sup>b,A</sup> ± 3.27	21.38 <sup>c,AB</sup> ± 4.34	20.03 <sup>de,B</sup> ± 3.00	22.24 <sup>b,AB</sup> ± 3.94	26.29 <sup>a,AB</sup> ± 5.47
		26 – 32	28.34 <sup>b,AB</sup> ± 3.27	30.16 <sup>ab,A</sup> ± 2.00	27.18 <sup>abcd,AB</sup> ± 2.29	21.32 <sup>b,B</sup> ± 4.26	-
	CHI 1.5	5 – 10	21.75 <sup>bc,BC</sup> ± 4.17	28.33 <sup>abc,AB</sup> ± 4.42	30.97 <sup>ab,A</sup> ± 2.25	24.64 <sup>b,ABC</sup> ± 2.21	15.15 <sup>b,D</sup> ± 1.58
		26 – 32 <sup>NS</sup>	21.75 <sup>bc</sup> ± 4.17	24.15 <sup>bc</sup> ± 1.89	27.95 <sup>abcd</sup> ± 1.81	22.88 <sup>b</sup> ± 2.82	-

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 20 ซ้ำ

ตัวอักษร (a – e) ที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตัวอักษร (A – D) ที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>NS</sup> แสดงถึงข้อมูลในแต่ละคอลัมน์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ที่ได้ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาส่งผลต่อค่า Adhesiveness ของคาร์เวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ เนื่องจากค่า Adhesiveness ที่วิเคราะห์ได้ค่อนข้างผันแปรและไม่มีแนวโน้มที่แน่นอน โดยอาจเกิดจากความไม่สม่ำเสมอในการสุมตัวอย่าง และ/หรือจำนวนซ้ำในการวิเคราะห์น้อยเกินไป อย่างไรก็ตาม ค่า Adhesiveness ที่ติดลบมากขึ้นระหว่างการเก็บรักษา อาจเป็นผลมาจากการสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้าง ส่งผลให้คาร์เวียร์น้ำมัลเบอร์รี่มีพื้นผิวที่เหนียวเหนอะมากยิ่งขึ้นเช่นเดียวกัน สำหรับผลการวิเคราะห์ค่า Springiness, Cohesiveness, Gumminess และ Chewiness ของคาร์เวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานแสดงดังตารางที่ 4.15 – 4.18 โดยแต่ละพารามิเตอร์ทางด้านเนื้อสัมผัสค่าที่ค่อนข้างผันแปรระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยทั้งความเข้มข้นของโคโคซาน อุณหภูมิการเก็บรักษา และจำนวนวันที่เก็บรักษา ไม่มีแนวโน้มที่แน่นอน โดยอาจเกิดจากความไม่สม่ำเสมอในการสุมตัวอย่าง และ/หรือจำนวนซ้ำในการวิเคราะห์น้อยเกินไป

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและปริมาณเชื้อยีสต์และราทั้งหมดในคาร์เวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 4.19 – 4.20 โดยในวันแรกของการเก็บรักษา คาร์เวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานที่เตรียมได้จากสารละลายโคโคซานทุก ๆ ความเข้มข้นมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและปริมาณเชื้อยีสต์และราทั้งหมดน้อยกว่า 1 Colony forming unit (CFU)/มิลลิลิตร ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่า ขั้นตอนของการเตรียมคาร์เวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโคซานก่อนจะนำมาเก็บรักษา ค่อนข้างปราศจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ และรา โดยในส่วนของปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (ตารางที่ 4.19) พบว่า ปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่วิเคราะห์ได้มีแนวโน้มที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายโคโคซาน อุณหภูมิและจำนวนวันในการเก็บรักษา โดยสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่า การเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแช่เย็น (ประมาณ 4 – 10 องศาเซลเซียส) มีการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียน้อยกว่าการเก็บภายใต้อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 26 – 32 องศาเซลเซียส) อย่างเห็นได้ชัด เมื่อพิจารณาการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิเดียวกัน พบว่า ทั้ง CHI 0.5, CHI 1.0 และ CHI 1.5 ต่างสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของจำนวนแบคทีเรียระหว่างการเก็บรักษาได้ดีกว่า ALG 1.5 ทั้งภายใต้อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง โดยภายใต้อุณหภูมิแช่เย็นพบว่า ตัวอย่างคาร์เวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่มีสารละลายโคโคซานเป็นองค์ประกอบ (ทุก ๆ ความเข้มข้น) ยังคงมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดต่ำกว่า 1 CFU/มิลลิลิตร ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (12 วัน) ในขณะที่ ALG 1.5 พบปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด 3.33 CFU/มิลลิลิตร ตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บรักษา สำหรับการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิห้องพบว่า ตัวอย่างคาร์เวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่มีสารละลายโคโคซานเป็นองค์ประกอบ (ทุก ๆ ความเข้มข้น) ยังคงมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดต่ำกว่า ALG 1.5 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (12 วัน) เช่นกัน ที่น่าสนใจคือ CHI 1.0 สามารถชะลอการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียได้ถึงวันที่ 6 ของการเก็บรักษา และในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ยังคงพบจำนวนแบคทีเรียที่วิเคราะห์ได้ค่อนข้างต่ำ สำหรับในส่วนของ การเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อยีสต์และราทั้งหมดของคาร์เวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ในระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.20) พบว่า ปริมาณเชื้อยีสต์และราทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มีแนวโน้มแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความ

เข้มข้นของสารละลายโคโตซาน อุณหภูมิและจำนวนวันที่ใช้ในการเก็บรักษา โดยสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการเก็บรักษาภายใต้ อุณหภูมิแช่เย็น มีแนวโน้มการเพิ่มจำนวนขึ้นของเชื้อยีสต์และราทั้งหมดน้อยกว่าการเก็บภายใต้อุณหภูมิห้อง เมื่อพิจารณาที่การเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิเดียวกันพบว่า ทั้ง CHI 0.5, CHI 1.0 และ CHI 1.5 ต่างสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของจำนวนเชื้อยีสต์และราทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษาได้ดีกว่า ALG 1.5 ทั้งภายใต้อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง CHI 1.0 ซึ่งสามารถชะลอการเพิ่มจำนวนของเชื้อยีสต์และราทั้งหมดได้ดีกว่าตัวอย่างอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้ โคโตซานที่มีอยู่ในคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาได้ โดยเกี่ยวข้องกับหมู่แอมโมเนียมไอออนที่มีประจุบวกของโมเลกุลโคโตซาน ซึ่งสามารถยึดเกาะกับประจุลบบนเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียได้ ส่งผลให้ความสามารถในการยอมให้สารผ่าน (Permeability) เพิ่มขึ้น และก่อให้เกิดการรั่วของสารสำคัญต่าง ๆ ที่อยู่ภายในเซลล์แบคทีเรียเอง (Intracellular leakage) รวมทั้งก่อให้เกิดการสูญเสียหน้าที่ในการขนส่งสารอาหารไป (Liu, Du, Wang, & Sun, 2004) ซึ่งฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรียของโคโตซานได้รับการรายงานจากหลายงานวิจัย (Zhang & Zhu, 2003; Liu et al., 2006; Laokuldilok et al., 2017) ในทำนองเดียวกันนี้ กลไกในการยับยั้งเชื้อราคล้ายคลึงกับในแบคทีเรีย โดยในส่วนของฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อราได้รับการรายงานจากหลายงานวิจัยเช่นกัน (Peña, Sánchez, & Calahorra, 2013; Jaimun, Sangsuwan, Intipunya, & Chantrasri, 2018) ด้วยเหตุนี้ คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานจึงสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า

**ตารางที่ 4.19** การเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		0	3	6	9	12
ALG 1.5	4 – 10	< 1	3.33	3.33	13.33	1833.33
	26 – 32	< 1	116.67	1100	> 2000	> 2000
CHI 0.5	4 – 10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
	26 – 32	< 1	< 1	10	866.67	> 2000
CHI 1.0	4 – 10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
	26 – 32	< 1	< 1	< 1	10	16.67
CHI 1.5	4 – 10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
	26 – 32	< 1	< 1	6.67	980	> 2000

ข้อมูลในตารางแสดงปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในหน่วย CFU/มิลลิลิตร

**ตารางที่ 4.20** การเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อยีสต์และราทั้งหมดในคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		0	3	6	9	12
ALG 1.5	4 – 10	< 1	560	636.67	703.33	2333.33
	26 – 32	< 1	> 2000	> 2000	> 2000	> 2000
CHI 0.5	4 – 10	< 1	6.67	33.33	73.33	806.67
	26 – 32	< 1	3.33	16.67	230	> 2000
CHI 1.0	4 – 10	< 1	< 1	6.67	20.00	70.00
	26 – 32	< 1	< 1	16.67	53.33	63.33
CHI 1.5	4 – 10	< 1	< 1	6.67	46.67	86.67
	26 – 32	< 1	6.67	10.00	946.67	> 2000

ข้อมูลในตารางแสดงปริมาณเชื้อยีสต์และราทั้งหมดในหน่วย CFU/มิลลิลิตร

#### คุณภาพทางประสาทสัมผัสของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่ผ่านการตรวจทางจุลินทรีย์

จากผลการศึกษาก่อนหน้า พบว่า คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานทั้ง 3 สูตร คือ CHI 0.5, CHI 1.0 และ CHI 1.5 ผ่านการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ โดยมีการเจริญของจุลินทรีย์ค่อนข้างต่ำในทั้ง 3 สูตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของโคโตซานในการควบคุมคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานไว้ได้ ดังนั้น จึงคัดเลือกทั้ง 3 สูตร มาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน ซึ่งผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 4.21 ทั้งนี้ คณะกรรมการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเต็ม 10 คะแนน คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้คะแนนในด้านลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 7.00 – 8.40 คะแนน โดย CHI 1.0 และ CHI 1.5 ได้คะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่สูงกว่า CHI 0.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในด้านสี พบว่า คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานได้คะแนนอยู่ในช่วง 5.95 – 7.65 โดย CHI 1.0 และ CHI 1.5 ได้คะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่สูงกว่า CHI 0.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) สำหรับด้านกลิ่น รสหวาน และรสเปรี้ยว พบว่า ทั้ง 3 สูตร ได้รับคะแนนไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยได้คะแนนความชอบอยู่ในช่วง 5.70 – 5.90, 5.25 – 5.45 และ 5.60 – 6.20 ตามลำดับ สำหรับในด้านเนื้อสัมผัส พบว่า คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานได้คะแนนอยู่ในช่วง 6.40 – 8.15 โดย CHI 1.0 และ CHI 1.5 ได้คะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่สูงกว่า CHI 0.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และด้านความชอบ

โดยรวม พบว่า CHI 1.0 และ CHI 1.5 ได้รับคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่ได้คะแนนสูงกว่า CHI 0.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้ จากผลการศึกษาที่ได้พบว่า CHI 1.0 และ CHI 1.5 ได้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี และด้านเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากลักษณะพื้นผิวคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่ค่อนข้างเต่งและกลม มีการสูญเสียน้ำได้ยาก จึงดูสวยกว่า CHI 0.5 ที่คล้ำกว่า เนื่องจากน้ำบางส่วนถูกปลดปล่อยออกไปและส่งผลให้มีลักษณะลีบเล็กกว่า พื้นผิวสัมผัสที่เต่งยังส่งผลให้ได้รับคะแนนความชอบในด้านเนื้อสัมผัสสูงด้วยกัน นอกจากนี้ ถึงแม้ว่า CHI 0.5 และ CHI 1.0 มีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาจากคะแนนความชอบด้านอื่น ๆ พบว่า CHI 1.0 ได้ รับคะแนนความชอบสูงกว่า CHI 0.5 ในหลาย ๆ ด้าน ทั้งด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี และด้านเนื้อสัมผัส รวมไปถึงประสิทธิภาพในการคงคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ จึงถือได้ว่า เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด

**ตารางที่ 4.21** คุณภาพทางประสาทสัมผัสของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	CHI 0.5	CHI 1.0	CHI 1.5
ลักษณะปรากฏ	7.00 <sup>b</sup> ± 0.73	8.00 <sup>a</sup> ± 0.56	8.40 <sup>a</sup> ± 0.75
สี	5.95 <sup>b</sup> ± 1.05	7.35 <sup>a</sup> ± 0.75	7.65 <sup>a</sup> ± 0.75
กลิ่น <sup>NS</sup>	5.90 ± 0.72	5.85 ± 0.59	5.70 ± 0.66
รสหวาน <sup>NS</sup>	5.30 <sup>ab</sup> ± 0.98	5.25 <sup>b</sup> ± 0.79	5.45 <sup>a</sup> ± 0.89
รสเปรี้ยว <sup>NS</sup>	6.20 ± 0.95	5.60 ± 0.94	6.00 ± 1.03
เนื้อสัมผัส	6.40 <sup>b</sup> ± 0.50	8.15 <sup>a</sup> ± 0.88	8.15 <sup>a</sup> ± 0.59
ความชอบโดยรวม	6.60 <sup>b</sup> ± 0.50	6.95 <sup>ab</sup> ± 0.69	7.25 <sup>a</sup> ± 0.64

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 50 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>NS</sup> แสดงถึงข้อมูลในแต่ละคอลัมน์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

#### ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน

จากผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า CHI 1.0 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด จึงได้คัดเลือกมาใช้ในการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซาน ทำการเสิร์ฟคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานร่วมกับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ และทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยแบบประเมิน 9-Point hedonic scale (ภาคผนวก ค) กับผู้ทดสอบชิมจำนวน 200 คน ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วง 20 – 35 ปี ทั้งนี้ ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4.22 โดยพบว่า ผู้ทดสอบชิมส่วนใหญ่ให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏอยู่ในเกณฑ์ชอบมาก

สำหรับความชอบในด้านสีเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ได้รับคะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง ซึ่งผู้ทดสอบชิมหลายคนได้ให้ความเห็นว่า ผลไม้คาวีร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานนี้มีความแปลกใหม่ และให้ความรู้สึกสนุกในการรับประทาน ในขณะที่ คะแนนความชอบด้านกลิ่น รสหวาน และรสเปรี้ยว ได้รับคะแนนความชอบอยู่ในเกณฑ์เฉย ๆ และชอบเล็กน้อย ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากการที่น้ำมัลเบอร์รี่ไม่ใช่ไม้ผลไม้มที่มีความโดดเด่นด้านกลิ่น รสหวาน และรสเปรี้ยว ที่สำคัญ คือ คุณภาพทางประสาทสัมผัสทั้ง 3 ด้าน อาจถูกกลบด้วยกลิ่นและรสชาติของแอลกอฮอล์ ส่งผลให้คะแนนที่ได้รับอยู่ในเกณฑ์ไม่สูง

**ตารางที่ 4.22** คุณภาพทางประสาทสัมผัสของคาวีร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่เสิร์ฟพร้อมกับผลไม้เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	ค่า
ลักษณะปรากฏ	8.00 ± 0.79
สี	7.55 ± 0.69
กลิ่น	6.45 ± 0.69
รสหวาน	5.55 ± 0.76
รสเปรี้ยว	6.55 ± 0.60
เนื้อสัมผัส	7.20 ± 0.77
ความชอบโดยรวม	7.00 ± 0.65

ข้อมูลในตารางแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลอง 200 ซ้ำ

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนตส่งผลต่อปริมาณผลผลิตและสมบัติด้านต่าง ๆ ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่ได้ การใช้สารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้น ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ให้คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่มีคุณภาพดีและได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด

ความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานส่งผลต่อปริมาณผลผลิตและสมบัติในด้านต่าง ๆ ของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่ได้ โดยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และค่ากิจกรรมกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอชของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ ผสมโคโตซานลดลงระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ CHI 1.0 ยังเป็นคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่มีคุณภาพดี และมีการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียทั้งหมดและเชื้อยีสต์และราทั้งหมดต่ำสุด รวมทั้งได้รับคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูง

เมื่อเสิร์ฟผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานพร้อมกับเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ได้รับคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏอยู่ในเกณฑ์ชอบมาก ส่วนในด้านสี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมได้รับคะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง ในขณะที่คะแนนความชอบในด้านกลิ่น รสหวาน และรสเปรี้ยวได้รับคะแนนความชอบอยู่ในเกณฑ์เฉย ๆ และชอบเล็กน้อย

#### ข้อเสนอแนะ

1. การสกัดสารประกอบฟีนอลิกและแอนโทไซยานินนอกจากคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ค่อนข้างยาก เนื่องจากปริมาณสารดังกล่าวส่วนใหญ่ถูกตรึงไว้ภายในโครงสร้างคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ที่แข็งแรงและทนต่อการเสียดสภาพในเชิงโครงสร้างจากผลกระทบของความร้อนและกรด ซึ่งทำให้สารดังกล่าวถูกปลดปล่อยออกมาได้น้อยกว่าความเป็นจริง แม้จะทำลายโครงสร้างของคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่แล้วก็ตาม
2. การปลดปล่อยปริมาณสารสำคัญต่าง ๆ ในแบบจำลองอาหาร หรือแบบจำลองการย่อยในระบบทางเดินอาหารควรได้รับการศึกษาต่อไป

## บรรณานุกรม

### บรรณานุกรมภาษาไทย

นิธิยา รัตนปนนท์. (2545). *เคมีอาหาร*. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ

### บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

- AACC. (1977). *Analytical Cereal Method*. American Associated of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- Aguilera, J. M. (2012). The Engineering inside our Dishes. *International Journal and Food Science*, 1 (1), 31 – 36.
- AOAC (2000). *Official methods of the association of official analytical chemists*. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- Aquino, A. B., Blank, A. F., & Santana, L. C. L. A. (2015). Impact of edible chitosan-cassava starch coatings enriched with *Lippia gracilis* Schauer genotype mixtures on the shelf life of guavas (*psidium guajava* L.) during storage at room temperature. *Food Chemistry*, 171, 108 – 116.
- Aramwit, P., Bang, N., & Srichana, T. (2010). The properties and stability of anthocyanins in mulberry fruits. *Food Research International*, 43, 1093 – 1097.
- Azarakhsh, N., Ghazali, H. M., Tan, C. P., & Adzahan, N. M. (2014). Lemongrass essential incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology and Technology*, 88, 1 – 7.
- Baldwin, D. E. (2012). Sous Bide Cooking: A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 1, 15 – 30.
- Caccavo, D., Strom, A., Larsson, A., & Lamberti, G. (2016). Modeling capillary formation in calcium and copper alginate gels. *Materials Science and Engineering: C*, 58, 442 – 449.

- Cavalcanti, R. N., Santos, D. T., & Meireles, M. A. A. (2011). Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems-An overview. *Food Research International*, *44*, 499 – 509.
- Chan, E. S., Lim, T. K., Voo, W. P., Pogaku, R., Tey, B. T., & Zhang, Z. (2011). Effect of formulation of alginate beads on their mechanical behavior and stiffness. *Particuology*, *9*, 228 – 234.
- Chien, P. J., Sheu, F., & Yang, F. H. (2007). Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal of Food Engineering*, *78*, 225 – 229.
- Chien, P. J., Sheu, F., & Li, H. R. (2007). Quality assessment of low molecular weight chitosan coating on sliced red pitayas. *Journal of Food Engineering*, *79* (2), 736 – 640.
- Comaposada, J., Gou, P., Marcos, B., & Arau, J. (2015). Physical properties of sodium alginate solutions and edible wet calcium alginate coatings. *LWT – Food Science and Technology*, *64* (1), 212 – 219.
- Del Gaudio, P., Colombo, P., Colombo, G., Russo, P., & Sonvico, F. (2005). Mechanisms of formation and disintegration of alginate beads obtained by prilling. *International Journal of Pharmaceutics*, *302*, 1 – 9.
- Dong, H., Cheng, L., Tan, J., Zheng, K., & Jiang, Y. (2004). Effects of chitosan coating on quality and shelf life of peeled litchi fruit. *Journal of Food Engineering*, *64*, 355 – 358.
- Donno, D., Cerutti, A. K., Prgomet, I., Mellano, M. G., & Beccaro, G. L. (2015). Foodomics for Mulberry Fruit (*Morus* spp.): Analytical Fingerprint as Antioxidants and Health Properties Determination Tool. *Food Research International*, *69*, 179 – 188.
- Duthie, G. G., Duthie, S. J., & Kyle A. M. (2000). Plant polyphenols in cancer and heart disease: implications as nutritional antioxidants. *Nutrition Research Reviews*, *19*, 79 – 109.
- Farajzadeh, F., Motamedzadegan, A., Shahidi, S., & Hamzeh, S. (2016). The effects of chitosan-gelatin coating on the quality of shrimp (*Litopenasu vannamei*) under refrigerated condition. *Food Control*, *67*, 163 – 170.

- Ercisli, S., & Orhan, E. (2007). Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and Black (*Morus nigra*) mulberry fruits. *Food Chemistry*, *103*, 1380 – 1384.
- Ersus, S., & Yurdagel, U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. *Journal of Food Engineering*, *80*, 805 – 812.
- Fernández-Arroyo, S., Gómez-Martínez, A., Rocamora-Reverte, L., Quirantes-Piné, R., Segura-Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A., & Ferragut, J. A. (2012). Application of nanoLC-ESI-TOF-MS for the metabolomic analysis of phenolic compounds from extra-virgin olive oil in treated colon-cancer cells. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, *63* (7), 128 – 134.
- Fernades, I., Marques, F., de Freitas, V., & Mateus, N. (2013). Antioxidant and antiproliferative properties of methylated metabolites of anthocyanins. *Food Chemistry*, *141* (3), 2923 – 2933.
- Galani, J. H. Y., Mankad, P. M., Shah, A. K., Patel, N. J., Acharya, R. R., & Talati, J. G. (2017). Effect of storage temperature on vitamin C, total phenolics, UPLC phenolic acid profile and antioxidant capacity of eleven potato (*Solanum tuberosum*) varieties. *Horticultural Plant Journal*, *3* (2), 73 – 89.
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In Wrolstad, R. E. et al. (Eds), *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* (pp. F1.2.1 – F1.2.13). John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Goldfarb, W. (2014). It's all Greek to me: Towards a broader view of food science and “creativity” in gastronomy. *Food Science*, *2* (1), 46 – 50.
- Grasdalen, H., Larsen, B., & Smidsrød, O. (1979). A p.m.r. study of the composition and sequence of uronate residues in alginates. *Carbohydrate Research*, *68* (1), 23 – 31.
- Guerreiro, A. C., Gago, C. M. L., Faleiro, M. L., Miguel, G. C. & Antunes, M. D. C. (2015). Raspberry fresh fruit quality as affected by pectin- and alginate-base edible coatings enriched with essential oils. *Scientia Horticulturae*, *194*, 138 – 146.

- Gültekin-Özğüven, M., Davarcı, F., Paslı, A. A., Demir, N., & Özçelik, B. (2015). Determination of phenolic compounds by ultra-high liquid chromatography-tandem mass spectrometry: Applications in nuts. *LWT - Food Science and Technology*, *64* (1), 42 – 49.
- Heckel, T., Konieczna, D. D., & Wilhelm, R. (2013). An ionic liquid solution of chitosan as organocatalyst. *Catalysts*, *3* (4), 914 – 921.
- Iglesias, I., Echeverría, G., & Soria, Y. (2008). Differences in fruit colour development, anthocyanin content, fruit quality and consumer acceptability of eight ‘Gala’ apple strains. *Scientia Horticulturae*, *119*, 32 – 40.
- Jaimun, R., Sangsuwan, J., Intipunya, P., & Chantrasri, P. (2018). Active wrapping paper against mango anthracnose fungi and its releasing profiles. *Packaging Technology and Science*, *31*, 421 – 431.
- Jie, L., Xiao-ding, L., Yun, Z., Zheng-dong, Z., Zhi-ya, Q., Meng, L., Shao-hua, Z., Shuo, L., Meng, W., & Lu, Q. (2013). Identification and thermal stability of purple-fleshed sweet potato anthocyanins in aqueous solutions with various pH values and fruit juices. *Food Chemistry*, *136*, 1429 – 1434.
- Kirca, A., Özkan, M., & Cemeroğlu, B. (2007). Effects of temperature, solid content and pH on the stability of black carrot anthocyanins. *Food Chemistry*, *101* (1), 212 – 218.
- Lane, C. (2013). Taste makers in the “Fine-dining” restaurant industry: The attribution of aesthetic and economic value by gastronomic guides. *Poetics*, *41*, 342 – 365.
- Laokuldilok, T., & Kanha, N. (2015). Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (*Oryza sativa* L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. *LWT - Food Science and Technology*, *64*, 405 – 411.
- Laokuldilok, T., Potivas, T., Kanha, N., Surawang, S., Seesuriyachan, P., Wangtueai, S., Phimolsiripol, Y., & Regenstein, J. M. (2017). Physicochemical, antioxidant, and antimicrobial properties of chitooligosaccharides produced using three different enzyme treatments. *Food Bioscience*, *18*, 28 – 33.

- Lee, H. Y., Chan, L. W., Dolzhenko, A. V., & Heng, P. W. S. (2006). Influence of viscosity and uronic acid composition of alginates on the properties of alginate films and microspheres produced by emulsification. *Journal of Microencapsulation*, 23 (8), 912 – 927.
- Lee, P., & Rogers, M. A. (2012). Effect of calcium source and exposure-time on basic caviar spherification using sodium alginate. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 1, 96 – 100.
- Lee, Y., & Kwang, K. T. (2017). Changes in physicochemical properties of mulberry fruits (*Morus alba* L.) during ripening. *Scientia Horticulturae*, 217, 189 – 196.
- Lightner, M., & Rand, S. (2014). The enhancement of natural colors to provoke seasonality. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2, 55 – 59.
- Lin, C. Y., & Lay, H. L. (2013). Characteristics of fruit growth, component analysis and antioxidant activity of mulberry (*Morus* spp.). *Scientia Horticulturae*, 162, 285 – 292.
- Lin, Y. B., Fugetsu, B., Terui, N., & Tanaka, S. (2005). Removal of organic compounds by alginate gel beads with entrapped activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 120 (1–3), 237–241.
- Liu, N., Chen, X. G., Park, H. J., Liu, C. G., Liu, C. S., Meng, X. H., & Yu, L. J. (2006). Effect of MW and concentration of chitosan on antibacterial activity of *Escherichia coli*. *Carbohydrate Polymers*, 64, 60 – 65
- Liu, H., Du, Y., Wang, X., & Sun, L. (2004). Chitosan kills bacteria through cell membrane damage. *International Journal of Food Microbiology*, 95 (2), 147 – 155.
- Liu, X., Xiao, G., Chen, W., Xu, Y., & Wu, J. (2004). Quantification and purification of mulberry anthocyanins with macroporous resins. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 5, 326 – 331.
- Moldovan, B., Popa, A., & David, L. (2016). Effects of storage temperature on the total phenolic content of Cornelian Cherry (*Cornus mas* L.) fruits extracts. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89, 208 – 211.

- Morch, Y. A., Donati, I., Strand, B. L., & Skjak-Braek, G. (2006). Effect of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ , and  $\text{Sr}^{2+}$  on alginate microbeads. *Biomacromolecules*, 7, 1471 – 1480.
- Moreno, D. A., Pérez-Balibrea, S., Ferreres, F., Gil-Izquierdo, Á., & Garca-Viguera, C. (2010). Acylated anthocyanins in broccoli sprouts. *Food Chemistry*, 123, 358 – 363.
- Natic, M. M., Dabic, D. C., Papetti, A., Aksic, M. M. F., Ognjanov, V., Ljubojevic, M., & Tesic, Z. L. (2015). Analysis and characterisation of phytochemicals in mulberry (*Morus alba* L.) fruits grown in Vojvodina, North Serbia. *Food Chemistry*, 171, 128 – 136.
- Nguyen, C. L., & Nguyen, H. V. H. (2018). The quality of mulberry juice as affected by enzyme treatments. *Beverages*, 4, 41. Doi:10.3390/beverages4020041.
- Oren-Shamir, M. (2009). Does anthocyanin degradation play a significant role in determining pigment concentration in plants?. *Plant Science*, 177, 310 – 316.
- Pasparakis, G., & Bouropoulos, N. (2006). Swelling studies and in vitro release of verapamil from calcium alginate and calcium alginate–chitosan beads. *International Journal of Pharmaceutics*, 323 (1–2), 34 – 42.
- Peña, A., Sánchez, N. S., & Calahorra, M. (2013). Effects of chitosan on *Candida albicans*: Conditions for its antifungal activity. *BioMed Research International*, ID 527549, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/527549>.
- Phillips, G. O., & Williams, P. A. (2000). Handbook of hydrocolloids. CRC press, New York.
- Rescignano, N., Fortuati, E., Armentano, I., Hernandez, R., Mijangos, C., Pasquino, R., & Kenny, J. M. (2015). Use of alginate, chitosan and cellulose nanocrystals as emulsion stabilizers in the synthesis of biodegradable polymeric nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 445, 31 – 39.
- Rognsa, G. H., Rathe, M., Paulsen, M. T., Petersen, M. A., Brüggemann, D. A., Sivertsvik, M., & Risbo, J. (2014). Preparation method influence gastronomical outcome of holladaise sauce. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2, 32 – 45.
- Sánchez-Salcedo, E. M., Mena, P., Garcia-Viguera, C., Martinez, J. J., & Hernández, F. (2015). Phytochemical evaluation of white (*Morus alba* L.) and black (*Morus*

- nigra* L.) mulberry fruits, a starting point for the assessment of their beneficial properties. *Journal of Functional Foods*, 12, 399 – 408.
- Sánchez-Salcedo, E. M., Mena, P., Garcia-Viguera, C., Hernández, F., & Martínez, J. J. (2015). (Poly)Phenolic compounds and antioxidant activity of white (*Morus alba*) and black (*Mora nigra*) mulberry leaves: Their potential for new products rich in phytochemicals. *Journal of Functional Foods*, 18 (B), 1039 – 1046.
- Sangsuwan, J., Rattanapanone, N., & Rachtanapun, P. (2008). Effect of chitosan/methyl cellulose film on microbial and quality characteristics of fresh-cut cantaloupe and pineapple. *Postharvest Biology and Technology*, 49, 403 – 410.
- Serea, C., Barna, O., Manley, M., & Kidd, M. (2014). Effect of storage temperature on the ascorbic acid content, total phenolic content and antioxidant activity in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 24 (4), 1173 – 1177.
- Shanidi, F., Arachchi, J. K. V., & Jeon, Y. (1999). Food applications of chitin and chitosans. *Trends in Food Science & Technology*, 10 (2), 37 – 51.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144 – 158.
- Song, Y., Liu, L., Shen, H., You, J., & Luo, Y. (2011). Effect of sodium alginate-based edible coating containing different anti-oxidants on quality and shelf life of refrigerate bream (*Megalobrama amblycephala*). *Food Control*, 22 (3-4), 608 – 615.
- Taamalli, A., Arráez-Román, D., Barrajón-Catalán, E., Ruiz-Torres, V., Pérez-Sánchez, A., Herrero, M., Ibañez, E., Micol, V., Zarrouk, M., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2012). Use of advanced techniques for the extraction of phenolic compounds from Tunisian olive leaves: Phenolic composition and cytotoxicity against human breast cancer cells. *Food and Chemical Toxicology*, 50 (6), 1817 – 1825.

- Tchabo, W., Ma, Y., Engmann, F.N., & Zhang, H. (2015). Ultrasound-assisted enzymatic extraction (UAEE) of phytochemical compounds from mulberry (*Morus nigra*) must and optimization study using response surface methodology. *Industrial Crops and Products*, *63*, 214 – 225.
- Thrimawithana, R., Young, S., Dunstan, D. E., & Alany, R. G. (2010). Texture and rheological characterization of kappa and iota carrageenan in the presence of counter ions. *Carbohydrate Polymers*, *82*, 69 – 77.
- Tomas, M., Toydemir, G., Boyacioglu, D., Hall, R., Beekwilder, J., & Capanoglu, E. (2015). The effects of juice processing on black mulberry antioxidants. *Food Chemistry*, *186*, 277 – 284.
- Usenik, V., Štampar, F., & Veberič, R. (2009). Anthocyanins and fruit colour in plums (*Prunus domestica* L.) during ripening. *Food Chemistry*, *114*, 529 – 534.
- Vega, C., & Ubbink, J. (2008). Molecular gastronomy: a foo fad of science supporting innovative cuisine?. *Trends in Food Science & Technology*, *19*, 372 – 382.
- Vieira, J. M., Fores-Lopez, M. L., Rodriguez, D. J., Sousa, M. C., Vicente, A. A., & Martins, J. T. (2016). Effects of chitosan-Aloe vera coating on postharvest quality of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *116*, 88 – 97.
- Vuong, Q. V., Hirun, S., Phillips, P. A., Chuen T. L. K., Bowyer, M. C., Goldsmith, C. D., & Scarlett, C. J. (2014). Fruit-derived phenolic compounds and pancreatic cancer: Perspectives from Australian native fruits. *Journal of Ethnopharmacology*, *152* (2), 277 – 242.
- Xie, W., Xu, P., & Liu, Q. (2001). Antioxidant activity of water-soluble chitosan derivatives. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, *11*, 1699 – 1701.
- Xu, B. J., & Chang, S. K. G. (2007). Total phenolic content and antioxidant properties of eclipse black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by processing methods. *Journal of Food Science*, *73* (2), H19 – H27.
- Zheng, L. Y., & Zhu, J. F. (2003). Study on antimicrobial activity of chitosan with different molecular weights. *Carbohydrate Polymers*, *54*, 527 – 530.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

## การเตรียมสารเคมี

### สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ร้อยละ 7 (น้ำหนัก/ปริมาตร)

ชั่งโซเดียมคาร์บอเนต ปริมาณ 70 กรัม และผสมลงในน้ำกลั่น ปริมาตร 900 มิลลิลิตร ต่อจากนั้น ถ่ายใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

### สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์บัฟเฟอร์ พีเอช 1.0

ชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ ปริมาณ 1.86 กรัม และผสมลงในน้ำกลั่น ปริมาตร 980 มิลลิลิตร จากนั้น วัดค่าพีเอชและปรับให้เป็น 1.0 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ก่อนถ่ายใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

### สารละลายโซเดียมอะซิเตรตบัฟเฟอร์ พีเอช 4.5

ชั่งโซเดียมอะซิเตต ( $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) ปริมาณ 54.43 กรัม และผสมลงในน้ำกลั่น ปริมาตร 960 มิลลิลิตร ต่อจากนั้น วัดค่าพีเอชและปรับให้เป็น 4.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ก่อนถ่ายใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

### สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 1.0 (น้ำหนัก/ปริมาตร)

ชั่งแคลเซียมคลอไรด์ ปริมาณ 10 กรัม และผสมลงในน้ำกลั่น ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ต่อจากนั้น กวนให้ละลายด้วยเครื่องกวนแบบใช้แม่เหล็ก (magnetic stirrer) จนกระทั่งแคลเซียมคลอไรด์ละลายทั้งหมด

## วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

### การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้น (moisture content) วิเคราะห์ตามวิธีการของ AOAC (2000) เริ่มจากชั่งตัวอย่างปริมาณ 2 กรัม ( $W_1$ ) และใส่ในภาควิเคราะห์ความชื้น ต่อจากนั้น อบแห้งตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (UN110, Memmert GmbH + Co.KG, Schwabach, Germany) หลังการอบแห้ง ให้บันทึกน้ำหนักตัวอย่างแห้งเป็น  $W_2$  โดยสามารถคำนวณปริมาณความชื้นได้ตามสมการที่ (ก-1)

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = ((W_1 - W_2)/W_1) \times 100 \quad (\text{ก-1})$$

### การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด

เริ่มจากชั่งตัวอย่างปริมาณ 2 กรัม ( $W_1$ ) และใส่ในภาควิเคราะห์ความชื้น ต่อจากนั้น อบแห้งตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (UN110, Memmert GmbH + Co.KG, Schwabach, Germany) หลังการอบแห้ง ให้บันทึกน้ำหนักตัวอย่างแห้งเป็น  $W_2$  โดยสามารถคำนวณปริมาณความชื้นได้ตามสมการที่ (ก-2)

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)} = (W_2/W_1) \times 100 \quad (\text{ก-2})$$

### การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด้วยวิธีการไตเตรต

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด้วยวิธีไตเตรต ดำเนินการด้วยการไตเตรตตัวอย่าง (ตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ถูกเจือจางด้วยน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) เป็นอินดิเคเตอร์ ทั้งนี้ ค่าความเป็นกรดที่ได้จากการไตเตรตในหน่วยร้อยละสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ก-3)

$$\text{ความเป็นกรดที่ได้จากการไตเตรต (ร้อยละ)} = \left( \frac{N \times V_1 \times \text{Eq. wt.}}{V_2 \times 1000} \right) \times 100 \quad (\text{ก-3})$$

โดยที่  $N$  คือ ความเข้มข้นในหน่วยนอร์มอลของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

$V_1$  คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง

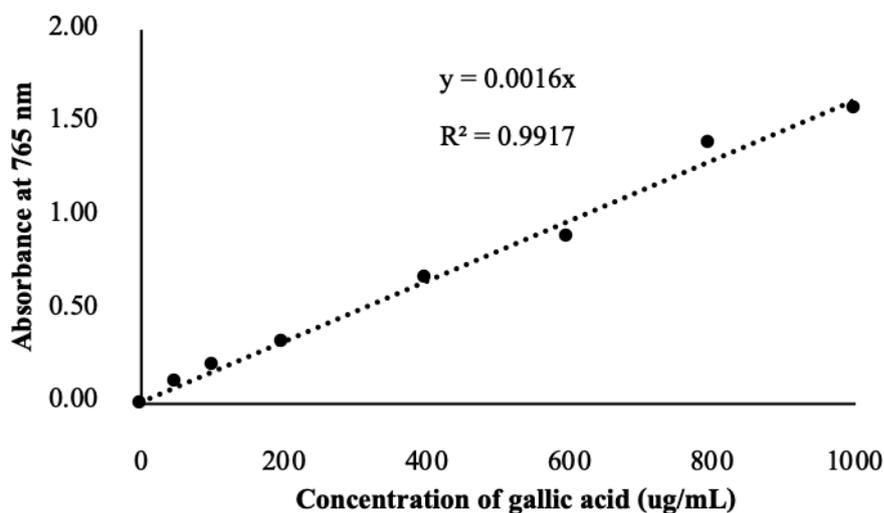
Et. Wt. คือ น้ำหนักสมมูล (equivalent weight) ของกรดซิตริก (citric acid mon-ohydrate) ซึ่งเท่ากับ (210.138 กรัม/โมล)/3 หรือ 70.046 กรัม/โมล

$V_2$  คือ ปริมาตรของตัวอย่าง

### การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสามารถวิเคราะห์ได้ โดยใช้สารละลาย Folin-Ciocalteu (Singleton & Rossi 1965) ตามวิธีการที่มีการดัดแปลงเล็กน้อยจากที่อธิบายโดย Xu และ Chang (2007) และใช้กรดแกลลิกเป็นสารประกอบฟีนอลิมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ ทั้งนี้ ผสมสารละลาย 4 ชนิด ได้แก่ ตัวอย่าง (50 ไมโครลิตร) น้ำกลั่น (3000 ไมโครลิตร) สารละลาย Folin-Ciocalteu (250 ไมโครลิตร) และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (750 ไมโครลิตร) ในหลอดทดลอง และบ่มที่อุณหภูมิห้อง ( $30 \pm 2$  องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 10 นาที หลังจากนั้น เติมน้ำกลั่นอีก 950 ไมโครลิตร และบ่มต่อที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนด ส่วนผสมจะถูกวัดค่าการดูดกลืน

แสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จะถูกปรับเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกในช่วง 50 – 1000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นที่ 0.992 ( $R^2 = 0.992$ ) (ภาพที่ ก-1) และรายงานในหน่วย มิลลิกรัม สมมูลกรดแกลลิก/ลิตร



ภาพที่ ก-1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

#### การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดด้วยวิธีพีเอชดีฟเฟอเรนเชียล

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดดำเนินการตามวิธีของ Giusti และ Wrolstad (2001) และรายงานเป็นปริมาณของแอนโทไซยานินชนิดไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidin-3-glucoside) ทั้งนี้ ตัวอย่างจะถูกนำมาประเมินหาค่าระดับการเจือจาง (dilution factor, DF) ด้วยการผสมตัวอย่างเข้ากับสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์บัฟเฟอร์ พีเอช 1.0 ให้มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด (maximum absorption wavelength,  $A_{vis-max}$ ) ต่ำกว่า 1.5 โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) อาทิ เจือจางตัวอย่าง 0.2 มิลลิลิตร ด้วยบัฟเฟอร์ พีเอช 1.0 ปริมาตร 3.8 มิลลิลิตร กรณีนี้ค่า DF เท่ากับ 20 เป็นต้น ต่อจากนั้น เจือจางตัวอย่างตามค่า DF ที่เหมาะสม โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอชแตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมคลอไรด์บัฟเฟอร์ พีเอช 1.0 และโซเดียมอะซิเตรตบัฟเฟอร์ พีเอช 4.5 ตัวอย่างที่ถูกเจือจางจะถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงที่ 2 ความยาวคลื่น คือ ที่  $A_{vis-max}$  และที่ 700 นาโนเมตร ( $A_{700}$ ) เพื่อคำนวณหาค่าความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงที่พีเอชแตกต่างกัน ( $A_{diff}$ ) ตามสมการที่ (ก-4) และใช้ค่าดังกล่าวคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดตามสมการที่ (ก-5) โดยรายงานผลในหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร

$$A_{\text{diff}} = (A_{\text{vis-max}} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{\text{vis-max}} - A_{700})_{\text{pH}4.5} \quad (\text{ก-4})$$

ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)

$$= (A_{\text{diff}} \times \text{DF} \times \text{MW} \times 1000) / (\epsilon \times l) \quad (\text{ก-5})$$

โดยที่ MW คือ น้ำหนักโมเลกุลของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (449.38 กรัม/โมล)  $\epsilon$  (molar absorptivity) เท่ากับ 26900 ลิตร/โมล-เซนติเมตร และ  $l$  (path length) คือ ความกว้างของคิวเวตต์ (cuvette) ซึ่งเท่ากับ 1.0 เซนติเมตร

### การวิเคราะห์ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช

การวิเคราะห์กิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (Gülçin et al., 2006)

1. ชั่งดีพีพีเอช 0.0039 กรัม ใส่ลงในสารละลายเมทานอลความเข้มข้น ร้อยละ 99 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ได้เป็นสารละลายดีพีพีเอช ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์
2. เติมห่วง ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองชุดทดสอบ และเติมน้ำกลั่น ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองชุดควบคุม
3. เติมสารละลายดีพีพีเอช ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองชุดทดสอบที่มีตัวอย่าง และผสมให้เข้ากันด้วยวอเทกซ์
4. ตั้งทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยาในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที
5. เมื่อครบกำหนดให้นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นแบลนด์
6. คำนวณการกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอชตามสมการที่ (ก-6)

ค่ากิจกรรมกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (ร้อยละ)

$$= ((A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}) \times 100 \quad (\text{ก-6})$$

โดย  $A_{\text{control}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

$A_{\text{sample}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบ

### การวิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity)

วิเคราะห์ค่าความหนืดโดยดัดแปลงจากวิธีการที่อธิบายโดย Sharoba และคณะ (2012) โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer (รุ่น DV-II+, USA) วัดโดยวิธี small sample ใช้หัววัดเบอร์ 28

และควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างอาหารที่ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วในการหมุนในช่วง 1 – 200 รอบ/นาที เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุม

### วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา (microbiological properties)

#### การวิเคราะห์จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)

1. ปิเปิดตัวอย่างจากขวดแก้ว ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดที่มีสารละลายเปปโตนที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ปริมาตร 90 มิลลิลิตร เพื่อเจือจางและผสมให้เข้ากันจะได้ตัวอย่างที่มีความเข้มข้น  $10^{-1}$
2. ต่อมาปิเปิดตัวอย่าง ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากขวดที่มีความเข้มข้น  $10^{-1}$  ใส่ในหลอดทดลอง และเจือจางต่อในสารละลายเปปโตน 9 มิลลิลิตร ได้ตัวอย่างที่มีความเข้มข้น  $10^{-2}$
3. ทำต่ออีกครั้งจนได้ตัวอย่างที่มีความเข้มข้น  $10^{-3}$
4. ปิเปิดตัวอย่าง (ทั้ง 3 ความเข้มข้น) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ ความเข้มข้นละ 3 จาน
5. เทอาหารเลี้ยงเชื้อเพลตแคนต้อเอการ์ (plate count agar, PCA) ที่หมอมเหลวแล้ว ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อ จานละ 15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ให้อาหารแข็ง
6. กลับจานเพาะเชื้อและบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง
7. นับจำนวนโคโลนีในจานเพาะเชื้อ (มีปริมาณ 30 – 300 โคโลนี) หาค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณเป็นจำนวนโคโลนีต่อกรัมหรือมิลลิลิตร

#### การวิเคราะห์จำนวนยีสต์และรา

1. ปิเปิดตัวอย่างจากขวดแก้ว ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดที่มีสารละลายเปปโตนที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ปริมาตร 90 มิลลิลิตร เพื่อเจือจางและผสมให้เข้ากัน ได้ตัวอย่างที่มีความเข้มข้น  $10^{-1}$
2. ต่อมาปิเปิดตัวอย่าง ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากขวดที่มีความเข้มข้น  $10^{-1}$  ใส่ในหลอดทดลอง และเจือจางต่อในสารละลายเปปโตน 9 มิลลิลิตร ได้ตัวอย่างที่มีความเข้มข้น  $10^{-2}$
3. ทำต่ออีกครั้งจนได้ตัวอย่างที่มีความเข้มข้น  $10^{-3}$
4. ปิเปิดตัวอย่าง (ทั้ง 3 ความเข้มข้น) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ ความเข้มข้นละ 3 จาน
5. ต่อมา เทอาหารเลี้ยงเชื้อโปเตโตเดกซ์โตรสเอการ์ (potato dextrose agar, PDA) (เติมกรดทาร์ทาริกความเข้มข้น ร้อยละ 10 ปริมาตร 1.8 มิลลิลิตร ใน PDA ปริมาตร 200

มิลลิลิตร) ที่หลอมเหลวแล้วมีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อ  
จานละ 15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ให้อาหารแข็ง

6. บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 วัน
7. นับจำนวนโคโลนีบนจานเพาะเชื้อ คำนวณหาค่าเฉลี่ย และรายงานเป็นจำนวนโคโลนี ต่อ  
กรัมหรือมิลลิลิตร

**ภาคผนวก ข**

รูปภาพประกอบงานวิจัย



ภาพที่ ข-1 ลักษณะของ ALG 0.5



ภาพที่ ข-2 ลักษณะของ ALG 1.0



ภาพที่ ข-3 ลักษณะของ ALG 1.5



ภาพที่ ข-4 ลักษณะของ ALG 2.0



ภาพที่ ข-5 ลักษณะของ CHI 0.5



ภาพที่ ข-6 ลักษณะของ CHI 1.0



ภาพที่ ข-7 ลักษณะของ CHI 1.5



ภาพที่ ข-8 คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่ผสมโคโตซานที่เสิร์ฟพร้อมกับเครื่องดื่มแอลกอฮอล์



ภาพที่ ข-9 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ขนาดของเม็ดคาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

## ภาคผนวก ค

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

### แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

โดยการให้คะแนนความชอบแบบ 9 Point - Hedonic Scale สำหรับผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

ผลิตภัณฑ์ : ผลิตภัณฑ์คาเวียร์น้ำมัลเบอร์รี่

**คำชี้แจง** กรุณาประเมินความชอบและความรู้สึกที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามลำดับตัวอย่างที่น่าเสนอ พร้อมทั้งให้ระดับคะแนนความชอบและความรู้สึกที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในแต่ละลักษณะคุณภาพตามความรู้สึกของท่าน

#### ระดับคะแนนความชอบ

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

คุณลักษณะ	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
1. ลักษณะปรากฏ				
2. สี				
3. กลิ่น				
4. รสหวาน				
5. รสเปรี้ยว				
6. ความชอบโดยรวม				

#### ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

## ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายอัศพงษ์ อุประวรรณ
2. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Utsaphong Uprarawanna
3. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 1640700046529
4. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำตามสัญญาจ้าง หลักสูตรเทคโนโลยีการประกอบอาหารและการบริการ โรงเรียนการเรือน ปฏิบัติงาน ณ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ศูนย์การศึกษานอกที่ตั้ง ลำปาง
5. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อ หลักสูตรเทคโนโลยีการประกอบอาหารและการบริการ โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ศูนย์การศึกษานอกที่ตั้ง ลำปาง 57 หมู่ 2 ถนนสุพรรณบุรี-ป่าโมก ตำบลโคกโคเค่น อำเภอเมือง จ.สุพรรณบุรี 72000 หมายเลขโทรศัพท์: 087-208-0124 E-mail: utsaphong.u@gmail.com
6. ประวัติการศึกษา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีอาหาร) มหาวิทยาลัยศิลปากร
7. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ การแปรรูปอาหารจากผักและผลไม้ โภชนาการอาหาร สารออกฤทธิ์ชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในผักผลไม้ การประกอบอาหารไทย การผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบ การแกะสลักผักผลไม้ มีประสบการณ์ในการถ่ายทอดเทคโนโลยี จัดอบรม และถ่ายทอดศิลปและวัฒนธรรมการประกอบอาหารและการแปรรูปทั้งในและต่างประเทศ
8. ประสบการณ์งานวิจัย
  - 8.1 หัวหน้าโครงการ
    - การยืดอายุการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภคด้วยการใช้ไอโซน
    - Effects of osmotic dehydration on properties of makiang fruits
    - การพัฒนาตำรับซุปรอบาเบะประยุกต์ต่อสมบัติทางกายภาพเคมีและการประเมินทางประสาทสัมผัส

- การพัฒนาตำรับคาร์เวียร์จากเนื้อมะม่วงและการประยุกต์ใช้
- การพัฒนาคาร์เวียร์น้ำหม่อนร่วมกับโคโตซาน
- การผลิตเครื่องดื่มน้ำใบข้าวอ่อนพร้อมดื่มจากข้าวในจังหวัดสุพรรณบุรี
- อิทธิพลของการทดแทนเนื้อหมูด้วยโปรตีนเกษตรในผลิตภัณฑ์ไส้ฮั่ว

## 8.2 งานอื่นๆ เกี่ยวกับการบริการวิชาการและถ่ายทอดความรู้

- Research of Thai fusion food and Japanese food with International company-- Japan
- Thai Food Demonstrator in Mini Thailand Week at Hai Phong city with royal Thai embassy, Hanoi, Vietnam
- Thai food demonstration and fair in Thai food festival with royal Thai embassy, Mumbai, India.
- Thai and international herb cultivation project in Suphanburi province training student for cooking challenge competition such as Thailand ultimate chef challenge (TUCC).
- Thai food demonstation project in prison of Suphanburi province
- Thai dessert and applitizer demontation in The Honor of King Rama II at the king memorial park. King Rama II, Samut Songkhram province
- Thai food demonstrator, buffet dinner and carving show in Thai food festival at Holiday Inn Khunming city hotel, Khunmink city, China.