



## โครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์

เรื่อง

ความสามารถในการจับไขมันและคอเลสเตอรอลของเจลลี่ที่ทำจากไคโตซาน  
จากปูและเห็ดในน้ำผลไม้

Lipid and Cholesterol Binding Capacity of Jelly of Crab and Mushroom Chitosan  
Fruit Juice

โดย

นศภ. จักรกฤษณ์ พลธิราช	รหัส 57210006
นศภ. รักกิจ สนทยานานนท์	รหัส 57210057
นศภ. ศุภณัฐ ศรีสด	รหัส 57210088

โครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาบัณฑิต ปีการศึกษา 2561

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

# โครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์

## เรื่อง

ความสามารถในการจับไขมันและคอเลสเตอรอลของเจลลี่ที่ทำจากไคโตซาน  
จากปูและเห็ดในน้ำผลไม้

Lipid and Cholesterol Binding Capacity of Jelly of Crab and Mushroom Chitosan  
Fruit Juice

## โดย

นศภ. จักรกฤษณ์ พลธิราช	รหัส 57210006
นศภ. รักกิจ สนทยานานนท์	รหัส 57210057
นศภ. ศุภณัฐ ศรีสวด	รหัส 57210088

โครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาบัณฑิต ปีการศึกษา 2561

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

## คำนำ

วิชาโครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์ มีจุดประสงค์เพื่อให้บัณฑิตมีความรู้ มีแนวคิดในการทำงานวิจัย รู้รูปแบบของการวิจัย และเทคนิควิธีวิจัยแบบต่าง ๆ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงาน สามารถใช้สถิติขั้นพื้นฐานและสถิติอ้างอิงที่เหมาะสม รวมทั้งการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย และให้บัณฑิตมีประสบการณ์ในการทดลองทางวิทยาศาสตร์การเขียนรายงานผลการวิจัย เพื่อที่บัณฑิตจะสามารถนำความรู้และประสบการณ์ไปใช้ในการปฏิบัติงานได้ในอนาคต และงานวิจัยเรื่อง ความสามารถในการจับไขมันและคอเลสเตอรอลของเจลลี่ที่ทำจากไคโตซานจากปูและเห็ดในน้ำผลไม้ เรื่องนี้ เป็นการศึกษาการตั้งตำรับเจลลี่จากไคโตซานเพื่อหาสูตรตำรับและวิธีการทำที่เหมาะสม แล้วนำเจลลี่ไคโตซานไปทดสอบความสามารถในการดักจับไขมันในน้ำมันถั่วเหลืองและรายงานฉบับนี้ได้รวบรวมข้อมูลและความรู้ด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องไว้ ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารรูปแบบเจลลี่เพื่อลดการดูดซึมไขมัน และช่วยลดความเสี่ยงต่อการป่วยเป็นโรคไขมันในเลือดสูงได้ในอนาคต

คณะผู้วิจัย

## โครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์ปีการศึกษา 2561

### เรื่อง ความสามารถในการจับไขมันและคอเลสเตอรอลของเจลลี่ที่ทำจากไคโตซานจากปูและเห็ดในน้ำผลไม้

#### ผู้จัดทำโครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์

1. นสภ. จักรกฤษณ์ พลธิราช รหัส 57210006
2. นสภ. รักกิจ สนทยานานนท์ รหัส 57210057
3. นสภ. ศุภณัฐ ศรีสด รหัส 57210088

#### อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์

1. ภก.อ.ธราธิร์ ศรีจันทร์
2. Mr. Shi Shaohua

---

#### บทคัดย่อ

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีรายงานว่ามีคุณสมบัติในการจับกับไขมัน ผู้วิจัยจึงนำไคโตซานมาศึกษาหาวิธีตั้งตำรับให้เป็นเจลลี่ในน้ำผลไม้ โดยทดลองกับไคโตซานที่ได้มาจากเห็ดและไคโตซานที่ได้มาจากปู เจลลี่ไคโตซานในน้ำผลไม้ที่เตรียมในการทดลองนี้มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 2.5-12.5 %w/v และผลการศึกษาพบว่า สูตรตำรับเจลลี่ที่ดีที่สุดประกอบด้วย น้ำสตอร์วเบอร์รี่ปริมาตร 9.75 มล. acetic acid (17.4 M) ปริมาตร 0.25 มล ไคโตซานจากเห็ดปริมาณ 1.25 กรัม gelatin A ปริมาณ 1.0 กรัม น้ำตาลสติเวียชนิดผงจำนวน 0.4 กรัม เกลือจำนวน 0.025 กรัม เจลลี่ไคโตซานที่ได้มีสีแดง เนื้อสัมผัสละเอียด มีค่า pH เท่ากับ 6 มีความคงตัวดี และการทดสอบความหนืดแสดงให้เห็นว่าเจลลี่มีการไหลแบบ pseudoplastic เจลลี่ไคโตซานในน้ำผลไม้สามารถจับไขมันในน้ำมันถั่วเหลืองได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ไคโตซานจากเห็ดมีแนวโน้มว่าจับไขมันได้ดีกว่าไคโตซานจากปู โดยไคโตซานจากเห็ดและจากปูจำนวน 1 กรัม (ในเจลลี่) สามารถจับกับไขมันได้ประมาณ  $1.36 \pm 0.31$  และ  $0.84 \pm 0.16$  กรัม ตามลำดับ การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่าเจลลี่ไคโตซานในน้ำผลไม้มีศักยภาพที่จะนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารสำหรับลดการดูดซึมไขมันได้ในอนาคต

Senior Project Academic Year2018

: Lipid and Cholesterol Binding Capacity of Jelly of Crab and Mushroom Chitosan in Fruit Juice

By

- |    |                          |    |          |
|----|--------------------------|----|----------|
| 1. | Mr. Chakkrit Poltirach   | ID | 57210006 |
| 2. | Mr. Rukkit Sonthayananon | ID | 57210057 |
| 3. | Mr. Supanut Srisod       | ID | 57210088 |

Advisor:

- |    |                       |
|----|-----------------------|
| 1. | Mr. Tharatree Srichan |
| 2. | Mr. Shi Shaohua       |

---

#### ABSTRACT

Lipid binding activity of chitosan was reported. We therefore formulate fruity jellies of chitosan in order to create a lipid lowering supplement. There are two types of chitosan (one from crab and another from mushroom) that were introduced into this experiment. All the jellies that we prepare, contain chitosan range from 2.5-12.5 %w/v. The best formula that we get, composes of 9.75 mL strawberry juice, 0.25 mL of 17.4 M acetic acid, 1.25 g mushroom chitosan, 0.4 g Stevia artificial sugar and 0.025 g salt. This fruity chitosan jelly is red. The content of the jelly is homogeneous, fine and relatively stable. Its pH value equals 6. Rheology study indicates that it has pseudoplastic flow characteristic. This chitosan jelly can significantly bind with lipid in soybean oil ( $p < 0.05$ ). The lipid binding capacity of 1 g mushroom chitosan and 1 g crab chitosan approximately is  $1.36 \pm 0.31$  and  $0.84 \pm 0.16$  g, respectively which means mushroom chitosan has a little higher capacity by comparing with the crab chitosan. Therefore, this study suggests that chitosan jelly in fruit juice has a potential to be developed as a dietary supplement for lowering lipid absorption to reduce the risk of cardiovascular diseases in patients in the future.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้ได้รับการสนับสนุนทั้งด้านทุนการศึกษา สถานที่ปฏิบัติการทดลอง เครื่องมือ และอุปกรณ์ จากคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ในระหว่างการศึกษา คณะวิจัยได้รับการช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์เป็นอย่างดี และได้รับคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 2 ท่านตลอดช่วงเวลาการเรียนวิชานี้ งานวิจัยนี้จะไม่สามารถดำเนินการไปได้ถ้าหากขาดการสนับสนุนจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง คณะผู้วิจัยจึงขอความคุณท่านที่มีส่วนช่วยในการวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

# สารบัญ

	หน้า
คำนำ.....	ข
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์.....	4
สมมติฐาน.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
นิยามศัพท์.....	5
<b>บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>6</b>
ความหมายของโคโคซาน.....	6
โคโคซานจากเปลือกคริสต์เตียน.....	7
โคโคซานจากเห็ด.....	7
กลไกการดักจับไขมันของโคโคซาน.....	8
กลไกของโคโคซานในการยับยั้งเอนไซม์ pancreatic lipase.....	8
ความปลอดภัยของโคโคซาน.....	9
จุดเด่นของโคโคซาน.....	9
ข้อจำกัดของการใช้โคโคซาน.....	10

	หน้า
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>11</b>
การทดสอบความสามารถในการละลายของโคโคซาน.....	11
การตั้งตำรับเจลลี่.....	12
วิธีการประเมินคุณภาพของเจลลี่.....	15
การประเมินประสิทธิภาพในการจับกับไขมันของเจลลี่.....	17
การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	20
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย.....</b>	<b>21</b>
ผลการทดสอบความสามารถในการละลายของโคโคซาน.....	21
ผลการตั้งตำรับเจลลี่.....	22
ผลการประเมินคุณภาพของเจลลี่.....	26
ผลการประเมินประสิทธิภาพในการจับกับไขมันของเจลลี่โคโคซาน.....	45
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....</b>	<b>49</b>
<b>เอกสารอ้างอิง.....</b>	<b>51</b>



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงส่วนประกอบในตำรับเจลลี่ ตำรับที่ 1 (12.5% w/v ไคโตซานเจลลี่ในน้ำผลไม้).....	13
2	แสดงส่วนประกอบในตำรับเจลลี่ ตำรับที่ 2 (12.5% w/v ไคโตซานเจลลี่ในน้ำผลไม้).....	14
3	แสดงส่วนประกอบในตำรับเจลลี่ ตำรับที่ 3 (12.5% w/v chitosan เจลลี่ในน้ำผลไม้).....	15
4	คะแนนการประเมินตำรับในด้านเนื้อสัมผัส.....	27
5	คะแนนการประเมินความใสของตำรับเจลลี่ไคโตซาน.....	29
6	คะแนนการประเมินตำรับในด้านความหยาบของเจลลี่.....	29
7	แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่ไคโตซานจากเห็ด 2.5% w/v ในน้ำส้ม.....	33
8	แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่ไคโตซานจากเห็ด 7.5% w/v ในน้ำส้ม.....	34
9	แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่ไคโตซานจากเห็ด 12.5% w/v ในน้ำส้ม.....	35
10	แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่ไคโตซานจากเห็ด 2.5% w/v ในน้ำสตอร์วี่เบอร์รี่.....	36
11	แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่ไคโตซานจากเห็ด 7.5% w/v ในน้ำสตอร์วี่เบอร์รี่.....	37
12	แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่ไคโตซานจากเห็ด 12.5% w/v ในน้ำสตอร์วี่เบอร์รี่.....	38

ตารางที่	หน้า	
13	แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่ไคโตซานจากปู 2.5% w/v ในน้ำส้ม.....	39
14	แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่ไคโตซานจากปู 7.5% w/v ในน้ำส้ม.....	40
15	แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่ไคโตซานจากปู 12.5% w/v ในน้ำส้ม.....	41
16	แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่ไคโตซานจากปู 2.5% w/v ในน้ำแอปเปิล.....	42
17	แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่ไคโตซานจากปู 7.5% w/v ในน้ำแอปเปิล.....	43
18	แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่ไคโตซานจากปู 12.5% w/v ในน้ำแอปเปิล.....	44
19	ผลการวัดค่า pH ของเจลลี่ไคโตซาน.....	45
20	น้ำหนักของไขมันที่ถูกจับด้วยเจลลี่ไคโตซานหลังจากการสกัด ด้วย diethyl ether.....	47
21	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความสามารถในการจับกับ ไขมันของเจลลี่ไคโตซาน.....	48

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงลักษณะของไคโตซานจากเห็ดและไคโตซานจากปู.....	12
2	ของผสมที่มีการแยกเป็น 2 เฟสหลังจากทำการปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 20 นาที...	18
3	วิธภาคของน้ำที่สกัดแยกได้โดยวิธี double extraction ด้วย diethyl ether...	19
4	แสดงความสามารถในการละลายของไคโตซานจากปูที่ความเข้มข้น 10, 15, 20 และ 25% w/v ใน 2.5% v/v acetic acid.....	21
5	แสดงความสามารถในการละลายของไคโตซานจากเห็ดที่ความเข้มข้น 10, 15, 20 และ 25% w/v ใน 2.5% v/v acetic acid.....	22
6	เจลลี่ไคโตซานจากปูที่เตรียมได้จากสูตรตำรับที่ 3 โดยมีไคโตซานที่ ความเข้มข้น 2.5, 7.5 และ 12.5% w/v ในน้ำผลไม้ 3 ชนิด ได้แก่ น้ำส้ม น้ำแอปเปิล และน้ำสตอร์วเบอร์รี่.....	24
7	เจลลี่ไคโตซานจากเห็ดที่เตรียมได้จากสูตรตำรับที่ 3 โดยมีไคโตซานที่ ความเข้มข้น 2.5, 7.5 และ 12.5% w/v ในน้ำผลไม้ 3 ชนิด ได้แก่ น้ำส้ม น้ำแอปเปิล และน้ำสตอร์วเบอร์รี่.....	25
8	แสดงลักษณะของเนื้อเจลลี่ยี่ห้อ Jele beautie และรูปผลิตภัณฑ์.....	26
9	แสดงการทดสอบการยอมให้แสงผ่านของเจลลี่ไคโตซานจากปูที่ ความเข้มข้น 7.5% w/v ในน้ำแอปเปิล และเจลลี่ไคโตซานจากปูที่ ความเข้มข้น 7.5% w/v ในน้ำสตอร์วเบอร์รี่.....	28
10	ตัวอย่างของเจลลี่ไคโตซานเมื่อส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 100X โดยเปรียบเทียบระหว่างเจลลี่ไคโตซาน จากปูและเจลลี่ไคโตซานจากเห็ด ในน้ำแอปเปิล.....	30
11	แสดงค่าความหนืดของเจลลี่ ยี่ห้อ Jele beautie ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	31

ภาพที่		หน้า
12	แสดงค่าความหนืดของเจลลี่โคโตซานจากเห็นน้ำแอปเปิล ที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส.....	32
13	แสดงค่าความหนืดของเจลลี่โคโตซานจากปฏิกิริยาในน้ำสตอร์วเบอร์รี่ ที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส.....	32

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความสำคัญของที่มาและปัญหา

ปัจจุบันปัญหาสุขภาพอันเนื่องมาจากโรคหัวใจและหลอดเลือดของประชากรชาวไทยเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยข้อมูลจากกระทรวงสาธารณสุขรายงานว่าในช่วงปี พ.ศ. 2554-2558 ประเทศไทยมีผู้เสียชีวิตด้วยโรคหัวใจและหลอดเลือดมากกว่า 18,000 ราย หรือเทียบเป็นอัตราส่วน 22.88 : 100,000 ในปี พ.ศ. 2560 พบว่ามีผู้ป่วยด้วยโรคหัวใจและหลอดเลือดกว่า 400,000 รายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มผู้สูงอายุซึ่งมีจำนวนกว่า 290,000 ราย(1)

ภาวะไขมันในเลือดสูง เป็นภาวะที่อธิบายถึงลักษณะการเพิ่มขึ้นของไขมันในเลือดชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือมากกว่าหนึ่งชนิด ประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ คอเลสเตอรอล ฟอสโฟลิพิด หรือพลาสมาไลโปโปรตีน ซึ่งได้แก่ very low-density lipoprotein (VLDL) และ low-density lipoprotein (LDL) หมายถึงการลดลงของระดับ high-density lipoprotein (HDL) การเพิ่มขึ้นของระดับไขมันในเลือดนี้ นำไปสู่ปัจจัยเสี่ยงที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด(2, 3)โดยพบว่าประชากรที่มีแนวโน้มของภาวะไขมันในเลือดสูง มีความเสี่ยงประมาณสองเท่าที่จะนำไปสู่การเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มประชากรที่มีระดับคอเลสเตอรอลโดยรวมปกติ(4)ภาวะคอเลสเตอรอลในเลือดสูงและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดสูงเป็นสาเหตุหลักของการเกิดโรคหลอดเลือดแดงแข็ง ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างมากกับการเกิดโรคหัวใจขาดเลือดซึ่งภาวะหัวใจขาดเลือดเองนั้นก็มีความสัมพันธ์อย่างมากกับอัตราการตายด้วยเช่นเดียวกัน(5, 6)โดยปกติแล้วภาวะไขมันในเลือดสูงไม่ได้มีอาการแสดงที่ชัดเจน แต่จะตรวจพบภาวะนี้ได้จากการตรวจสุขภาพประจำปี หรือจนกระทั่งมีอาการแสดงถึงระยะอันตรายของโรคหลอดเลือดสมอง และโรคหัวใจขาดเลือดเฉียบพลัน(7)

ภาวะแทรกซ้อนของไขมันในเลือดสูงเริ่มต้นจากการเกิดโรคหลอดเลือดแดงแข็ง ซึ่งเป็นสาเหตุสะสมของไขมัน คอเลสเตอรอล และแคลเซียม นำไปสู่การเกิดการสร้าง fibrous plaque ภายในผนังหลอดเลือดขนาดใหญ่และหลอดเลือดแดงขนาดกลางการที่ผนังของหลอดเลือดแดงที่ทำหน้าที่ลำเลียงเลือดไปเลี้ยงหัวใจมีขนาดแคบลงจากการเกิด plaque ทำให้ปริมาณของเลือดและออกซิเจนที่ลำเลียงเข้าสู่หัวใจมีจำกัด เมื่อเลือดและออกซิเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของกล้ามเนื้อหัวใจ จะส่งผลให้เกิดการตายของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ จากการศึกษาพบว่าหนึ่งในสี่ของผู้ที่เป็นโรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดมีภาวะไขมันในเลือดสูง นอกจากนี้ยังสามารถนำไปสู่โรคหลอดเลือดสมอง หากเกิดการอุดตันของหลอดเลือดแดงที่ไปเลี้ยงสมอง หรือชิ้นส่วนของ plaque หลุดออกจนเกิดการแตกของหลอดเลือดขนาดเล็กในสมอง การศึกษาทางคลินิกพบว่าระดับไขมันในเลือดมีผลอย่างยิ่งต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง โดยการลดระดับ LDL และระดับคอเลสเตอรอลโดยรวมร้อยละ 15 สามารถลดความเสี่ยงการเกิดโรคหลอดเลือดสมองครั้งแรกได้อย่างมีนัยสำคัญ(8-11)

ยาหลักที่ใช้สำหรับรักษาภาวะไขมันในเลือดผิดปกติในปัจจุบัน ประกอบด้วย 5 กลุ่มหลัก ได้แก่ statin, resin, niacin, fibric acid และ ezetimibe ซึ่งยาในแต่ละกลุ่มมีข้อบ่งใช้ที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการลดประเภทของคอเรสเตอรอล ยาหลักที่ใช้รักษาคอเลสเตอรอลมีผลข้างเคียงที่รุนแรงและมีโอกาสเกิดอันตรกิริยากับยาอื่นได้มาก ยากลุ่ม statin ถือเป็นยาทางเลือกแรกในการรักษาภาวะไขมันในเลือดสูง อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของการใช้ยา statin ประการหนึ่งเกิดจากผลข้างเคียงอันไม่พึงประสงค์ ผลข้างเคียงอันไม่พึงประสงค์ที่รุนแรงของยาในกลุ่ม statin คือการสลายตัวของกล้ามเนื้อลาย ยาส่งผลต่อการทำงานของตับ ยาในกลุ่ม resin มีผลข้างเคียงอันไม่พึงประสงค์ที่พบได้บ่อยเมื่อใช้ในขนาดยาที่สูงและในผู้ป่วยที่มีอายุมากกว่า 60 ปี ได้แก่ อาการท้องอืด แน่นท้อง ท้องผูก ยาในกลุ่ม niacin มีข้อจำกัดในด้านความปลอดภัยสำหรับการใช้ในระยะเวลายาว อาการข้างเคียงอันไม่พึงประสงค์จากการใช้ยา ได้แก่ การคันบริเวณผิวหนัง ผื่นแดง ปวดศีรษะ และความดันโลหิตต่ำเมื่อเปลี่ยนอิริยาบถ ยาในกลุ่ม fibric acid มีข้อจำกัดการใช้ในผู้ป่วยถุงน้ำดี เนื่องจากยาเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดนิ่วในถุงน้ำดีนอกจากนี้ยายังก่อให้เกิดอาการคลื่นไส้ และอาเจียน ยากลุ่มสุดท้ายคือ

ezetimibe ยานี้มีประสิทธิภาพไม่สูงเท่ายาในกลุ่มอื่น จึงมีข้อแนะนำให้ใช้เป็นยาร่วมกับยาหลักเช่น statins ผลข้างเคียงอันไม่พึงประสงค์จากการใช้ยา ezetimibe ได้แก่ ท้องเสีย อาการปวดข้อ ปวดกล้ามเนื้อ อาการที่รุนแรง ได้แก่ ตับอักเสบ และการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ตับ นอกจากนี้ปัญหาด้านผลข้างเคียงอันไม่พึงประสงค์ที่เป็นอุปสรรคในการใช้ยาแล้ว ยาบางตัวยังมีราคาสูง ดังนั้นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีประสิทธิภาพในการลดระดับคอเลสเตอรอลและไขมันในร่างกายและมีความปลอดภัยในการใช้จึงยังมีความจำเป็นที่ต้องพัฒนา แม้ว่าจะไม่สามารถนำมาใช้ทดแทนยาหลัก แต่การพัฒนาเพื่อใช้เป็นทางเลือกเสริมร่วมกับการใช้ยาหลักยังคงเป็นเรื่องที่สำคัญ ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น น้ำมันปลา และเส้นใยที่ละลายน้ำ(12)

โคโคซาน ถือเป็นทางเลือกหนึ่งของผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับลดระดับไขมันในเลือดที่เป็นที่นิยมในฝั่งประเทศตะวันตกและมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด โคโคซานได้มาจากการสกัดเปลือกคริสเตเซียน เห็ด และสาหร่ายบางชนิด ซึ่งโคโคซานจากแหล่งที่มาต่างกันจะมีคุณสมบัติและหน้าที่การทำงานต่างกัน การศึกษาถึงคุณสมบัติของโคโคซานในการลดระดับไขมันชี้ให้เห็นว่า ข้อดีของโคโคซานที่เหนือกว่ายาที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือโคโคซานมีความปลอดภัยค่อนข้างสูงทั้งในสัตว์ทดลองและในมนุษย์ เนื่องจากโคโคซานไม่ถูกดูดซึมและออกฤทธิ์ด้วยการจับกับไขมันแล้วขับไขมันออกมาทางอุจจาระ นอกจากนี้แล้วโคโคซานยังมีกลไกในการยับยั้งเอนไซม์ pancreatic lipase ซึ่งเสริมประสิทธิภาพในการลดการดูดซึมไขมันให้ดีขึ้น นอกจากนี้การนำโคโคซานมาเตรียมในตำรับเจลลี่โดยอาศัยคุณสมบัติในการเกิดไฮโดรเจลได้ดี มีข้อดีเหนือกว่าตำรับยาเม็ดที่พบได้ในกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารเสริมในท้องตลาดคือ ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในรูปแบบเจลลี่ไม่ต้องรอการแตกตัวเหมือนรูปแบบยาเม็ดและยาแคปซูล ตำรับเจลลี่มีพื้นที่ผิวสูงกว่าทำให้ประสิทธิภาพการจับกับไขมันเป็นไปได้ดีกว่า ตำรับเจลลี่ที่เตรียมขึ้นใช้คุณสมบัติการก่อไฮโดรเจลของตัวโคโคซานเองจึงลดการใช้สารช่วยและลดขั้นตอนในการเตรียมเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเตรียมยาเม็ด นอกจากนี้ตำรับเจลลี่ยังมีข้อดีสำหรับผู้ป่วยที่มีปัญหาด้านการกลืน เช่นผู้ป่วยสูงอายุซึ่งเป็นกลุ่มผู้ป่วยหลักของโรคไขมันในเลือดสูง

และยังสามารถเพิ่มสารเติมแต่งที่ใช้เป็นลูกเล่นให้นำรับประทานได้ง่ายกว่าตำรับอื่นเพื่อเพิ่มความ  
ร่วมมือในการใช้ยาได้(13-17)

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาวิธีการเตรียมตำรับเจลลี่จากไคโตซานที่มีแหล่งที่มาจากปูและเห็ดในน้ำผลไม้
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดักจับไขมันของเจลลี่จากไคโตซานที่มีแหล่งที่มาจาก  
ปูและเห็ด
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดักจับคอเลสเตอรอลของเจลลี่จากไคโตซานที่มี  
แหล่งที่มาจากปูและเห็ด

### สมมติฐาน

1. เจลลี่ของไคโตซานจากแหล่งที่มาแตกต่างกันมีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน
2. เจลลี่ของไคโตซานจากแหล่งที่มาแตกต่างกันมีความสามารถในการจับกับไขมันต่าง  
กัน
3. เจลลี่ของไคโตซานจากแหล่งที่มาแตกต่างกันมีความสามารถในการจับกับคอเลสเตอรอล  
แตกต่างกัน



## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สูตรตำรับในการปรุงเจลลี่ไคโตซานในน้ำผลไม้สำหรับการดักจับไขมันและคอเลสเตอรอล
2. ได้ข้อมูลในด้านประสิทธิภาพในการจับไขมันของเจลลี่ไคโตซานจากปูและเห็ด
3. ได้ข้อมูลในด้านประสิทธิภาพในการจับคอเลสเตอรอลของเจลลี่ไคโตซานจากปูและเห็ด

## นิยามศัพท์

เจลลี่ หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกลุ่มเจล (semi-solid preparation) ที่มีโครงสร้างแบบ coherent matrix มีสัดส่วนของของเหลวสูงและมีลักษณะใส

## บทที่ 2

### วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารประกอบการดำเนินงานวิจัย เพื่อให้เกิดความเข้าใจในทฤษฎี และแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย อันจะส่งเสริมประสิทธิภาพของงานวิจัย โดยมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

#### ความหมายของไคโตซาน

ไคโตซานเป็นสารสกัดจากธรรมชาติซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคตินโดยไคตินเป็นองค์ประกอบใน โครงสร้างภายนอกของสิ่งมีชีวิตในกลุ่มครัสเตเชีย เช่น หอย ปู กุ้ง กลุ่มอาร์โทรพอด เช่น แมลง รวม ไปถึงเป็นโครงสร้างเสริมความแข็งแรงของผนังเซลล์ของเห็ด รา และในสาหร่ายบางชนิด ไคตินจัดอยู่ ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต โครงสร้างทางเคมีประกอบด้วย N-Acetyl glucosamine ต่อกันเป็นสายยาว ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำ(17)

ไคโตซานเกิดจากการดึงหมู่อะซิทิลของไคตินออกด้วยปฏิกิริยา deacetylation ทำให้ โครงสร้างของไคตินที่เป็น N-Acetyl glucosamine กลายเป็น glucosamine ซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย กว่าสามารถละลายได้ในกรดอ่อนในการนำมาใช้ประโยชน์จะสกัดไคโตซานออกมาในรูปที่มีทั้ง glucosamine และ N-Acetyl glucosamine อยู่ในสายโพลีเมอร์เดียวกัน คุณสมบัติและการทำงานของไคโตซานนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักสองประการ ประการแรก คือ ระดับของการกำจัดหมู่อะซิทิลหรือเปอร์เซ็นต์การเกิด deacetylation ประการที่สอง คือ น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานซึ่งบอกถึง ความยาวของสายไคโตซานและมีผลต่อความหนืด ดังนั้นแล้วการนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์จะต้อง พิจารณาทั้งเปอร์เซ็นต์การเกิด deacetylation และน้ำหนักโมเลกุล(17)

## ไคโตซานจากเปลือกคริสเตเซียน

เปลือกคริสเตเซียน ได้แก่ เปลือกกุ้ง และกระดองปู เป็นแหล่งไคตินที่สำคัญที่สุดอันหนึ่งในเชิงพาณิชย์ เปลือกของคริสเตเซียนเหล่านี้สามารถหาได้ง่ายและมีปริมาณมาก จึงเป็นแหล่งทรัพยากรที่สำคัญสำหรับการสกัดไคโตซาน(18)ปริมาณของไคตินสำหรับสกัดเป็นไคโตซานมีความแตกต่างกันตามสปีชีส์และฤดูกาล แต่โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างทางเคมีเบื้องต้นประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 30-40 แร่ธาตุร้อยละ 30-50 และมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก และร้อยละ 20-30 เป็นไคตินร่วมกับสารประกอบอื่น เช่น pigment, astaxanthin และไขมัน(19, 20) วิธีการนำไคตินจากเปลือกมาสกัดเป็นไคโตซานผ่านกระบวนการ deacetylation มีสองวิธีหลัก วิธีแรกคือการใช้ต่าง โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40-50 สกัดกับไคตินที่ผ่านกระบวนการกำจัดแร่ธาตุ โปรตีน และสารสีออกแล้ว ไคโตซานที่ได้จะมี degree of deacetylation(DA) ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของปฏิกิริยา เวลา และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(21, 22)

## ไคโตซานจากเห็ด

ไคโตซานสามารถพบได้ในโครงสร้างส่วนผนังเซลล์ของเห็ด มีส่วนช่วยสร้างความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของผนังเซลล์ อย่างไรก็ตามปริมาณของไคโตซานที่ได้จากเห็ดนั้นขึ้นอยู่กับอนุกรมวิธานของเห็ดที่นำมาสกัด องค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ของเห็ดในตระกูล *zygomycetes* ประกอบด้วยสารเชิงซ้อนของ chitosan-glucan ในขณะที่เห็ดในตระกูล *euscomycetes* และ *deuteriomycetes* ประกอบด้วยสารเชิงซ้อนของ chitin-glucan ไคโตซานที่สกัดจากเห็ดมีความแตกต่างจากไคโตซานที่สกัดจากคริสเตเซียนในแง่ของน้ำหนักโมเลกุล degree of acetylation (DA) และการกระจายตัวของกลุ่มประจุบนโครงสร้าง ความแตกต่างเหล่านี้ส่งผลถึงคุณสมบัติการทำหน้าที่และการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ไคโตซานที่สกัดจากเห็ดมีข้อดีเหนือกว่าไคโตซานที่สกัดจากเปลือกคริสเตเซียนในแง่ของการผลิต เนื่องจากการสกัดไคโตซานจากเปลือกคริสเตเซียนจำเป็นต้องใช้ตัวทำละลายที่รุนแรงและต้องใช้ความร้อนสูงในการสกัด นอกจากนี้แล้วเปลือกคริสเตเซียนยังมีข้อจำกัดในเรื่องฤดูกาล รวมไปถึงสภาพทางภูมิศาสตร์ในการหาแหล่งทรัพยากรการผลิต ไคโตซานที่พัฒนาวิธี

สกัดจากเห็ดมีข้อดีเหนือกว่า คือสามารถสกัดเพื่อผลิตโคโคซานได้ตลอดทั้งปี มีกระบวนการที่สะดวกกว่า และใช้ตัวทำละลายที่มีความรุนแรงน้อยกว่า(23)นอกจากนี้กลุ่มคนที่แพ้อาหารทะเลสามารถใช้ผลิตภัณฑ์โคโคซานที่มาจากเห็ดทดแทนได้(16)

## กลไกการดักจับไขมันของโคโคซาน

กลไกการดักจับไขมันของโคโคซานเกิดจากการมีลักษณะโครงสร้างไปโอโพลิเมอร์คล้ายกับเส้นใยเซลลูโลสแต่มีประจุบวก (cationic) จำนวนมากอยู่ที่บริเวณผิว จึงสามารถเกิดเป็นชั้นฟิล์มล้อมสารที่มีประจุลบ (anionic) อยู่บนพื้นผิว ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิลของกรดไขมัน กรดน้ำดี และกระบวนการเกิดกระบวนการ emulsification ของไขมันที่เป็นกลาง เช่น คอเลสเทอรอล และสเตอรอล โดยการสร้างพันธะไฮโดรเจนจับกับไขมัน(24)ในสภาวะที่เป็นกรดในกระเพาะอาหาร โคโคซานจะอยู่ในรูปเส้นใยที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งจะกระจายตัวอยู่ภายในสารคัดหลั่งจากระบบทางเดินอาหารและอนุภาคของอาหาร โคโคซานจะเข้าจับและเกิดการเอนแคปซูลไขมันและน้ำมัน โดยอาศัยประจุที่อยู่บนผิว และเมื่อโคโคซานที่เกิดการเอนแคปซูลไขมันเดินทางไปยังส่วนของลำไส้เล็ก สภาวะแวดล้อมบริเวณนี้จะไม่อยู่ในสภาวะกรดอีกต่อไป ทำให้โคโคซานกลับมาอยู่ในรูปเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ และเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่มีลักษณะคล้ายเจลเข้าจับกับไขมันและกรดน้ำดี โครงสร้างที่ไม่ละลายน้ำนี้จะเดินทางผ่านไปยังลำไส้ใหญ่และขับออกในรูปของอุจจาระโดยไม่ถูกดูดซึมอีกกลไกหนึ่งที่คาดว่าโคโคซานมีส่วนช่วยในการลดน้ำหนักนั้นอาจจะมีผลมาจากการลดความอยากอาหาร(15)

## กลไกของโคโคซานในการยับยั้งเอนไซม์ pancreatic lipase

ในร่างกายมนุษย์มีเอนไซม์ไลเปสอยู่สามกลุ่มหลัก ได้แก่ lingual lipase, gastric lipase และ pancreatic lipase การดักจับกับไขมันและการเกิดเป็นเจลที่ไม่ละลายน้ำในระบบทางเดินอาหารนั้นส่งผลอย่างยิ่งต่อเอนไซม์ pancreatic lipase ที่มีหน้าที่หลักในการไฮโดรไลซิสไขมัน นอกจากการจับกับไขมันแล้วโคโคซานยังเป็นสารตั้งต้นที่ไปจับกับ pancreatic lipase ซึ่งจะนำไปสู่การยับยั้งการเกิดไฮโดรไลซิสของไขมันบางส่วน จึงน่าจะมีผลช่วยในการลดน้ำหนัก(14)

นอกจากนี้ยังมีรายงานเพิ่มเติมว่า ไคโตซานดักจับไขมันและคอเรสเตอรอลได้มากกว่า เซลลูโลสอย่างมีนัยสำคัญ(13)ลดระดับกรดไขมันอิสระ (free fatty acid; FFA) และลดความเข้มข้นของ malondialdehyde (MDA) ในเลือดได้อย่างมีนัยสำคัญ เพิ่มเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น superoxide dismutase (SOD) catalase (CAT) และ glutathione peroxidase (GSH-Px) จึงกล่าวได้ว่าไคโตซานช่วยควบคุมการต้านอนุมูลอิสระโดยเอนไซม์ และลดการเกิด lipid peroxidation ในปัจจุบันไคโตซานถูกนำมาเป็นสารเติมแต่งในอาหาร และใช้ในอาหารเสริมสำหรับลดระดับคอเรสเตอรอล รวมถึงการใช้เป็นตัวพาในระบบนำส่งยา(25)

### **ความปลอดภัยของไคโตซาน**

จากการศึกษาทั้งในสัตว์ทดลองและในมนุษย์พบว่าไคโตซานมีความปลอดภัยค่อนข้างสูง มีรายงานว่า การรับประทานไคโตซานส่งผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของแคลเซียมในสัตว์ทดลอง ในการศึกษาระดับคลินิกขนาดใหญ่ การแพ้เกิดขึ้นร้อยละ 2 ถึง 3 ของกลุ่มตัวอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตัวอย่างที่มีการแพ้อาหารทะเล มีรายงานการเกิดอาการท้องผูกร้อยละ 20 ของกลุ่มตัวอย่าง ปัญหาเมื่อรับประทานไคโตซานในปริมาณมากเกินไปสามารถส่งผลให้กระเพาะอยู่ในสภาวะขาดน้ำ เนื่องจากการได้รับปริมาณเส้นใยมากเกินไป(15)

### **จุดเด่นของไคโตซาน**

ไคโตซานมีข้อเด่นต่างจากผลิตภัณฑ์เสริมอาหารอื่นคือ ไคโตซานไม่ให้พลังงานต่อร่างกาย เนื่องจากร่างกายไม่สามารถดูดซึมไคโตซานได้ ดังนั้นเมื่อไคโตซานดักจับไขมันแล้วจึงถูกขับออกพร้อมกับไขมันทางอุจจาระ มีการใช้ไคโตซานเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในสหรัฐอเมริกาโดยทำในรูปแบบเม็ดซึ่งประกอบด้วยไคโตซานจำนวน 500 ถึง 1,000 มิลลิกรัมต่อเม็ด มีรายงานว่าไคโตซานสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในกระแสเลือดได้ร้อยละ 5.8 ถึง 42.6 และสามารถลดระดับ LDL ได้ร้อยละ 15.1 ถึง 35.1 อาการข้างเคียงของไคโตซานที่อาจพบได้ เช่นคลื่นไส้ 2.6% และท้องผูก 5.4% ของกลุ่มตัวอย่าง แต่โดยปกติแล้วผู้รับประทานสามารถทนต่ออาการข้างเคียงได้ดี ไคโตซานมีความปลอดภัย

มากกว่าและก่อให้เกิดการนำไปใช้ในทางที่ผิดน้อยกว่ายาบางกลุ่ม โดยเฉพาะยาในกลุ่มที่ส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง เช่น phentermine และ sibutramine หรือยา fenfluramine และ dexfenfluramine ที่ถูกถอนออกจากตลาดเนื่องจากยามีความสัมพันธ์กับการเกิดลิ้นหัวใจผิดปกติ(26)

### **ข้อจำกัดของการใช้โคโคซาน**

ข้อจำกัดของโคโคซานที่มาจากครีستเตเรียนคือ ไม่แนะนำให้ผู้ที่แพ้อาหารทะเลรับประทาน ข้อเสียของโคโคซานจากการดักจับและเพิ่มการขับไขมันออกจากร่างกายคือ อาจทำให้การดูดซึมวิตามินที่ละลายในไขมัน (วิตามินเอ ดี อี และเค) ลดลง ซึ่งพบข้อเสียเดียวกันนี้ในผลิตภัณฑ์ลดการดูดซึมไขมันชนิดอื่น(27)

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยการศึกษา 5 ตอน ดังนี้

#### 1. การทดสอบความสามารถในการละลายของโคโตซาน

สำหรับการตั้งตำรับเจลลี่ ชั้นแรกทำการทดสอบความสามารถในการละลายของโคโตซานที่ได้มาจากเห็ด (Batch No. GBS0180609, Qingdao Chibio Biotech Co. Ltd., China) และที่ได้มาจากปู (Batch No. PQ0180317, Qingdao Chibio Biotech Co. Ltd., China China) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งมี molecular weight ประมาณ 3000 Dalton และมี degree of deacetylation (%DD) อยู่ระหว่าง 85-90% ทั้ง 2 ชนิด เพื่อหาปริมาณขีดจำกัดสูงสุดของโคโตซานที่จะละลายได้ใน acetic acid ความเข้มข้น 2.5% v/v โดยทดสอบการละลายของโคโตซานทั้งจากปูและจากเห็ดที่ความเข้มข้น 5, 10, 15, 20 และ 25% w/v

วิธีการโดยย่อมีดังนี้ ซึ่งโคโตซานจากเห็ดและจากปู อย่างละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัม แล้วนำมาเติมลงใน acetic acid ความเข้มข้น 2.5% v/v ปริมาตร 10 มิลลิลิตรคนผสมให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตค่าการละลายจากความใสของสารละลายและตะกอนของโคโตซาน และกำหนดช่วงความเข้มข้นของโคโตซานที่จะใช้ในการตั้งตำรับเจลลี่ในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของโคโตซานจากเห็ด (ซ้าย) และโคโตซานจากปู (ขวา)

## 2. การตั้งตำรับเจลลี่

การตั้งตำรับเจลลี่นั้นใช้โคโตซานเป็น active ingredient ใช้น้ำตาลไม้เป็น vehicle ใช้ acetic acid เป็นสารช่วยละลายใช้ gelatin type A จาก porcine skin และมี gel strength  $\sim 175$  g bloom (Lot# SLBT2992, Sigma Life Science) เป็นสารก่อเจล และใช้สารปรุงรสแต่งกลิ่น และแต่งสีที่ไม่ให้พลังงาน โดยใช้โคโตซานในช่วงความเข้มข้น 2.5-12.5 % w/v และน้ำตาลไม้ 3 ชนิดที่เลือกใช้ในการตั้งตำรับครั้งนี้ ประกอบด้วย น้ำส้ม น้ำแอปเปิล และน้ำสตอร์เบอร์รี่

ตำรับที่ 1 มีส่วนประกอบของตำรับดังตารางที่ 1 โดยเตรียมตัวอย่างเจลลี่ปริมาตร 10 mL วิธีการโดยย่อ ขั้นแรกทำการเตรียมสารละลายโคโตซานใน acetic acid โดยนำโคโตซานจำนวน 1.25 กรัม ละลายใน acetic acid ความเข้มข้น 5% v/v จำนวน 5 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน (ซึ่งจะเกิดฟองแก๊สขึ้น) หลังจากผสมแล้วตั้งทิ้งไว้จนกระทั่งสารละลายที่ได้ใสไม่มีตะกอน จากนั้นแยกเตรียมโดยส่วนผสมที่ 2 ทำโดยเติม gelatin A น้ำตาล stevia และเกลือลงในน้ำตาลไม้ คนผสมให้เข้ากัน จากนั้น



เติมสารละลายโคโคซานใน acetic acid ลงในส่วนผสมน้ำผลไม้ผสมเจลาติน นำของผสมทั้งหมดไปอุ่นบนอ่างน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 60-65 องศาเซลเซียส เพื่อละลายเจลาติน จากนั้นนำส่วนผสมของสูตรตำรับไปให้ความเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 0-4 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเจลลี่ก่อเป็นรูป โดยวิธีการนี้ดัดแปลงมาจากกลวิธีของ Y. Moussaoui(28)

**ตารางที่ 1** แสดงส่วนประกอบในตำรับเจลลี่ ตำรับที่ 1 (12.5% w/v โคโคซานเจลลี่ในน้ำผลไม้)

ส่วนประกอบในตำรับ	ปริมาณ
acetic acid ความเข้มข้น 5% v/v	5 mL
โคโคซาน	1.25 g
น้ำผลไม้(น้ำส้ม)	5 mL
เจลาติน เอ	0.5 g
น้ำตาล stevia ชนิดผง	0.4 g
เกลือ	0.05 g

ตำรับที่ 2 มีส่วนประกอบของตำรับดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งปรับปรุงต่อจากตำรับที่ 1 โดยเพิ่มปริมาณของ gelatin A จาก 0.5 กรัม (5% w/v) เป็น 1 กรัม (10% w/v) และลดปริมาณเกลือลงเหลือ 0.025 กรัม โดยวิธีการเตรียมยังคงใช้วิธีเดียวกันกับตำรับที่ 1

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบในตำรับเจลลี่ ตำรับที่ 2 (12.5% w/v โคโตซานเจลลี่ในน้ำผลไม้)

ส่วนประกอบในตำรับ	ปริมาณ
acetic acid ความเข้มข้น 5%v/v	5 mL
โคโตซาน	1.25 g
น้ำผลไม้(น้ำส้ม)	5 mL
เจลาติน เอ	1.0 g
น้ำตาล stevia ชนิดผง	0.4 g
เกลือ	0.025 g

ตำรับที่ 3 มีส่วนประกอบของตำรับดังแสดงในตารางที่ 3 และปรับปรุงต่อจากตำรับที่ 2 โดยจากเดิมเตรียม acetic acid ความเข้มข้น 5%v/v ในน้ำในขั้นตอนแรกแล้วจึงผสมน้ำผลไม้ให้ได้ความเข้มข้นของ acetic acid เท่ากับ 2.5%v/v ในภายหลัง แต่ในตำรับที่ 3 นี้ ทำการเตรียม acetic acid ความเข้มข้น 2.5%v/v ในน้ำผลไม้เลยตั้งแต่ขั้นแรก โดยใช้ acetic acid (17.4 M) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำผลไม้ปริมาตร 97.5 มิลลิลิตร แล้วจะได้ตัวทำละลายสำหรับเตรียมเจลลี่ (ซึ่งก็คือ acetic acid ความเข้มข้น 2.5% v/v ในน้ำผลไม้) จากนั้นเติมน้ำตาล stevia เกลือ สารแต่งกลิ่นผลไม้ และสารแต่งสี ลงในตัวทำละลาย และกำหนดให้ของผสมนี้เป็น medium สำหรับเตรียมเจลลี่ ต่อจากนั้นตวง medium มาปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วผสมโคโตซานและ gelatin A ลงไป ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer นานประมาณ 1 นาที ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาทีเพื่อให้เจลาตินพองตัว ต่อจากนั้นนำของผสมทั้งหมดไปอุ่นบนอ่างน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ระหว่าง 60-65 องศาเซลเซียสเพื่อละลายเจลาติน จากนั้นนำของผสมนี้ไปให้ความเย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียสในถังน้ำแข็ง จนกระทั่งเจลลี่ก่อเป็นรูป

ตารางที่ 3 แสดงส่วนประกอบในตำรับเจลลี่ ตำรับที่ 3 (12.5% w/v chitosan เจลลี่ในน้ำผลไม้)

ส่วนประกอบในตำรับ	ปริมาณ
acetic acid(17.4 M)	0.25mL
น้ำผลไม้ (น้ำส้ม)	9.75 mL
น้ำตาล stevia ชนิดผง	0.4 g
เกลือ	0.025 g
กลี้นผลไม้	≤0.2 mL (optional)
สี	≤0.1 mL (optional)
ไคโตซาน	1.25 g
เจลาติน เอ	1.0 g

### 3. วิธีการประเมินคุณภาพของเจลลี่

การประเมินคุณภาพของเจลลี่ ประเมินใน 4 ด้าน ได้แก่

#### 3.1 การประเมินลักษณะทางกายภาพ (physical appearance)

##### 3.1.1 วิธีการประเมินเนื้อสัมผัส (consistency)

ทำโดยนำตัวอย่างเจลลี่ไคโตซานที่เตรียมได้ออกจากแม่พิมพ์ ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสและความคงตัวจากการสังเกตด้วยตาเปล่า การใช้นิ้วสัมผัส และการใช้นิ้วกดลงบนเนื้อเจลลี่ แล้วให้คะแนนการประเมินเนื้อสัมผัส โดยเกณฑ์การให้คะแนนเป็นไปดังนี้

- 1 คะแนน หมายถึงเจลลี่มีความเหลว ไม่สามารถคงตัวได้เมื่อออกจากแม่พิมพ์
- 2 คะแนน หมายถึงเจลลี่มีความยืดหยุ่น เมื่อกด เนื้อเจลลี่ไม่กลับคืนสู่สภาพเดิม
- 3 คะแนน หมายถึงเจลลี่มีความยืดหยุ่น เมื่อกด เนื้อเจลลี่สามารถกลับคืนสู่สภาพ

เดิมได้

4 คะแนนหมายถึงเจลลี่มีความแข็ง ไม่ยืดหยุ่น ไม่สามารถกดเนื้อเจลลี่ได้

### 3.1.2 วิธีการประเมินความใส (clarity)

นำตัวอย่างเจลลี่โคโตซานที่เตรียมได้ออกจากแม่พิมพ์ ศึกษาลักษณะความใสจากการสังเกตการผ่านของแสงด้วยตาเปล่าร่วมกับการถ่ายรูปด้วยกล้องดิจิทัล ประเมินความใสแล้วให้คะแนนการ โดยเกณฑ์การให้คะแนนเป็นไปดังนี้

1 คะแนนหมายถึงเนื้อเจลลี่ขุ่น ไม่โปร่งใส

2 คะแนนหมายถึงเนื้อเจลลี่มีความโปร่งใส มองเห็นภาพผ่านเนื้อเจลลี่ได้ แต่ไม่ชัดเจน

3 คะแนนหมายถึงเนื้อเจลลี่มีความโปร่งใส มองเห็นภาพผ่านเนื้อเจลลี่ได้อย่างชัดเจน

### 3.2 วิธีการประเมินความหยาบ

นำตัวอย่างเจลลี่โคโตซานที่เตรียมได้ออกจากแม่พิมพ์แล้วหั่นตัวอย่างด้วยมีด ศึกษาความหยาบของพื้นที่ผิวบริเวณรอยผ่าจากการสังเกตด้วยตาเปล่าร่วมกับการลูบด้วยนิ้วมือ และการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100Xแล้วประเมินความหยาบและให้คะแนน โดยเกณฑ์การให้คะแนนเป็นไปดังนี้

1 คะแนน หมายถึง เนื้อเจลลี่ไม่เรียบเสมอกัน มีรอยขรุขระจากอนุภาค หรือร่องหลุม ฟองอากาศที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่าจำนวนมาก

2 คะแนนหมายถึง เนื้อเจลลี่ไม่เรียบเสมอกัน มีรอยขรุขระจากอนุภาค หรือร่องหลุม ฟองอากาศที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่า

3 คะแนนหมายถึง เนื้อเจลลี่เรียบเสมอกันตลอดรอยตัด ไม่สัมผัสได้ถึงความขรุขระ

### 3.3 วิธีการวัดความหนืด (viscosity)

นำตัวอย่างเจลลี่โคโตซานที่เตรียมได้ไปวัดความหนืดด้วยเครื่อง rheometer (Kinexus pro plus) โดยทำการวัด shear viscosity(Pascal-second:Pa.s) ที่ shear rate (reciprocal seconds) ระหว่าง 0.1-40  $S^{-1}$  ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำการประเมินทั้งสิ้น 3 ครั้ง (n=3)

### 3.4 การวัดค่า pH

ทำการวัดค่า pH ของส่วนผสมทุกอย่างในตำรับในขณะที่ยังเป็นของเหลว (ก่อนที่ของผสมจะก่อรูปเป็นเจลลี่) โดยใช้ universal indicator paper วัดค่า เนื่องจากของผสมมีความเหนียวหนืด

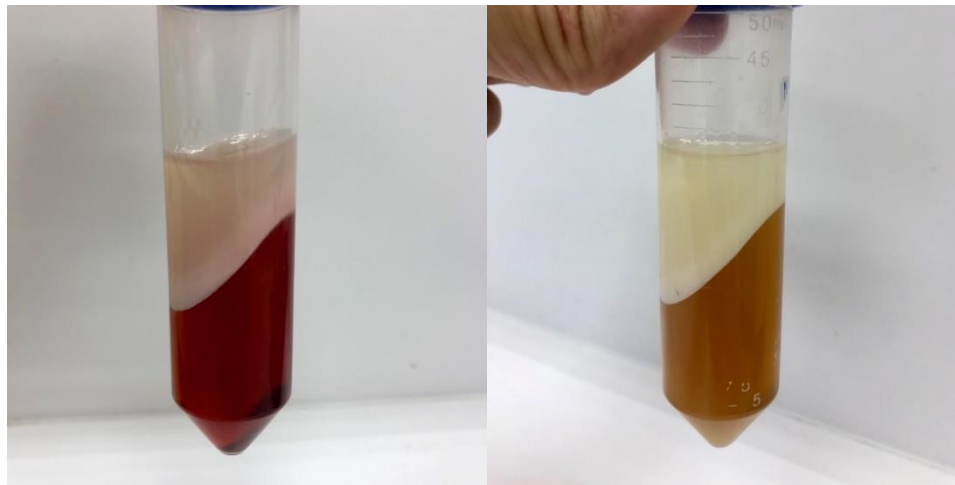
ทั้งนี้วิธีการดังกล่าวดัดแปลงมาจากกลวิธีของ T. Salunke(29)และใช้ขนมเจลลี่คาราจีแนนตรา Jele beautie ของบริษัทศรีน่านาพร มาร์เก็ตติ้ง จำกัด ประเทศไทย เป็นตัวเปรียบเทียบ

## 4. การประเมินประสิทธิภาพในการจับกับไขมันของเจลลี่

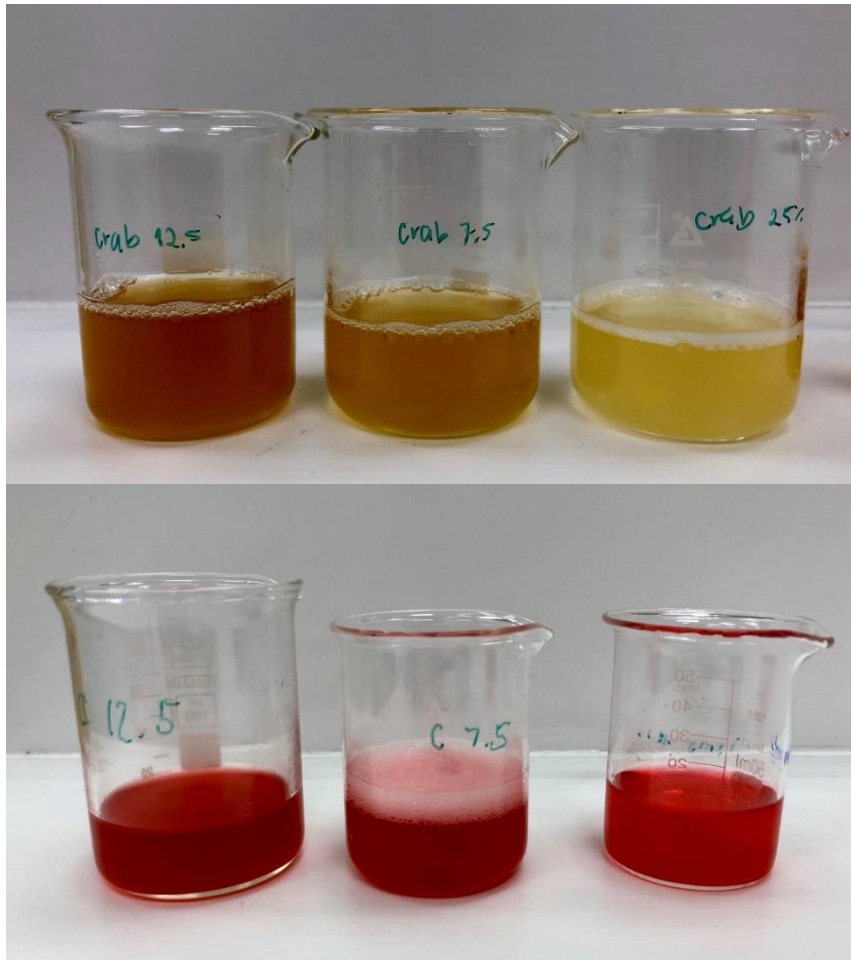
นำตัวอย่างเจลลี่ที่เตรียมได้ 2 ชนิดที่ผ่านการทดสอบขั้นต้น ซึ่งคัดเลือกจากการตรวจสอบคุณสมบัติขั้นต้นและรสชาติ ได้แก่ เจลลี่โคโตซานในน้ำแอปเปิลและในน้ำสตอว์เบอร์รี่มาตรวจสอบประสิทธิภาพในการจับกับไขมัน โดยไขมันที่ใช้ในการศึกษาคือน้ำมันถั่วเหลือง (ตรา อุ่น ของบริษัทน้ำมันพืชไทย จำกัดประเทศไทย) วิธีการคือทำการผสมน้ำมัน 10 กรัม กับเจลลี่โคโตซานปริมาตร 8 มิลลิลิตรให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer จากนั้นบ่มทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปปรับค่า pH ให้มีค่าประมาณ 3 บ่มทิ้งไว้ต่ออีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ความแรง 3,740 x g เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ของผสมหลังจากปั่นเหวี่ยงมีการแยกชั้นเป็นวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำดังภาพที่ 2 โดยวัฏภาคน้ำมันมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว มีสีขาวขุ่น รอยต่อระหว่างชั้นเป็นสีขาวนวลกว่าวัฏภาคน้ำมันด้านบน โดยพบลักษณะเดียวกันนี้ทั้งใน

กลุ่มของเจลลี่ไคโตซานที่มาจากเห็ดและที่มาจากปู และการแยกชั้นนี้ไม่ต่างกันในตัวอย่างเจลลี่ในน้ำ แอปเปิลและน้ำสตรอว์เบอร์รี่

ต่อจากนั้นนำชั้น supernatant ออกแล้วนำวัฏภาคน้ำด้านล่างไปสกัดต่อด้วย diethyl ether พบว่าระหว่างการสกัดของเหลวมีการแยกออกเป็น 2 ชั้นที่สามารถมองเห็นรอยต่อระหว่างชั้นได้ ชั้นด้านบนที่อยู่ใกล้บริเวณรอยต่อมีลักษณะเคลือบหนืดคล้ายน้ำมัน เมื่อทำการสกัดสารชั้นบนออกมาโดยวิธี double extraction สารชั้นบนที่สกัดได้มีลักษณะดังภาพที่ 3 เมื่อทิ้งไว้จนคลายความเย็นที่อุณหภูมิห้องสารมีลักษณะการไหลเหมือนน้ำ



ภาพที่ 2 ของผสมที่มีการแยกเป็น 2 เฟสหลังจากทำการปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 20 นาที เจลลี่ไคโตซานจากปูที่ความเข้มข้น 12.5% w/v ในน้ำแอปเปิล (ซ้าย) เจลลี่ไคโตซานจากปูที่ความเข้มข้น 12.5% w/v ในน้ำสตรอว์เบอร์รี่ (ขวา)



ภาพที่ 3 วัฏภาคของน้ำที่สกัดแยกได้โดยวิธี double extraction ด้วย diethyl ether เจลลี่โคโตซาน จากปุ๋ยในน้ำแอมเปิล (บน) เจลลี่โคโตซานจากปุ๋ยในน้ำสตรอร์เบอร์รี่ ที่ความเข้มข้น 12.5, 7.5 และ 5 % w/v ตามลำดับ (ล่าง)

หลังจากนั้นวางของเหลวสกัดทิ้งไว้จน diethyl ether ระเหยออกจนเกือบหมดแล้วนำสารไปให้ความร้อนต่อบนอ่างน้ำร้อนเพื่อระเหย diethyl ether ที่ยังหลงเหลือออก (รวมทั้งน้ำถ้ายังมีติดมา) ให้เหลือแต่น้ำมัน ต่อจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักของไขมันด้วยเครื่อง analytical balance ซึ่งน้ำหนักของ

น้ำมันที่หลงเหลืออยู่นี้จะบ่งบอกถึงความสามารถในการจับกับไขมันของเจลลี่โคโตซานและทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งทั้งนี้วิธีการที่กล่าวมาดัดแปลงมาจากวิธีของ Zhang(30)

## 5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลทั้งหมดจะแสดงอยู่ในรูป average  $\pm$ SD ความแตกต่างแต่ละกลุ่มพิจารณาโดยใช้การวิเคราะห์แบบ one-way ANOVA และ post-hoc analysis โดยใช้โปรแกรม SPSS ผลการวิเคราะห์จะยอมรับว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อค่า  $p$ -value $<$ 0.05



## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

#### 1. ผลการทดสอบความสามารถในการละลายของไคโตซาน

ผลการทดสอบความสามารถในการละลายของไคโตซานจากเห็ดและไคโตซานจากปูใน acetic acid ความเข้มข้น 2.5%v/v พบว่าไคโตซานจากปูตั้งแต่ความเข้มข้นที่ 5-25% w/v สามารถละลายได้หมดโดยไม่เกิดตะกอน แต่ไคโตซานจากเห็ดสามารถละลายได้สูงสุดที่ความเข้มข้น 15 % w/v ดังแสดงในภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 4 แสดงความสามารถในการละลายของไคโตซานจากปูที่ความเข้มข้น 10, 15, 20 และ 25% w/v ตามลำดับจากซ้ายไปขวาใน 2.5% v/v acetic acid



**ภาพที่ 5** แสดงความสามารถในการละลายของไคโตซานจากเห็ดที่ความเข้มข้น 10, 15, 20 และ 25% w/v ตามลำดับจากซ้ายไปขวาใน 2.5% v/v acetic acid

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า ไคโตซานจากทั้งเห็ดและปูสามารถละลายได้ในสารละลาย 2.5% v/v acetic acid ในน้ำ แต่ไคโตซานจากปูละลายได้ดีกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชนิดของไคโตซานจากแหล่งที่มาต่างก็มีค่าการละลายแตกต่างกัน ดังนั้นในการตั้งตำรับเจลลี่จึงเลือกทดลองที่ความเข้มข้นไคโตซานในช่วงระหว่าง 2.5-12.5 % w/v เพื่อให้เนื้อเจลลี่มีความใสและไม่หยาบจนเกินไป

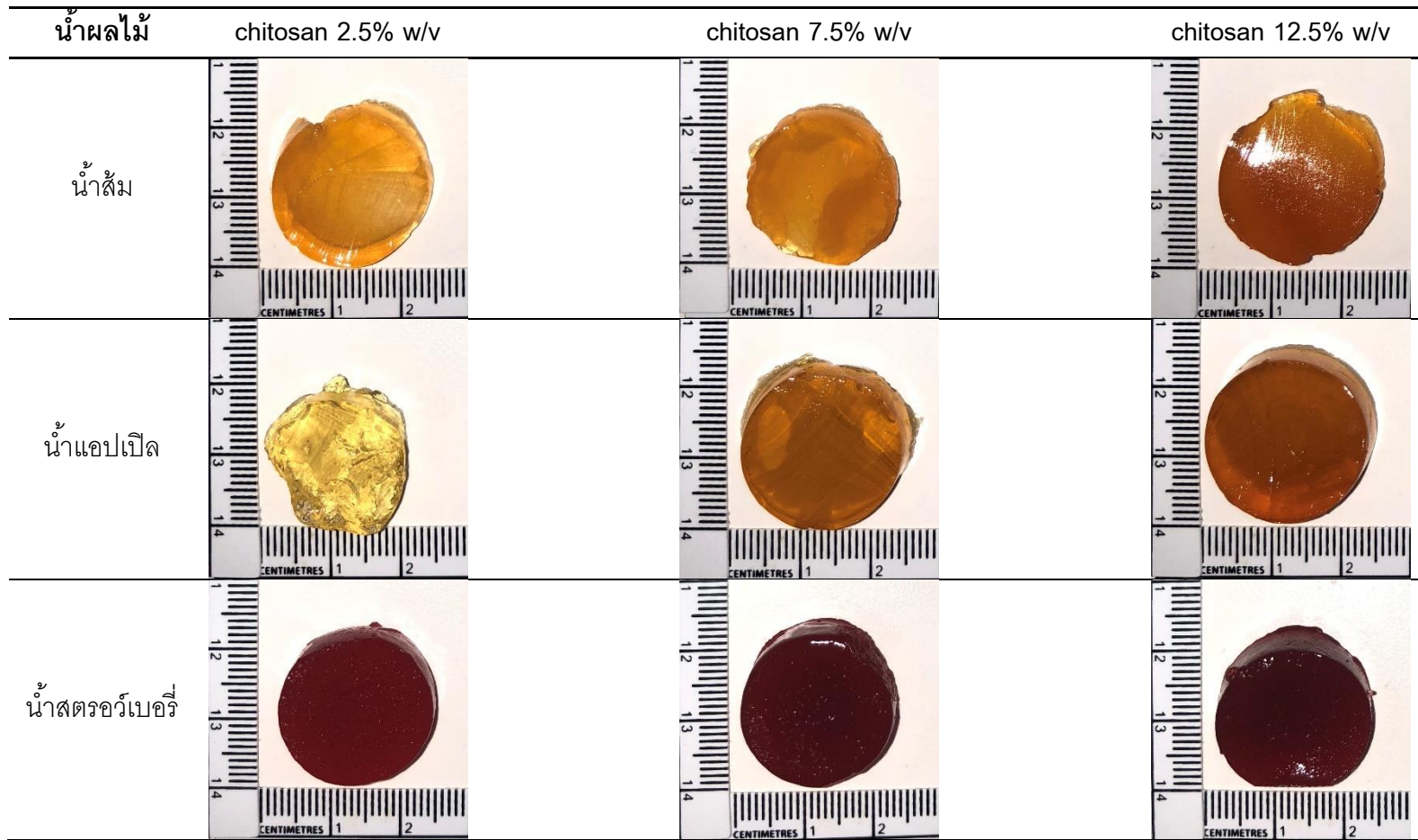
## 2. ผลการตั้งตำรับเจลลี่

จากการตั้งตำรับครั้งที่ 1 พบว่า สูตรตำรับไคโตซานที่ได้ไม่ก่อตัวเป็นเจลลี่ เนื่องจากปริมาณสารก่อเจลในตำรับน้อยเกินไป และเมื่อทำการชิมรสชาติของสารผสม (ชิมปริมาณเล็กน้อยแล้วบ้วน

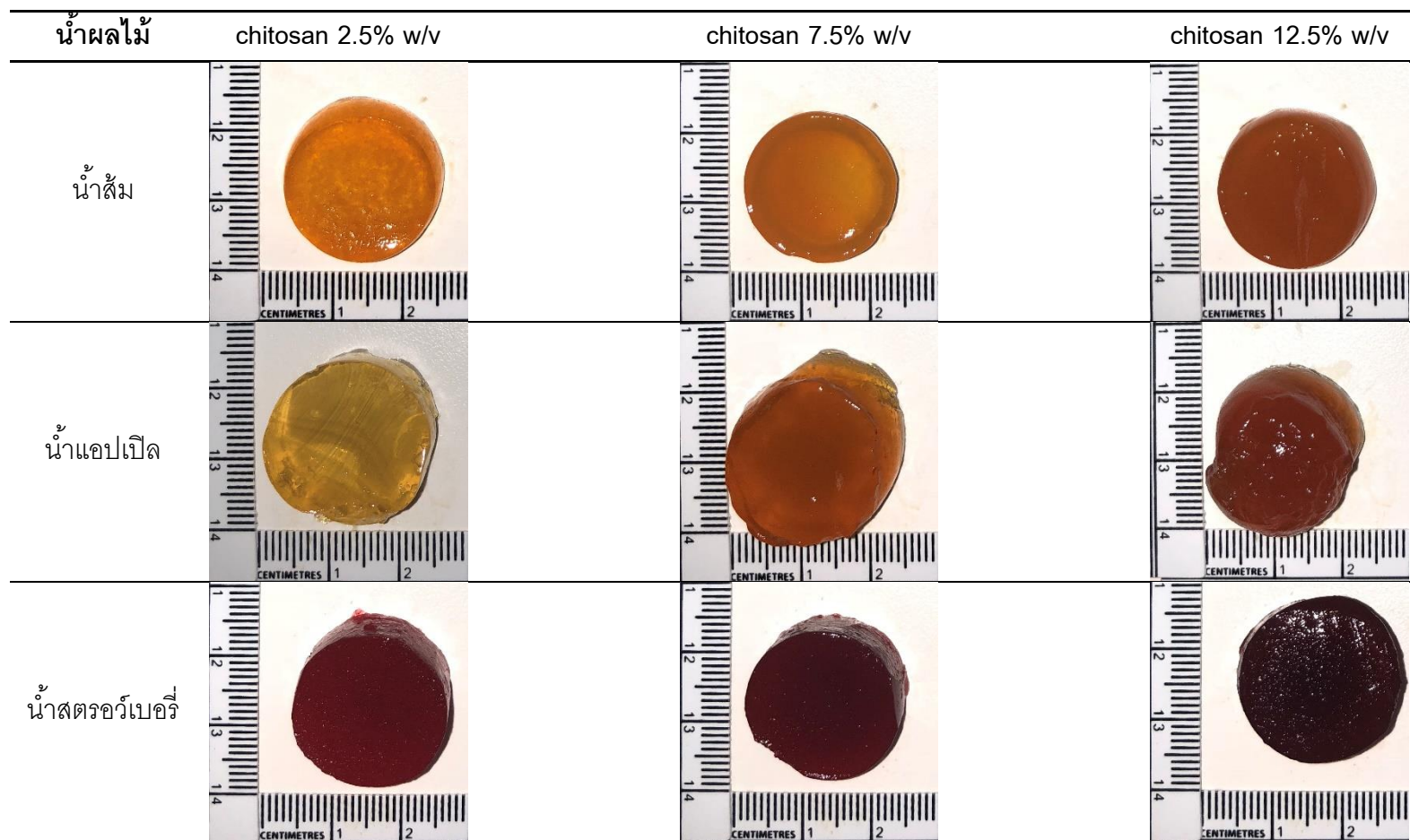
ทั้ง) พบว่าสูตรตำรับมีรสเปรี้ยวจาก acetic acid และน้ำส้ม มีรสขมของโคโคซานมีรสเค็มมากกว่ารสหวาน จึงควรปรับปรุงสูตรตำรับต่อไป

จากการตั้งตำรับครั้งที่ 2 เมื่อปรับเพิ่มปริมาณ gelatin A จาก 5% w/v เป็น 10% w/v และลดปริมาณเกลือให้น้อยลงกว่าสูตรตำรับที่ 1 พบว่าสูตรตำรับสามารถก่อรูปเป็นเจลลี่โคโคซานได้ดีขึ้น โดยเฉพาะเมื่อให้ความเย็น เจลลี่ที่ได้มีความคงตัวนานพอสมควรที่อุณหภูมิห้อง แต่อย่างไรก็ตาม หลังจากที่เจลลี่หลอมละลาย ของผสมที่ละลายนั้นสามารถกลับมาก่อรูปเป็นเจลลี่ได้อีกครั้งเมื่อได้รับความเย็น รสชาติของเจลลี่ตำรับนี้ดีกว่าตำรับแรก กล่าวคือสูตรตำรับมีความเค็มลดลง และมีรสขมของโคโคซานลดลง ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากพื้นที่ผิวที่เจลลี่สัมผัสกับลิ้นลดลง (เปรียบเทียบระหว่างสูตรตำรับแรกที่เป็นของเหลวกับเจลลี่ที่เป็นของแข็งในตำรับที่ 2) จึงรับรู้รสชาติได้ลดลง แต่ผู้วิจัยมีความเห็นว่าสูตรตำรับยังต้องได้รับการปรับปรุง ถึงแม้ว่าสูตรตำรับที่ 2 นี้จะมีรสหวานมากขึ้นแล้วก็ตาม เนื่องจากเจลลี่ยังให้รสเปรี้ยวคล้ายรสของน้ำส้มสายชูเจือจาง

จากการตั้งตำรับครั้งที่ 3 โดยใช้น้ำผลไม้แทนสัดส่วนของน้ำเปล่า เพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องรสชาติ ร่วมกับการเพิ่มสารแต่งกลิ่นและสารแต่งสีลงในตำรับเพื่อกลบรสและกลิ่นของ acetic acid และโคโคซานให้ดีขึ้น พบว่าเจลลี่จากตำรับที่ 3 นี้ แทบจะไม่มีกลิ่นของ acetic acid ทั้งจากการดมกลิ่นและการชิมรส นอกจากนี้ยังกลบรสขมของโคโคซานลงได้ และเจลลี่โคโคซานมีลักษณะภายนอกที่ยอมรับได้ และมีสีสนที่น่านใจมากกว่า Jele beautie ซึ่งเจลลี่มีแค่ความใสและมีเนื้อเจลลี่ที่เหลวและไม่คงตัว ดังแสดงในภาพที่ 6, 7 และ 8



ภาพที่ 6 เจลลี่ไคโตซานจากปูที่เตรียมได้จากสูตรตำรับที่ 3 โดยมีไคโตซานที่ความเข้มข้น 2.5, 7.5 และ 12.5% w/v ในน้ำผลไม้ 3 ชนิด ได้แก่ น้ำส้ม น้ำแอปเปิล และน้ำสตอร์เบอร์รี่



ภาพที่ 7 เจลลี่ไคโตซานจากเห็ดที่เตรียมได้จากสูตรตำรับที่ 3 โดยมีไคโตซานที่ความเข้มข้น 2.5, 7.5 และ 12.5% w/v ในน้ำผลไม้ 3 ชนิด ได้แก่ น้ำส้ม น้ำแอปเปิล และน้ำสตอร์เบอร์รี่



ภาพที่ 8 แสดงลักษณะของเนื้อเจลลี่ที่ห่อ Jele beautie (ซ้าย) และรูปผลิตภัณฑ์ (ขวา)

### 3. ผลการประเมินคุณภาพของเจลลี่

#### 3.1 ผลการประเมินเนื้อสัมผัส (consistency)

ผลการประเมินเนื้อสัมผัส พบว่าเจลลี่โคโตซานทุกตำรับมีลักษณะคล้ายกันมาก ดังแสดงในตารางที่ 4 กล่าวคือเนื้อเจลลี่มีความยืดหยุ่นเมื่อกด และหลังจากการกดเจลลี่สามารถคืนสู่สภาพเดิมได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโคโตซานที่ความเข้มข้นระหว่าง 2.5 -12.5 %w/v ไม่ได้ก่อให้เกิดปัญหาต่อ elasticity ของเจลาติน

**ตารางที่ 4** คะแนนการประเมินตำรับในด้านเนื้อสัมผัส

% w/v ของ chitosan	น้ำส้ม		น้ำแอปเปิล		น้ำสตรอร์เบอรี่	
	ปู	เห็ด	ปู	เห็ด	ปู	เห็ด
2.5	3	3	3	3	3	3
7.5	3	3	3	3	3	3
12.5	3	3	3	3	3	3

หมายเหตุ 1 คะแนน = เจลลี่มีความเหลว ไม่สามารถคงตัวได้เมื่อออกจากแม่พิมพ์

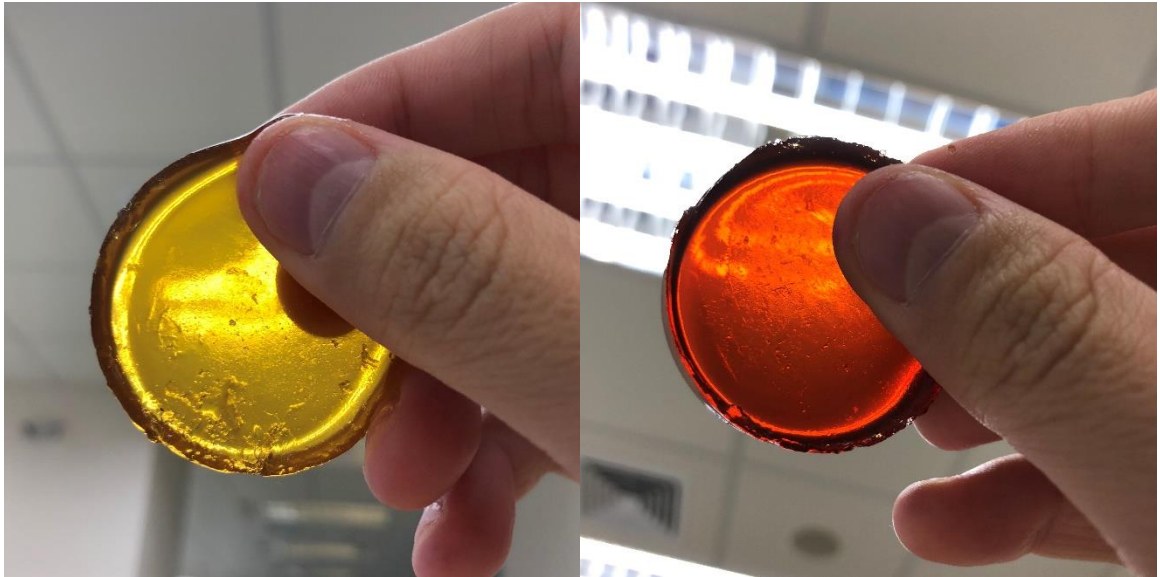
2 คะแนน = เจลลี่มีความยืดหยุ่น เมื่อกัด เนื้อเจลลี่ไม่กลับคืนสู่สภาพเดิม

3 คะแนน = เจลลี่มีความยืดหยุ่น เมื่อกัด เนื้อเจลลี่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้

4 คะแนน = เจลลี่มีความแข็ง ไม่ยืดหยุ่น ไม่สามารถกัดเนื้อเจลลี่ได้

**3.2 ผลการประเมินความใส (clarity)**

การศึกษาความใสของเจลลี่โคโคซานชั้นแรกสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าน้ำผลไม้ไม่มีผลต่อความใสของเนื้อเจลลี่ โดยน้ำส้มจะมีความใสมากที่สุด รองลงมาคือน้ำแอปเปิล และน้ำสตรอร์เบอรี่ให้ความขุ่นสูงที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 9



**ภาพที่ 9** แสดงการทดสอบการยอมให้แสงผ่านของเจลลี่ไคโตซานจากปูที่ความเข้มข้น 7.5% w/v ในน้ำแอปเปิล (ซ้าย) และเจลลี่ไคโตซานจากปูที่ความเข้มข้น 7.5% w/v ในน้ำสตอร์วเบอร์รี่ (ขวา)

เมื่อนำเจลลี่ไคโตซานสูตรตำรับต่างๆ มาประเมินความใสและความเป็นเนื้อเดียวกัน พบว่าเนื้อของเจลลี่ในสูตรตำรับที่มีความเข้มข้นของไคโตซานที่ 2.5% w/v จะมีความโปร่งใส มองเห็นภาพผ่านเนื้อเจลลี่ได้อย่างชัดเจน โดยที่ไคโตซานจากทั้งที่มาจากเห็ดและที่มาจากปูให้ผลเหมือนกัน เมื่อเจลลี่ที่มีไคโตซานความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น ความใสของเนื้อเจลลี่จะลดลง ดังแสดงผลในตาราง 5 และเมื่อพิจารณาในภาพรวมจะเห็นได้ว่า ไคโตซานสองชนิดนี้มีผลต่อความใสของเจลลี่ที่ไม่แตกต่างกัน



**ตารางที่ 5**คะแนนการประเมินความใสของตำรับเจลลี่ไคโตซาน

% w/v ของ	น้ำส้ม		น้ำแอปเปิล		น้ำสตรอว์เบอร์รี่	
	ปู	เห็ด	ปู	เห็ด	ปู	เห็ด
chitosan						
2.5	3	3	3	3	3	3
7.5	3	3	3	2	2	2
12.5	1	1	2	1	1	1

หมายเหตุ 1 คะแนน = เนื้อเจลลี่ขุ่น ไม่โปร่งใส

2 คะแนน = เนื้อเจลลี่มีความโปร่งใส มองเห็นภาพผ่านเนื้อเจลลี่ได้ แต่ไม่ชัดเจน

3 คะแนน = เนื้อเจลลี่มีความโปร่งใส มองเห็นภาพผ่านเนื้อเจลลี่ได้อย่างชัดเจน

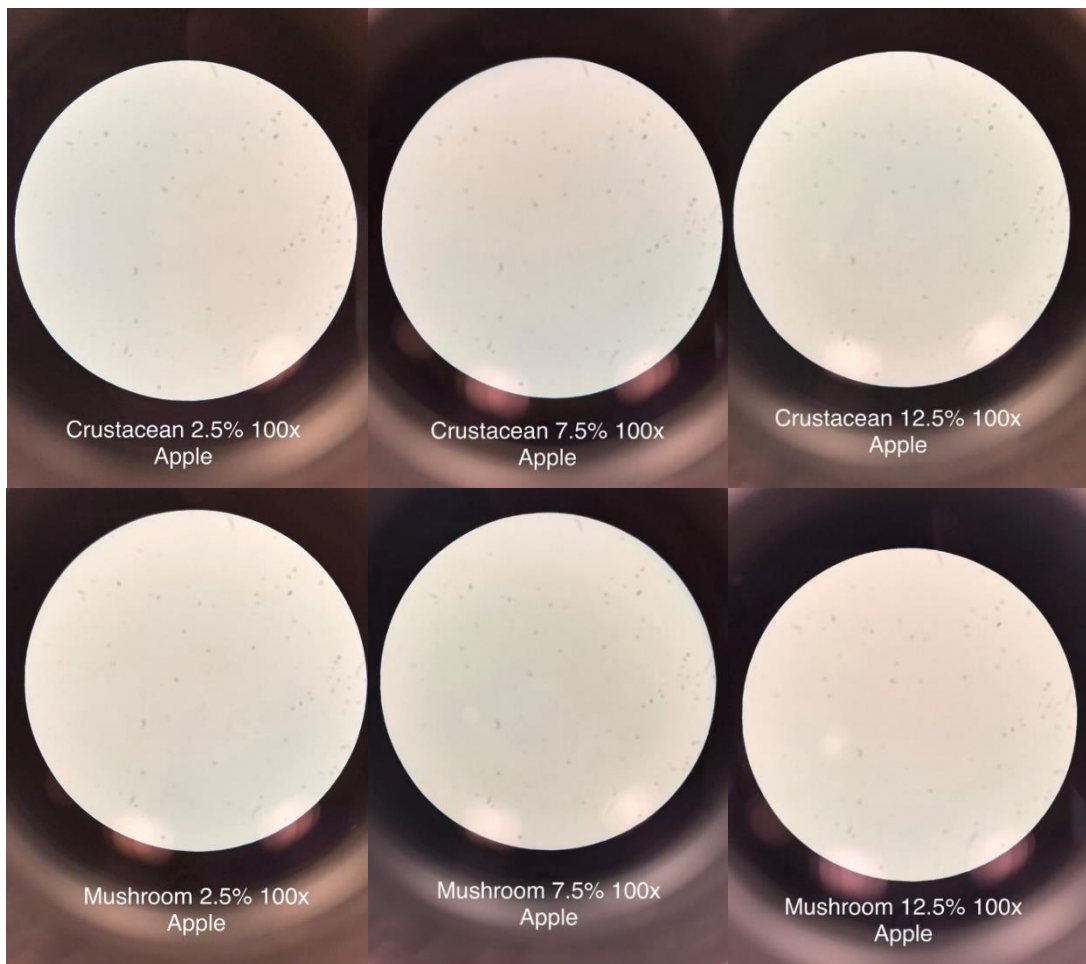
**3.3 ผลการประเมินความหยاب**

จากการประเมินความหยابด้วยการหั่นตัวอย่างด้วยใบมีด ศึกษาความหยابของพื้นที่ผิวบริเวณรอยผ่าด้วยการลูบด้วยนิ้วมือร่วมกับการสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าเนื้อเจลลี่ไคโตซานทั้งหมดมีความเรียบเสมอกันตลอดรอยตัด สัมผัสไม่ได้ถึงความขรุขระ ดังแสดงผลในตารางที่ 6 เจลลี่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและมีความใสดังแสดงในรูปที่ 10

**ตารางที่ 6**คะแนนการประเมินตำรับในด้านความหยابของเจลลี่

% w/v ของ	น้ำส้ม		น้ำแอปเปิล		น้ำสตรอว์เบอร์รี่	
	ปู	เห็ด	ปู	เห็ด	ปู	เห็ด
chitosan						
2.5	3	3	3	3	3	3
7.5	3	3	3	3	3	3
12.5	3	3	3	3	3	3

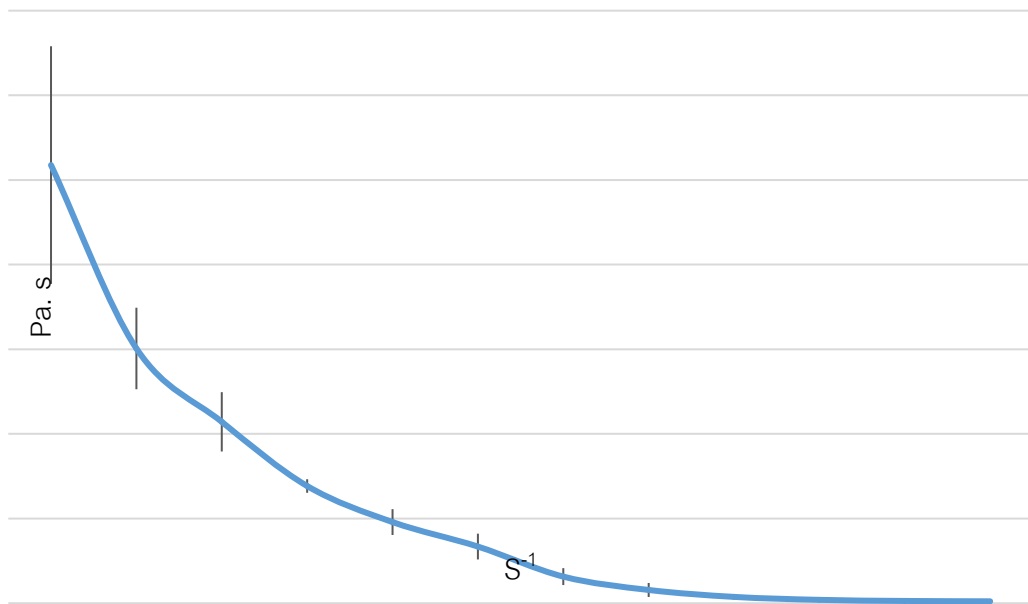
- หมายเหตุ 1 คะแนน = เนื้อเจลลี่ไม่เรียบเสมอกัน มีรอยขรุขระจากอนุภาค หรือร่องหลุมฟองอากาศ ที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่าจำนวนมาก
- 2 คะแนน = เนื้อเจลลี่ไม่เรียบเสมอกัน มีรอยขรุขระจากอนุภาค หรือร่องหลุมฟองอากาศ ที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่า
- 3 คะแนน = เนื้อเจลลี่เรียบเสมอกันตลอดรอยตัด ไม่สัมผัสได้ถึงความขรุขระ



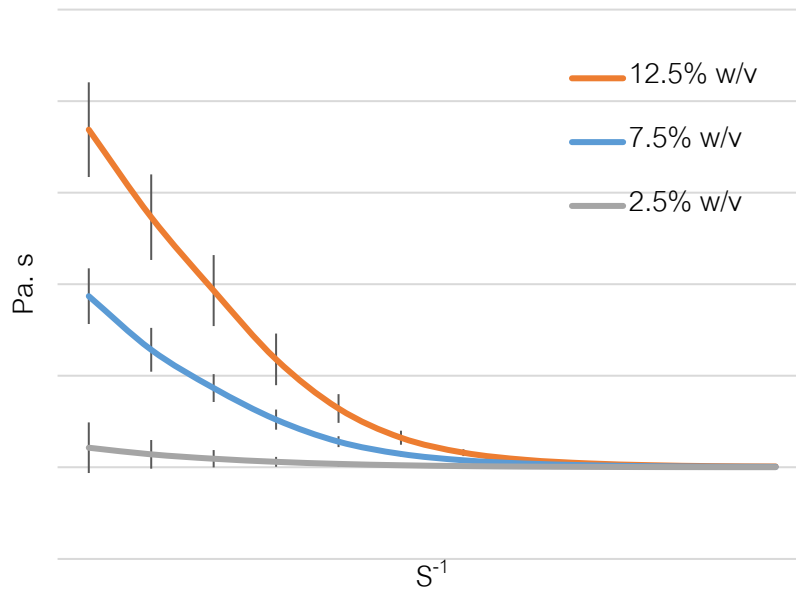
ภาพที่10 ตัวอย่างของเจลลี่ไคโตซานเมื่อส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100X โดยเปรียบเทียบระหว่างเจลลี่ไคโตซานจากปูและเจลลี่ไคโตซานจากเห็ด ในน้ำแอปเปิล

### 3.3 ผลการวัดค่าความหนืดของเจลลี่โคโตซาน (viscosity)

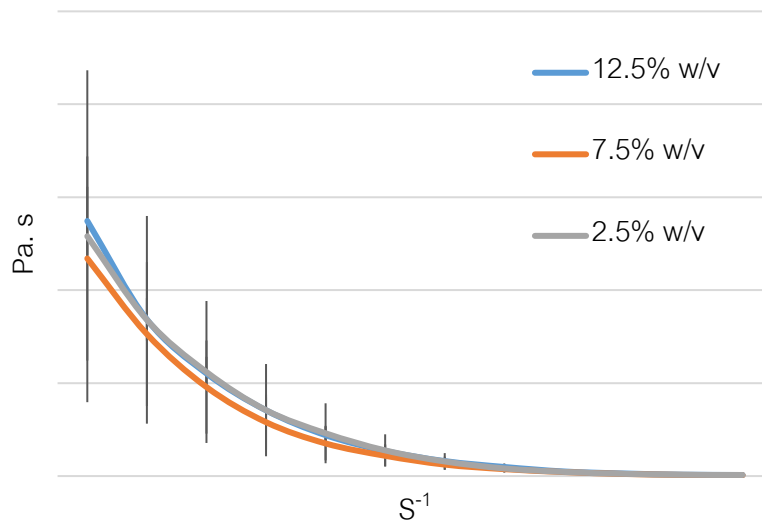
จากการวัดค่าความหนืดของเจลลี่โคโตซานด้วยเครื่อง rheometer ที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่า เจลลี่ Jele beutie (ผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด) มีความหนืดต่ำที่สุด เจลลี่ของโคโตซานที่ได้มาจากเห็ดมีแนวโน้มว่าความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของโคโตซานเพิ่มขึ้น ส่วนเจลลี่โคโตซานที่ได้มาจากปูที่ความเข้มข้น 2.5 - 12.5 % w/v มีความหนืดไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม เจลลี่จากทุกสูตรตำรับมีลักษณะการไหลแบบ pseudoplastic<sup>34</sup> ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีเพราะทำให้เคี้ยวได้ง่าย ไม่ทำให้ยิ่งเคี้ยวยิ่งติดฟัน



ภาพที่ 11 แสดงค่าความหนืดของเจลลี่ ยี่ห้อ Jele beutie ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 12 แสดงค่าความหนืดของเจลลี่ไคโตซานจากเห็ดในน้ำแอมป์เปิด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 13 แสดงค่าความหนืดของเจลลี่ไคโตซานจากปุ้ในน้ำสตรอร์เบอริ์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 7 แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่โคโตซานจากเห็ด 2.5% w/v ในน้ำส้ม

shear rate(S <sup>-1</sup> )					shear viscosity(Pa. s)				
n=1	n=2	n=3	mean	SD	n=1	n=2	n=3	mean	SD
0.1	0.09995	0.1001	0.1000	7.6376x10 <sup>-5</sup>	0.7284	215.6	84.74	100.3561	108.2836
0.1778	0.1778	0.1778	0.1778	3.3994x10 <sup>-17</sup>	0.5524	125.8	54.76	60.3708	62.8120
0.3162	0.3163	0.3162	0.3162	5.7735x10 <sup>-5</sup>	0.4575	75.71	36.44	37.5358	37.6382
0.5624	0.5624	0.5624	0.5624	0	0.4676	42.72	23.38	22.1892	21.1514
1	1	1	1.0000	0	0.4465	23.51	14.26	12.7388	11.6068
1.778	1.778	1.778	1.7780	2.7195x10 <sup>-16</sup>	0.4222	13.04	8.282	7.2481	6.3721
3.162	3.162	3.162	3.1620	5.4390x10 <sup>-16</sup>	0.3953	7.418	4.863	4.2254	3.5545
5.624	5.624	5.624	5.6240	0	0.3815	4.331	2.919	2.5438	2.0013
10	10	10	10.0000	0	0.3661	2.592	1.804	1.5874	1.1287
17.78	17.78	17.78	17.7800	0	0.3449	1.588	1.154	1.0290	0.6309
31.62	31.62	31.62	31.6200	0	0.305	1.005	0.7709	0.6936	0.3563
40	40	40	40.0000	0	0.2897	0.814	0.6499	0.5845	0.2682

ตารางที่ 8 แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่โคโตซานจากเห็ด 7.5% w/v ในน้ำส้ม

shear rate(S <sup>-1</sup> )					shear viscosity(Pa. s)				
n=1	n=2	n=3	mean	SD	n=1	n=2	n=3	mean	SD
0.1	0.1	0.1	0.1000	1.6997x10 <sup>-17</sup>	3.866	268	73.91	115.2587	136.8356
0.1778	0.1778	0.1778	0.1778	3.3994x10 <sup>-17</sup>	4.162	166.4	51.52	74.0273	83.4280
0.3162	0.3162	0.3163	0.3162	5.7735x10 <sup>-5</sup>	4.187	100.8	33.91	46.2990	49.4837
0.5624	0.5624	0.5624	0.5624	0	4.077	60.44	21.38	28.6323	28.8729
1	1	1	1.0000	0	3.676	34.53	12.74	16.9820	15.8584
1.778	1.778	1.778	1.7780	2.7195x10 <sup>-16</sup>	3.053	19.02	7.376	9.8163	8.2585
3.162	3.162	3.162	3.1620	5.4390x10 <sup>-16</sup>	2.303	10.39	4.324	5.6723	4.2087
5.624	5.624	5.624	5.6240	0	1.645	5.794	2.603	3.3473	2.1723
10	10	10	10.0000	0	1.161	3.343	1.615	2.0397	1.1513
17.78	17.78	17.78	17.7800	0	0.8306	1.977	1.04	1.2825	0.6105
31.62	31.62	31.62	31.6200	0	0.6114	1.199	0.7036	0.8380	0.3160
40	40	40	40.0000	0	0.5443	0.9397	0.5923	0.6921	0.2158

ตารางที่ 9 แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่โคโตซานจากเห็ด 12.5% w/v ในน้ำส้ม

shear rate(S <sup>-1</sup> )					shear viscosity(Pa. s)				
n=1	n=2	n=3	mean	SD	n=1	n=2	n=3	mean	SD
0.1	0.1	0.1	0.1000	1.6997x10 <sup>-17</sup>	140.4	13.86	150.3	101.5200	76.0770
0.1778	0.1778	0.1778	0.1778	3.3994x10 <sup>-17</sup>	97.96	13.63	92.97	68.1867	47.3133
0.3163	0.3162	0.3162	0.3162	5.7735x10 <sup>-5</sup>	63.26	10.99	61.33	45.1933	29.6367
0.5624	0.5624	0.5624	0.5624	0	39.68	8.144	36.78	28.2013	17.4306
1	1	1	1.0000	0	23.54	5.763	21.11	16.8043	9.6390
1.778	1.778	1.778	1.7780	2.7195x10 <sup>-16</sup>	13.51	4.026	11.97	9.8353	5.0896
3.162	3.162	3.162	3.1620	5.4390x10 <sup>-16</sup>	7.632	2.578	6.794	5.6680	2.7086
5.624	5.624	5.624	5.6240	0	4.311	1.642	3.911	3.2880	1.4394
10	10	10	10.0000	0	2.487	1.075	2.326	1.9627	0.7729
17.78	17.78	17.78	17.7800	0	1.488	0.7425	1.434	1.2215	0.4157
31.62	31.62	31.62	31.6200	0	0.9342	0.544	0.9196	0.7993	0.2212
40	40	40	40.0000	0	0.7525	0.4858	0.7487	0.6623	0.1529

ตารางที่ 10 แสดงความหนืด (viscosity) ของตัวรับเจลลี่โคโตซานจากเห็ด 2.5% w/v ในน้ำสตอร์วเบอร์รี่

shear rate(S <sup>-1</sup> )					shear viscosity(Pa. s)				
n=1	n=2	n=3	mean	SD	n=1	n=2	n=3	mean	SD
0.1	0.09998	0.09996	0.1000	2x10 <sup>-5</sup>	11.52	283	766.3	353.6067	382.3116
0.1778	0.1778	0.1779	0.1778	5.7735x10 <sup>-5</sup>	10.44	167.3	503.3	227.0133	251.7976
0.3162	0.3163	0.3162	0.3162	5.7735x10 <sup>-5</sup>	8.943	99.47	342.4	150.2710	172.4353
0.5624	0.5624	0.5624	0.5624	0	7.731	61.21	225.7	98.2137	113.5983
1	1	1	1.0000	0	6.185	39.93	128.4	58.1717	63.1165
1.778	1.778	1.778	1.7780	2.7195x10 <sup>-16</sup>	4.442	26.44	64.56	31.8140	30.4172
3.162	3.162	3.162	3.1620	5.4390x10 <sup>-16</sup>	3.089	18.56	33.27	18.3063	15.0921
5.624	5.624	5.624	5.6240	0	2.085	11	17.61	10.2317	7.7910
10	10	10	10.0000	0	1.379	5.952	9.59	5.6403	4.1144
17.78	17.78	17.78	17.7800	0	0.9218	3.181	5.327	3.1433	2.2028
31.62	31.62	31.62	31.6200	0	0.6489	1.833	3.048	1.8433	1.1996
40	40	40	40.0000	0	0.5685	1.417	2.317	1.4342	0.8744



ตารางที่ 11 แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่โคโตซานจากเห็ด 7.5% w/v ในน้ำสตอร์วเบอร์รี่

shear rate(S <sup>-1</sup> )					shear viscosity(Pa. s)				
n=1	n=2	n=3	mean	SD	n=1	n=2	n=3	mean	SD
0.1	0.1	0.09996	0.1000	2.3094x10 <sup>-5</sup>	1.972	2.952	565.3	190.0747	324.9550
0.1778	0.1778	0.1779	0.1778	5.7735x10 <sup>-5</sup>	2.204	2.953	362.7	122.6190	207.9166
0.3162	0.3163	0.3163	0.3163	5.7735x10 <sup>-5</sup>	2.736	2.841	233.2	79.5923	133.0282
0.5624	0.5624	0.5623	0.5624	5.7735x10 <sup>-5</sup>	3.586	2.322	139.1	48.3360	78.6065
1	1	1	1.0000	0	3.75	1.952	82.43	29.3773	45.9538
1.778	1.778	1.778	1.7780	2.7195x10 <sup>-16</sup>	3.195	1.678	50.07	18.3143	27.5117
3.162	3.163	3.162	3.1623	0.0006	2.345	1.293	27.28	10.3060	14.7093
5.624	5.624	5.624	5.6240	0	1.652	0.9349	14.88	5.8223	7.8524
10	10	10	10.0000	0	1.162	0.6515	7.798	3.2038	3.9868
17.78	17.78	17.78	17.7800	0	0.8305	0.456	4.294	1.8602	2.1161
31.62	31.62	31.62	31.6200	0	0.6137	0.3327	2.487	1.1445	1.1711
40	40	40	40.0000	0	0.547	0.2972	1.903	0.9157	0.8641

ตารางที่ 12 แสดงความหนืด (viscosity) ของตัวรับเจลลี่โคโตซานจากเห็ด 12.5% w/v ในน้ำสตอร์จเบอร์รี่

shear rate(S <sup>-1</sup> )					shear viscosity(Pa. s)				
n=1	n=2	n=3	mean	SD	n=1	n=2	n=3	mean	SD
0.1	0.1	0.09999	0.1000	5.7735x10 <sup>-6</sup>	3.669	164.5	973.1	380.4230	519.5346
0.1778	0.1778	0.1778	0.1778	3.3994x10 <sup>-17</sup>	4.306	114.9	612.3	243.8353	323.8555
0.3162	0.3162	0.3162	0.3162	0	4.711	73.06	395.4	157.7237	208.6514
0.5624	0.5624	0.5624	0.5624	0	4.494	45.59	276.1	108.7280	146.3976
1	1	1	1.0000	0	4.068	27.38	178.5	69.9827	94.6988
1.778	1.778	1.778	1.7780	2.7195x10 <sup>-16</sup>	3.023	16.29	102.8	40.7043	54.1840
3.162	3.162	3.162	3.1620	5.4390x10 <sup>-16</sup>	2.127	9.779	53.23	21.7120	27.5622
5.624	5.624	5.624	5.6240	0	1.444	5.826	26.75	11.3400	13.5241
10	10	10	10.0000	0	0.9909	3.511	13.84	6.1140	6.8086
17.78	17.78	17.78	17.7800	0	0.7012	2.137	7.505	3.4477	3.5863
31.62	31.62	31.62	31.6200	0	0.5157	1.348	4.172	2.0119	1.9164
40	40	40	40.0000	0	0.4606	1.09	3.123	1.5579	1.3915

ตารางที่ 13 แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่โคโตซานจากปุ๋ย 2.5% w/v ในน้ำส้ม

shear rate( $S^{-1}$ )					shear viscosity(Pa. s)				
n=1	n=2	n=3	mean	SD	n=1	n=2	n=3	mean	SD
0.09998	0.1	0.09999	0.1000	$1 \times 10^{-5}$	411.9	439.9	22.56	291.4533	233.2889
0.1778	0.1778	0.1778	0.1778	$3.3994 \times 10^{-17}$	273.3	247.8	20.16	180.4200	139.3736
0.3162	0.3162	0.3162	0.3162	0	192.6	152.3	15.61	120.1700	92.7665
0.5624	0.5624	0.5624	0.5624	0	117.3	85.38	11.09	71.2567	54.4953
1	1	1	1.0000	0	66.08	49.05	7.598	40.9093	30.0789
1.778	1.778	1.778	1.7780	$2.7195 \times 10^{-16}$	36.35	27.51	5.233	23.0310	16.0347
3.163	3.162	3.162	3.1623	0.0006	20.17	15.79	3.434	13.1313	8.6790
5.624	5.624	5.624	5.6240	0	11.24	9.012	2.158	7.4700	4.7333
10	10	10	10.0000	0	6.383	5.104	1.337	4.2747	2.6232
17.78	17.78	17.78	17.7800	0	3.712	2.945	0.8609	2.5060	1.4754
31.62	31.62	31.62	31.6200	0	2.195	1.742	0.5935	1.5102	0.8255
40	40	40	40.0000	0	1.692	1.353	0.5194	1.1881	0.6034

ตารางที่ 14 แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่โคโตซานจากปุ๋ย 7.5% w/v ในน้ำส้ม

shear rate(S <sup>-1</sup> )					shear viscosity(Pa. s)				
n=1	n=2	n=3	mean	SD	n=1	n=2	n=3	mean	SD
0.1	0.1	0.1	0.1000	1.7x10 <sup>-17</sup>	701.9	163.5	274.9	380.1000	284.1987
0.1778	0.1778	0.1779	0.1778	5.7735x10 <sup>-5</sup>	460.8	121.2	178.4	253.4667	181.8194
0.3162	0.3162	0.3162	0.3162	0	314.4	86.85	106.3	169.1833	126.1368
0.5624	0.5623	0.5624	0.5624	5.7735x10 <sup>-5</sup>	200.2	46.2	64.94	103.7800	84.0262
1	1	1	1.0000	0	112.1	31.29	40.73	61.3733	44.1834
1.778	1.778	1.778	1.7780	2.7195x10 <sup>-16</sup>	56.39	21.06	27.55	35.0000	18.8064
3.162	3.162	3.163	3.1623	0.0006	28.78	14.6	18.04	20.4733	7.3965
5.624	5.624	5.624	5.6240	0	14.94	8.715	10.87	11.5083	3.1612
10	10	10	10.0000	0	8.037	4.924	5.899	6.2867	1.5923
17.78	17.78	17.78	17.7800	0	4.54	2.752	3.229	3.5070	0.9259
31.62	31.62	31.62	31.6200	0	2.631	1.609	1.832	2.0240	0.5374
40	40	40	40.0000	0	1.993	1.248	1.392	1.5443	0.3952

ตารางที่ 15 แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่โคโตซานจากปุ๋ย 12.5% w/v ในน้ำส้ม

shear rate(S <sup>-1</sup> )					shear viscosity(Pa. s)				
n=1	n=2	n=3	mean	SD	n=1	n=2	n=3	mean	SD
0.1	0.1	0.1	0.1000	1.7x10 <sup>-17</sup>	8.926	11.21	67.99	29.3753	33.4608
0.1778	0.1778	0.1778	0.1778	3.3994x10 <sup>-17</sup>	9.331	11.23	54.63	25.0637	25.6228
0.3163	0.3163	0.3162	0.3163	5.7735x10 <sup>-5</sup>	9.821	10.69	37.42	19.3103	15.6894
0.5623	0.5624	0.5624	0.5624	5.7735x10 <sup>-5</sup>	8.91	10.14	24.74	14.5967	8.8059
1	1	1	1.0000	0	7.019	9.385	16.47	10.9580	4.9179
1.778	1.778	1.778	1.7780	2.7195x10 <sup>-16</sup>	4.928	6.924	10.42	7.4240	2.7799
3.162	3.162	3.162	3.1620	5.4390x10 <sup>-16</sup>	3.239	4.999	7.083	5.1070	1.9243
5.624	5.624	5.624	5.6240	0	2.139	3.294	4.663	3.3653	1.2635
10	10	10	10.0000	0	1.424	2.07	2.852	2.1153	0.7151
17.78	17.78	17.78	17.7800	0	0.983	1.333	1.771	1.3623	0.3948
31.62	31.62	31.62	31.6200	0	0.7032	0.898	1.146	0.9157	0.2219
40	40	40	40.0000	0	0.623	0.7656	0.9417	0.7768	0.1596

ตารางที่ 16 แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่โคโตซานจากปุ๋ย 2.5% w/v ในน้ำแอปเปิล

shear rate(S <sup>-1</sup> )					shear viscosity(Pa. s)				
n=1	n=2	n=3	mean	SD	n=1	n=2	n=3	mean	SD
0.09998	0.1	0.09993	0.1000	3.6055x10 <sup>-5</sup>	189	513.1	143.5	281.8667	201.5421
0.1778	0.1778	0.1778	0.1778	3.3993x10 <sup>-17</sup>	121.5	334.9	90.13	182.1767	133.1891
0.3162	0.3162	0.3162	0.3162	0	75.69	222.7	54.53	117.6400	91.5977
0.5624	0.5624	0.5624	0.5624	0	45.21	130.3	31.93	69.1467	53.3750
1	1	1	1.0000	0	26.75	73.09	18.29	39.3767	29.5014
1.778	1.778	1.778	1.7780	2.7194x10 <sup>-16</sup>	16.09	40.13	10.75	22.3233	15.6505
3.162	3.162	3.162	3.1620	5.4389x10 <sup>-16</sup>	9.642	21.88	6.225	12.5823	8.2313
5.624	5.624	5.624	5.6240	0	5.708	11.88	3.712	7.1000	4.2582
10	10	10	10.0000	0	3.375	6.562	2.199	4.0453	2.2574
17.78	17.78	17.78	17.7800	0	2.027	3.746	1.36	2.3777	1.2310
31.62	31.62	31.62	31.6200	0	1.241	2.181	0.8762	1.4327	0.6732
40	40	40	40.0000	0	0.9855	1.676	0.7037	1.1217	0.5003

ตารางที่ 17 แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่โคโตซานจากปุ๋ย 7.5% w/v ในน้ำแอปเปิล

shear rate(S <sup>-1</sup> )					shear viscosity(Pa. s)				
n=1	n=2	n=3	mean	SD	n=1	n=2	n=3	mean	SD
0.1	0.1	0.09996	0.1000	2.3094x10 <sup>-5</sup>	653.2	857.4	227.8	579.4667	321.2110
0.1778	0.1779	0.1778	0.1778	5.7735x10 <sup>-5</sup>	427.5	549.6	137.8	371.6333	211.5080
0.3162	0.3162	0.3163	0.3162	5.7735x10 <sup>-5</sup>	276.8	353.4	89.13	239.7767	135.9695
0.5624	0.5624	0.5624	0.5624	0	155.7	229.7	52.13	145.8433	89.1944
1	1	1	1.0000	0	83.34	140	29.34	84.2267	55.3353
1.778	1.778	1.778	1.7780	2.7195x10 <sup>-16</sup>	44.97	79.05	16.6	46.8733	31.2685
3.163	3.162	3.162	3.1623	0.0006	23.93	41.62	9.524	25.0247	16.0760
5.624	5.624	5.624	5.6240	0	13.05	21.35	5.63	13.3433	7.8641
10	10	10	10.0000	0	7.31	11.26	3.393	7.3210	3.9335
17.78	17.78	17.78	17.7800	0	4.168	6.236	2.067	4.1570	2.0845
31.62	31.62	31.62	31.6200	0	2.439	3.563	1.289	2.4303	1.1370
40	40	40	40.0000	0	1.859	2.702	1.033	1.8647	0.8345

ตารางที่ 18 แสดงความหนืด (viscosity) ของตำรับเจลลี่โคโตซานจากปุ๋ย 12.5% w/v ในน้ำแอปเปิล

shear rate(S <sup>-1</sup> )					shear viscosity(Pa. s)				
n=1	n=2	n=3	mean	SD	n=1	n=2	n=3	mean	SD
0.09998	0.09998	0.09998	0.1000	0	230.8	264.4	240.9	245.3667	17.2396
0.1778	0.1778	0.1779	0.1778	5.7735x10 <sup>-5</sup>	138.4	147.8	161.2	149.1333	11.4583
0.3162	0.3162	0.3163	0.3162	5.7735x10 <sup>-5</sup>	89.82	91.77	100.5	94.0300	5.6874
0.5624	0.5624	0.5624	0.5624	0	52.95	51.51	55.7	53.3867	2.1289
1	1	1	1.0000	0	30.02	28.01	30.57	29.5333	1.3476
1.778	1.778	1.778	1.7780	2.7195x10 <sup>-16</sup>	17	15.54	16.97	16.5033	0.8344
3.162	3.162	3.162	3.1620	5.4390x10 <sup>-16</sup>	9.834	8.828	9.527	9.3963	0.5156
5.624	5.624	5.624	5.6240	0	5.776	5.114	5.425	5.4383	0.3312
10	10	10	10.0000	0	3.43	2.999	3.115	3.1813	0.2230
17.78	17.78	17.78	17.7800	0	2.064	1.781	1.813	1.8860	0.1550
31.62	31.62	31.62	31.6200	0	1.264	1.086	1.085	1.1450	0.1031
40	40	40	40.0000	0	0.9971	0.853	0.8446	0.8982	0.0857



### 3.4 ผลการวัดค่า pH

ค่า pH ของเจลลี่ไคโตซานวัดที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และวัดด้วย universal indicator paper เนื่องจากตัวอย่างที่เตรียมได้มีความเหนียวหนืด และผลที่ได้พบว่าทุกสูตรตำรับมีค่า pH ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 19 เพราะฉะนั้นจึงสรุปว่าชนิดของไคโตซานจากปูและจากเห็ดมีผลต่อค่า pH เหมือนกัน และความเข้มข้นของไคโตซานระหว่าง 2.5-12.5 % w/v ให้ผลไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ชนิดของน้ำผลไม้ ซึ่งประกอบด้วยน้ำส้ม น้ำแอปเปิล และน้ำสตรอว์เบอร์รี่ ให้ผลไม่แตกต่างกันด้วย และค่า pH ของเจลลี่มีค่าประมาณ 6 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้เพราะเป็นค่าที่ไม่สูงและไม่ต่ำมากเกินไปและมีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่บริโภคกันอยู่ในปัจจุบัน

ตารางที่ 19 ผลการวัดค่า pH ของเจลลี่ไคโตซาน

% w/v ของ chitosan	น้ำส้ม		น้ำแอปเปิล		น้ำสตรอว์เบอร์รี่	
	ปู	เห็ด	ปู	เห็ด	ปู	เห็ด
2.5	6	6	6	6	6	6
7.5	6	6	6	6	6	6
12.5	6	6	6	6	6	6

หมายเหตุ Jele beautie เจลลี่มีค่า pH เท่ากับ 6

### 4. ผลการประเมินประสิทธิภาพในการจับกับไขมันของเจลลี่ไคโตซาน

หลังจากการประเมินลักษณะทางกายภาพ มีเจลลี่ไคโตซานในน้ำแอปเปิลและในน้ำสตรอว์เบอร์รี่ที่ถูกคัดเลือกมาประเมินประสิทธิภาพในการจับกับไขมันในน้ำมันถั่วเหลือง เนื่องจากมีรสชาติที่ดีกว่าเจลลี่ไคโตซานในน้ำส้มและผลพบว่า เจลลี่ของไคโตซานจากปูและเจลลี่ของไคโตซานจากเห็ดสามารถจับกับไขมันในน้ำมันถั่วเหลืองได้ ดังแสดงในตารางที่ 20 และเมื่อเปรียบเทียบกับ blank ซึ่งเป็นของผสมที่มีแค่เจลาตินและน้ำผลไม้ พบว่าเจลลี่ที่มีไคโตซาน 12.5% w/v สามารถจับไขมันใน

น้ำมันถั่วเหลืองได้มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตามผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 21 นอกจากนี้ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าเจลลี่โคโตซานจากเห็ดมีแนวโน้มในการจับกับไขมันในน้ำมันถั่วเหลืองได้ดีกว่าเจลลี่โคโตซานจากปู โดยโคโตซานจากเห็ด 1 กรัมสามารถจับกับไขมันได้  $1.3552 \pm 0.3056$  กรัม ส่วนโคโตซานจากปู 1 กรัมสามารถจับกับไขมันได้  $0.8407 \pm 0.1561$  กรัมโดยคำนวณจากผลการทดลองของเจลลี่โคโตซานที่ความเข้มข้น 12.5 % w/v ในน้ำสตอร์วเบอรี่

อย่างไรก็ตาม วิธีการเคราะห์การจับไขมันของโคโตซานด้วยวิธีนี้มีความแม่นยำต่ำ ทำให้ไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในด้านของความเข้มข้นของโคโตซาน (ระหว่าง 2.5-12.5% w/v) ต่อปริมาณการจับของไขมันได้ ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากโคโตซานจับกับไขมันด้วยพันธะไฮโดรเจน (24) ซึ่งไม่แข็งแรงเท่าการจับด้วยพันธะโควาเลนต์ จึงอาจมีผลทำให้การประเมินประสิทธิภาพในการจับกับไขมันด้วยวิธีนี้มี resolution ค่อนข้างต่ำ

ตารางที่ 20 น้ำหนักของไขมันที่ถูกจับด้วยเจลลีโคโตซานหลังจากการสกัดด้วย diethyl ether

น้ำผลไม้	โคโตซาน	%w/v	n=1 (g)	n=2 (g)	n=3 (g)	AV (g)	S.D. (g)
แอปเปิ้ล	ปู่	2.5	0.2442	1.4018	0.6958	0.7806	0.5834
		7.5	0.1259	0.1686	0.4891	0.2612	0.1985
		12.5	0.2536	0.7328	0.9530	0.6465	0.3576
	เห็ด	2.5	0.2455	0.2623	0.7436	0.4171	0.2829
		7.5	0.1493	0.8858	1.2409	0.7587	0.5568
		12.5	0.0868	0.7325	1.0275	0.6156	0.4811
สตอร์วเบอร์รี่	ปู่	2.5	0.7974	0.7618	0.5858	0.7150	0.1133
		7.5	1.3275	0.8147	0.4987	0.8803	0.4183
		12.5	0.6782	0.9896	0.8543	0.8407	0.1561
	เห็ด	2.5	1.4745	0.7705	0.3759	0.8736	0.5565
		7.5	1.3250	0.6578	1.0489	1.0106	0.3352
		12.5	1.6806	1.3108	1.0742	1.3552	0.3056
blank	-	0	0.0201	0.0853	0.0743	0.0599	0.03490

ตารางที่ 21แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความสามารถในการจับกับไขมันของเจลลี่โคโตซาน

One-way ANOVA

Lipid binding

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.552	2	1.276	32.168	.001
Within Groups	.238	6	.040		
Total	2.790	8			

Post Hoc Tests(Multiple Comparisons): LSD

(I) Sample	(J) Sample	95% Confidence Interval				
		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
1	2	-.78080*	.16262	.003	-1.1787	-.3829
	3	-1.29530*	.16262	.000	-1.6932	-.8974
2	1	.78080*	.16262	.003	.3829	1.1787
	3	-.51450*	.16262	.019	-.9124	-.1166
3	1	1.29530*	.16262	.000	.8974	1.6932
	2	.51450*	.16262	.019	.1166	.9124

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

\*\*Sample 1 = blank, sample 2 = 12.5% w/v โคโตซานจากปู, sample 3 = 12.5% w/v โคโตซานจากเห็ด

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

โคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีรายงานว่าสามารถจับกับไขมันได้ แต่ปัญหาของการใช้พอลิเมอร์ชนิดนี้คือการมีค่าการละลายในน้ำต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม โคโตซานสามารถละลายได้ดีขึ้นในสารละลาย acetic acid เจือจาง และจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชนิดของโคโตซานมีผลต่อค่าการละลาย โดยโคโตซานจากปูสามารถละลายในสารละลาย 2.5%v/v acetic acid ได้ดีกว่าโคโตซานจากเห็ด

จากการตั้งตำรับพบว่า gelatin a ที่ความเข้มข้น 5%w/v ไม่สามารถก่อรูปเป็นเจลลี่ได้ แต่จะก่อรูปได้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 10 %w/v ในน้ำผลไม้ และจะก่อรูปเป็นเจลลี่ได้เร็วขึ้นเมื่อได้รับความเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 4 °C และสูตรตำรับที่ดีที่สุดมีส่วนประกอบดังนี้

ส่วนประกอบในตำรับ	ปริมาณ
น้ำสตรอว์เบอร์รี่	9.75 mL
กรด acetic acid(17.4 M)	0.25mL
โคโตซานจากเห็ด	1.25 g
เจลาติน เอ	1.0 g
น้ำตาลstevia ชนิดผง	0.4 g
เกลือ	0.025 g
สารแต่งสี	≤0.1 mL (optional)
สารแต่งกลิ่นผลไม้	≤0.2 mL (optional)

เจลลี่โคโตซานในน้ำผลไม้ที่ได้จากตำรับนี้มีสีแดง นำรับประทาน มีความเป็นเนื้อเดียวกัน เนื้อของเจลลี่ไม่หยาบ มีค่า pH เท่ากับ 6 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมและใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด

เจลลี่มีความหนืดและมีการไหลแบบ pseudoplastic ซึ่งส่งผลดีต่อการรับประทาน และจะรับประทานได้ง่ายเพราะยิ่งเคี้ยวความเหนียวของเจลลี่ยิ่งจะลดลง

ในด้านของประสิทธิภาพในการจับกับไขมันในน้ำมันถั่วเหลืองของเจลลี่ไคโตซาน พบว่าเจลลี่ที่มีไคโตซานที่ความเข้มข้น 12.5% w/v สามารถจับกับไขมันได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยไคโตซานจากเห็ดมีแนวโน้มว่าจับกับไขมันได้ดีกว่าไคโตซานจากปู โดยไคโตซานจากเห็ด 1 กรัมในสูตรตำรับที่ดีที่สุดสามารถจับกับไขมันได้ประมาณ  $1.36 \pm 0.31$  กรัม

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงสรุปว่า สารผสมของไคโตซาน (ทั้งจากเห็ดและจากปู) และ gelatin A น้ำผลไม้ไม่สามารถก่อตัวเป็นเจลลี่ได้ในอุณหภูมิต่ำ และเจลลี่ไคโตซานจากเห็ดสามารถจับกับไขมันในน้ำมันถั่วเหลืองได้มากกว่าเจลลี่ไคโตซานจากปู งานวิจัยนี้จึงน่าจะมีประโยชน์ต่อการนำไปพัฒนาอาหารเสริมเพื่อลดการดูดซึมไขมันจากอาหารในผู้ป่วย obesity เพื่อลดความเสี่ยงต่อโรคในระบบหัวใจและหลอดเลือดได้ในอนาคต

## เอกสารอ้างอิง

1. จำนวนผู้ป่วยตายโรคหัวใจและหลอดเลือด กลุ่มรายงานมาตรฐาน กระทรวงสาธารณสุข internet Available from:  
[https://hdcservice.moph.go.th/hdc/reports/report.php?source=formatted/ncd\\_death\\_age.php&cat\\_id=6a1fdf282fd28180eed7d1cfe0155e11&id=e2a5a66dd74fa1252fcf786674f05f02](https://hdcservice.moph.go.th/hdc/reports/report.php?source=formatted/ncd_death_age.php&cat_id=6a1fdf282fd28180eed7d1cfe0155e11&id=e2a5a66dd74fa1252fcf786674f05f02).
2. Jeyabalan S, Palayyan M. Antihyperlipidemic activity of *Sapindus emarginatus* in Triton WR-1339 induced albino rats 2018.
3. Mishra PR, Panda PK, Chowdary KA, Panigrahi S. Evaluation of acute hypolipidemic activity of different plant extracts in triton WR-1339 induced hyperlipidemia in albino rats 2011. 925-34 p.
4. Karr S. Epidemiology and management of hyperlipidemia. (1936-2692 (Electronic)).
5. Brouwers MC, van Greevenbroek Mm Fau - Stehouwer CDA, Stehouwer Cd Fau - de Graaf J, de Graaf J Fau - Stalenhoef AFH, Stalenhoef AF. The genetics of familial combined hyperlipidaemia. (1759-5037 (Electronic)).
6. Kumar D, Parcha V, Maithani A, Dhulia I. Effect and evaluation of antihyperlipidemic activity guided isolated fraction from total methanol extract of *Salvadora oleoides* (Decne.) in Triton WR-1339 Induced hyperlipidemic rats. *Pharmacognosy magazine*. 2012;8(32):314-8.
7. Kd MD. *Essentials of Medical Pharmacology*. 6th ed. India: JP brothers medical publishers; 2008.
8. Amarenco P, Labreuche J. Lipid management in the prevention of stroke: review and updated meta-analysis of statins for stroke prevention. *The Lancet Neurology*. 2009;8(5):453-63.

9. Gao W, He H-W, Wang Z-M, Zhao H, Lian X-Q, Wang Y-S, et al. Plasma levels of lipometabolism-related miR-122 and miR-370 are increased in patients with hyperlipidemia and associated with coronary artery disease. *Lipids in health and disease*. 2012;11(1):55.
10. Nickolas TL, Radhakrishnan J, Appel GB, editors. *Hyperlipidemia and thrombotic complications in patients with membranous nephropathy* 2003: Elsevier.
11. Wouters K, Shiri-Sverdlov R, van Gorp PJ, van Bilsen M, Hofker MH. Understanding hyperlipidemia and atherosclerosis: lessons from genetically modified apoe and ldlr mice. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)*. 2005;43(5):470-9.
12. Walker R. *Clinical Pharmacy and Therapeutics E-Book*: Elsevier Health Sciences; 2011.
13. Jin Q, Yu H, Wang X, Li K, Li P. Effect of the molecular weight of water-soluble chitosan on its fat-/cholesterol-binding capacities and inhibitory activities to pancreatic lipase. *PeerJ*. 2017;5:e3279.
14. Kim S-K. *Marine nutraceuticals: prospects and perspectives*: CRC Press; 2013.
15. Preuss HG, Bagchi D. *Obesity: epidemiology, pathophysiology, and prevention*: CRC press; 2012.
16. Zia KM, Zuber M, Ali M. *Algae Based Polymers, Blends, and Composites: Chemistry, Biotechnology and Materials Science*: Elsevier; 2017.
17. คงทอง, สุทธิดา. ไคติน-ไคโตซาน (Chitin-Chitosan). *วารสารวิชาการ อุตสาหกรรม ศึกษา*. 2009;3(1).
18. Kaur S, Dhillon GS. Recent trends in biological extraction of chitin from marine shell wastes: a review. *Critical reviews in biotechnology*. 2015;35(1):44-61.
19. Hayes M. Chitin, chitosan and their derivatives from marine raw materials: potential food and pharmaceutical applications. *Marine bioactive compounds*: Springer; 2012. p. 115-28.
20. Vani R, Stanley SA. Studies on the extraction of chitin and chitosan from different aquatic organisms. *Advanced Biotech*. 2013;12:12-5.



21. Yao K, Li J, Yao F, Yin Y. Chitosan-based hydrogels: functions and applications: CRC Press; 2011.
22. Yuan Y, Chesnutt BM, Haggard WO, Bumgardner JD. Deacetylation of chitosan: Material characterization and in vitro evaluation via albumin adsorption and pre-osteoblastic cell cultures. *Materials*. 2011;4(8):1399-416.
23. Wu T, Zivanovic S, Draughon FA, Conway WS, Sams CE. Physicochemical properties and bioactivity of fungal chitin and chitosan. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2005;53(10):3888-94.
24. Cheung R, Ng T, Wong J, Chan W. Chitosan: an update on potential biomedical and pharmaceutical applications. *Marine drugs*. 2015;13(8):5156-86.
25. Ngo D-H, Vo T-S, Ngo D-N, Kang K-H, Je J-Y, Pham HN-D, et al. Biological effects of chitosan and its derivatives. *Food Hydrocolloids*. 2015;51:200-16.
26. Ylitalo R, Lehtinen S, Wuolijoki E, Ylitalo P, Lehtimäki T. Cholesterol-lowering properties and safety of chitosan. *Arzneimittelforschung*. 2002;52(01):1-7.
27. Chitosan: Uses and Risks WebMD2018 [Available from: <https://www.webmd.com/vitamins-and-supplements/chitosan-uses-and-risks>].
28. Moussaoui Y, Mnasri N, Elaloui E, Salem RB, Lagerge S, De Menorval LC, editors. Preparation of chitosan gel2012: EDP Sciences.
29. Salunke T, Mayee R. Formulation and evaluation of medicated jelly of bitter drugs. *International Journal Of Pharmaceutical Innovations*. 2013;3(5):1-14.
30. Zhang J, Zhang W, Mamadouba B, Xia W. A comparative study on hypolipidemic activities of high and low molecular weight chitosan in rats. *International journal of biological macromolecules*. 2012;51(4):504-8.