



รายงานการวิจัย  
เรื่อง

ผลของการเติมไขรำข้าวต่อความคงตัวของอิมัลชัน  
Effect of Rice Bran Wax Addition on Emulsion Stability

นางสาวศวรรรญา ปั่นดลสุข

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต





รายงานการวิจัย  
เรื่อง

ผลของการเติมไขรำข้าวต่อความคงตัวของอิมัลชัน  
Effect of Rice Bran Wax Addition on Emulsion Stability

นางสาวศวรรรญา ปั่นดลสุข  
(หลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร โรงเรียนการเรือน)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต  
2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต  
(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ปีงบประมาณ 2557)

หัวข้อวิจัย ผลของไชรำข้าวต่อความคงตัวของอิมัลชัน  
ผู้ดำเนินการวิจัย นางสาวศวรรรญา ปั่นดลสุข  
หน่วยงาน หลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร โรงเรียนการเรือน  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต  
ปี พ.ศ. 2557

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ไชรำข้าวเพื่อเป็นสารเพิ่มความคงตัวให้ระบบอิมัลชัน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบอิมัลชันที่ใช้ไชรำข้าวระหว่างการเก็บรักษา โดยใช้ระบบจำลองของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในการศึกษา เพื่อลดความแปรปรวนของตัวแปรต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น ในระบบจำลองประกอบด้วยน้ำมันเนยร้อยละ 58 น้ำมันปาล์มร้อยละ 25 น้ำร้อยละ 15 หางนมผงร้อยละ 1 เกลือร้อยละ 1.2 และเลซิตินร้อยละ 0.16 จากวิเคราะห์องค์ประกอบของไชรำข้าวด้วย HPLC พบว่า ไชรำข้าวมีองค์ประกอบประกอบด้วย fatty acid ที่มีคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 14-38 และ fatty alcohol ที่มีคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 22-38 การศึกษาครั้งนี้ทำวิธีสกัดไชรำข้าวโดยใช้ hexane และ isopropanol ไชรำข้าวที่ผ่านกระบวนการทำวิธีสกัด มีสีขาวอมเหลือง มีจุดหลอมเหลวที่เพิ่มขึ้น ค่าไอโอดีน ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าสปอนนิฟิเคชันมีค่าลดลง ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้น จากการแปรระดับความเข้มข้นของไชรำข้าวที่ศึกษาออกเป็น 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 ในระบบอิมัลชัน พบว่า ไชรำข้าวทำให้ระบบอิมัลชันมีค่า L ที่เพิ่มขึ้น ค่า a และ b ที่ลดลง ค่าความหนืดของระบบอิมัลชัน และความคงตัวของอิมัลชันเพิ่มมากขึ้น ลักษณะของผลึกไขมันในระบบอิมัลชันเกิดเป็นร่างแหต่อเนื่องกัน และมีขนาดใหญ่อขึ้นตามระดับความเข้มข้นของไชรำข้าวที่เติม นอกจากนี้พบว่าระดับความเข้มข้นของไชรำข้าวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ในระบบเพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 20 วัน พบว่าคุณภาพด้านต่างๆ ของระบบมีค่าลดลง กรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จากการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบว่าการเติมไชรำข้าวทุกระดับสามารถพัฒนาความเสถียรภาพของระบบอิมัลชันได้เป็นอย่างดี

<b>Research Title</b>	Effect of rice bran wax addition on emulsion stability
<b>Researcher</b>	Miss SAWANYA PANDOLSOOK
<b>Organization</b>	Food Processing Technology Curriculum, School of Culinary Arts Suan Dusit Rajabhat University
<b>Fiscal Year</b>	2014

This research objectives were to study the use of rice bran wax as stabilizers in emulsion systems and to evaluate the changes of the system during storage. In this study, the simulation of water-in-oil emulsion system was used including: 58% butter oil, 25% palm oil, 15% water, 1% skimmed milk powder, 1.2% salt and 0.16% lecithin. The composition analysis by HPLC indicated that rice bran wax composed of C14 - C38 fatty acid and C22 - C38 fatty alcohol. Then, crude rice bran wax was purified with hexane and isopropanol. The purified rice bran wax has yellowish-white color, increased in melting point and reduced in iodine value, free fatty acid, peroxide value and saponification number, suitable for wide-range application in food. Afterthat, the concentrations of rice bran wax was varied in 4 different concentrations (0.5, 1.0, 2.0 and 3.0%). The results showed the increased in L value of the emulsion, while a and b value showed a decreased tendency. The viscosity and stability of emulsion were increased. Also, the fat crystal showed a network of continuity. Moreover, the crystal size, fatty acids value and peroxide value increased in agreement with the additional wax concentration. After 20 day storage period, fatty acids value and peroxide value were significantly increased. In conclusion, the addition of rice bran wax can improve the stability of the stimulates water-in-oil emulsion system.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ที่จัดสรรงบประมาณเพื่อสนับสนุนโครงการวิจัยครั้งนี้ ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ที่ได้เสียสละเวลาในการเสนอแนะให้ข้อคิดเห็น และติดตามให้การทำให้วิจัยครั้งนี้เป็นไปตามแผนงานที่วางไว้ และขอขอบคุณ นักศึกษาเจ้าหน้าที่ หลักสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร ที่ได้มีส่วนช่วยงานวิจัยนี้

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยจะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จะได้นำไปเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากไขรำข้าวเพื่อเพิ่มมูลค่าให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งยังใช้เป็นแนวทางในการนำไขรำข้าวไปใช้ทดแทนสารเพิ่มความคงตัวให้อาหารที่เป็นระบบอิมัลชัน ต่อไป หากมีข้อผิดพลาดประการใดในการทำให้วิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขออภัย เพื่อนำมาพัฒนาต่อไป

ศวรรรญา ปันตลสุข  
2557

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
ขอบเขตการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
น้ำมันรำข้าว	3
ใย	4
ใยรำข้าว	6
อิมัลชัน	8
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
กรอบแนวความคิดในการวิจัย	12
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>	
การเตรียมใยรำข้าวบริสุทธิ์	13
การเตรียมอิมัลชัน	14
การศึกษาคุณภาพของอิมัลชัน	14
ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา	16
การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ทางสถิติ	16
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย</b>	
คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของใยรำข้าว	17
ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน	20
การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา	25

	หน้า
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ</b>	30
สรุปผลการวิจัย	30
อภิปรายผล	30
ข้อเสนอแนะ	31
<b>บรรณานุกรม</b>	
บรรณานุกรมภาษาไทย	32
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	32
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ	34
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	40
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	44

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
4.1	คุณสมบัติทางกายภาพของไชราข้าวดิบ และไชราข้าวบริสุทธิ์	18
4.2	องค์ประกอบทางเคมีของไชราข้าว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	19
4.3	คุณภาพทางเคมีของไชราข้าวดิบ และไชราข้าวบริสุทธิ์	20
4.4	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs) ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และค่าสี (L, a, b) ของอิมัลชันที่เติมไชราข้าวปริมาณร้อยละ 0.5, 1, 2 และ 3	21
4.5	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs) ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ของอิมัลชันที่เติมไชราข้าว ร้อยละ 0.5, 1, 2 และ 3 ที่อายุเก็บรักษา 20 วัน	25
4.6	ค่าสี (L, a, b) ของอิมัลชันที่เติมไชราข้าวร้อยละ 0.5, 1, 2 และ 3 ที่อายุเก็บรักษา 20 วัน	26
4.7	ค่าความคงตัวของอิมัลชัน (ร้อยละ) ที่วัดโดยวิธีหมุนเหวี่ยง และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องของอิมัลชันที่เติมไชราข้าวปริมาณร้อยละ 0.5, 1, 2 และ 3 ที่อายุการเก็บรักษา 20 วัน	28
4.8	ค่ากรดไขมันอิสระ (F.F.A) ของอิมัลชันที่เติมไชราข้าวปริมาณร้อยละ 0.5, 1, 2 และ 3 ที่ เก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน	29
4.9	ค่าเปอร์ออกไซด์ของอิมัลชันที่เติมไชราข้าวปริมาณร้อยละ 0.5, 1, 2 และ 3 ที่อายุการเก็บรักษา 20 วัน	29

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
4.1	ลักษณะไซรัข้าว ก) ไซรัข้าวดิบ และ ข) ไซรัข้าวบริสุทธิ์	18
4.2	ค่าความหนืดของอิมัลชันเมื่อเติมไซรัข้าวที่ระดับต่างๆ	21
4.3	ร้อยละความคงตัวของอิมัลชันเมื่อเติมไซรัข้าวที่ระดับต่างๆ	22
4.4	ผลึกของไขมัน และน้ำมัน ในระบบอิมัลชันแบบ W/O ที่เติมไซรัข้าว ระดับต่างๆ ที่ใช้กล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย x 40) ก) สูตรควบคุม (ร้อยละ 0) ข) ร้อยละ 0.5 ค) ร้อยละ 1.0 ง) ร้อยละ 2.0 และ จ) ร้อยละ 3.0	23
4.5	ค่ากรดไขมันอิสระในระบบอิมัลชัน ที่เติมไซรัข้าวระดับต่างๆ	24
4.6	ค่าเปอร์ออกไซด์ในระบบอิมัลชัน ที่เติมไซรัข้าวระดับต่างๆ	24
ก-1	เครื่องวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง (UV-Visible spectrophotometer UV-1601 SHIMADZU, Japan)	36
ก-2	เครื่องวัดค่าสี (Handy colorimeter)	37
ก-3	เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer DV II <sup>+</sup> , U.S.A)	38
ก-4	เครื่องหมุนเหวี่ยง	39
ก-5	วิธีการวิเคราะห์จุดหลอมเหลว/จุดเดือดของน้ำมัน และไขมันๆ	40

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันมีการนำอิมัลชันมาใช้กับอุตสาหกรรมอาหารเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์ เนย มายองเนส เนยเทียม และน้ำสลัด เป็นต้น แต่ปัญหาที่พบบ่อยจะเป็นเรื่องของความคงตัวของอิมัลชัน เนื่องจากความไม่เสถียรจึงทำให้คุณภาพความคงตัวของอิมัลชันไม่ดีมากนัก และเพื่อเพิ่มทางเลือกให้กับ อุตสาหกรรมการผลิตอาหาร ในงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอิมัลชัน โดยการเติม ไขรำข้าวลงไปให้อิมัลชัน เพื่อนำมาทดสอบคุณภาพทางเคมี และทางกายภาพของอิมัลชัน และศึกษาการ มีคุณสมบัติการเป็นสารเพิ่มความคงตัวของไขรำข้าวว่ามีความสามารถที่จะช่วยให้ไขมันในระบบอิมัลชัน เกิดความคงตัวได้หรือไม่

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการผลิตข้าวรายใหญ่ และมีรำข้าวเป็นผลพลอยได้ประมาณปีละ หลายล้านตัน มีเพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์ของรำข้าวเพื่อผลิตเป็นน้ำมันรำข้าว สำหรับส่วนของไขรำข้าวโรงงาน ได้ขายให้กับต่างประเทศด้วยราคาประมาณ 20 บาท/กิโลกรัม ไขรำข้าว (Rice bran wax) เป็นแหล่งไขมันธรรมชาติที่พบอยู่ในรำข้าวที่จำเป็นต้องสกัดออกในกระบวนการสีข้าว สิ่งที่อยู่ในส่วนของรำที่ได้จากการขัดสีข้าว ไขรำข้าวจะถูกสกัดออกไปอยู่ในน้ำมันรำข้าว เมื่อสกัดด้วยตัวทำละลาย ในน้ำมันรำข้าวดิบ จะมีไขมันอยู่ประมาณ ร้อยละ 4 ถึง 4.8 ซึ่งจำเป็นต้องสกัดออกไปในขั้นสุดท้ายของการรีไฟน์ ไขมันส่วนนี้จัดเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันรำข้าวซึ่งเป็นของเหลือทิ้ง ที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ ไขรำข้าว เป็นแหล่งที่มีปริมาณของ สารโพลีโคซานอล (Policosanol) ที่สูง ซึ่งสารโพลีโคซานอล มีคุณสมบัติช่วยลดการจับตัวของไขมัน มีความสำคัญในการนำไปสร้าง และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของเซลล์ประสาท สมอง และช่วยป้องกันเซลล์ประสาท จากสารที่เป็นพิษ และอนุมูลอิสระต่างๆ ช่วยลดความเครียด และช่วยเสริมสร้างประสิทธิภาพในด้านความจำ

จากประโยชน์ที่กล่าวมาข้างต้นในงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการศึกษาผลของการใช้ไขรำข้าวต่อ ความคงตัวของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน โดยผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาการนำไขรำข้าวมาใช้ในระบบอิมัลชัน เพื่อเพิ่มความคงตัวของไขมัน

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมีของไขรำข้าวที่ผ่านกระบวนการทำบริสุทธิ์
- 1.2.2 ศึกษาการใช้ไขรำข้าวเพื่อเป็นสารเพิ่มความคงตัวให้ระบบอิมัลชัน
- 1.2.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาของระบบอิมัลชันที่ใช้ไขรำข้าว

### 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ศึกษาความคงตัวของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน เริ่มจากเตรียมไขรำข้าวบริสุทธิ์ และเตรียมอิมัลชันระบบน้ำในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเนยต่อน้ำมันปาล์ม โดยแปรระดับไขรำข้าวออกเป็น 4 ระดับที่ร้อยละ 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักจากนั้นทำการตรวจวัดคุณภาพทางด้านกายภาพ ประกอบด้วย ค่าสี ความหนืด ความคงตัวของอิมัลชัน และลักษณะของอิมัลชัน คุณภาพทางเคมีประกอบด้วย ค่าเปอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระ และนำตัวอย่างที่ได้มาศึกษาความคงตัวระหว่างการเก็บรักษานาน 20 วัน เก็บตัวอย่างทุกๆ 5 วัน และทำการตรวจวัดคุณภาพทางด้านเคมี และกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่าความหนืด ค่าความคงตัวของอิมัลชัน ค่าเปอร์ออกไซด์ และกรดไขมันอิสระ

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพิ่มมูลค่าผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าว โดยการนำไขรำข้าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์

1.4.2 ทราบคุณสมบัติการเป็นสารให้คงความตัวของไขรำข้าว

1.4.3 ได้งานวิจัยที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำมันรำข้าว (Rice Bran Oil)

รำ หมายถึง เยื่อหุ้มเมล็ด และคัพพะของข้าว ในรำข้าวมีเอนไซม์ไลเปส (Lipase) จำนวนมาก ซึ่งเอนไซม์ไลเปสนี้จะสลายไขมัน ทำให้ไขมันในรำข้าวลดลง และมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ดังนั้นไม่ควรเก็บรำข้าวไว้นานเกิน 24 ชั่วโมงก่อนนำไปสกัดน้ำมัน โดยปกติน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ใหม่ๆ จะมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำ กรดไขมันอิสระนี้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ภายใน 1 ชั่วโมง วิธีที่มีประสิทธิภาพในการทำลายเอนไซม์ไลเปสในรำข้าว คือ การให้ความร้อนกับรำข้าวที่อุณหภูมิ 85-100 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง จะทำให้ปริมาณของกรดไขมันอิสระลดลง นอกจากนี้ยังมีการทำแห้งเพื่อให้มีปริมาณความชื้นต่ำ การอบ การนึ่ง การใช้ไอน้ำ หรือการดันผ่านเกลียวอัด การเก็บภายใต้อุณหภูมิต่ำ การให้สัมผัสกับเอทานอล หรือไอของเอทานอล และการใช้รังสีอิเล็กตรอน หรือสารเคมี (จิตรัตน์ หน่อสุวรรณ, 2550)

น้ำมันรำข้าว เป็นน้ำมันที่สกัดจากรำข้าวที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ ทำให้น้ำมันรำข้าวอุดมไปด้วยโปรตีน วิตามิน กรดไขมันและเกลือแร่ โดยเฉพาะวิตามินอี จากเหตุที่รำข้าวมีส่วนประกอบที่อุดมไปด้วยวิตามินอี ทำให้บริษัทในต่างประเทศนำเอาน้ำมันรำข้าวไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตวิตามินอี (จิตรัตน์ หน่อสุวรรณ, 2550)

##### 2.1.1 ประโยชน์ของน้ำมันรำข้าว

รำข้าว มีใยอาหารสูง และมีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำ จึงมีผู้นำไปใช้ในอาหารเพื่อสุขภาพเหมาะสำหรับผู้ที่แพ้อาหารไขมันอิ่มตัว และมีการวิจัยที่พบว่า ผู้ที่บริโภครำข้าวเป็นประจำ จะลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและมะเร็งลำไส้ใหญ่ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) น้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวปริมาณสูง และยังมีสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันหลายชนิด ได้แก่ วิตามินอี (Tocotrienol, Tocopherol) และออริซานอล (Oryzanol) ซึ่งสารประกอบทั้ง สามชนิดนี้จะลดการเกิด Oxidized LDL ลดการเกิดการแข็งตัวของหลอดเลือด และลดการเกิดคอเลสเตอรอลออกไซด์ โทโคไตรอีนอล และออริซานอล ในรำข้าวมีผลในการลดระดับคอเรสเตอรอล โดยตรงเนื่องจากโทโคไตรอีนอลเป็นสารที่ขัดขวางการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในร่างกาย ส่วนออริซานอลเป็นสารที่ลดการดูดซึมของคอเลสเตอรอลจากอาหาร ซึ่งมีการตรวจพิจารณาของกลุ่มคนที่ได้รับออริซานอล พบว่า มีคอเรสเตอรอล (Cholesterol) ปะปนอยู่มากกว่ากลุ่มคนที่ไม่ได้รับออริซานอลนอกจากนี้ในรำข้าวมีสารประกอบกลุ่มไฟโตสเตอรอล (Phytosterol) ที่สามารถลดการดูดซึมของคอเลสเตอรอลได้ (นัยนา บุญทวีวัฒน์ และเรวดี จงสุวัฒน์, 2545)

### 2.1.2 สารที่เป็นส่วนประกอบของน้ำมันรำข้าว

กลุ่มของสารฟอสโฟไลพิด (Phospholipids) เช่น เลซิทีน (Lecithin) เซฟฟาลิน (Cephalin) ไลโซเลซิทีน (Lysolecithin) ซึ่งมีความสำคัญในการนำไปสร้าง และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของเซลล์ประสาทสมอง และช่วยป้องกันเซลล์ประสาท จากสารที่เป็นพิษและอนุมูลอิสระต่างๆ ช่วยลดความเครียด และช่วยเสริมสร้างประสิทธิภาพในด้านความจำ กลุ่มของเซราไมด์ (Ceramide) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของชั้นใต้ผิวหนัง ช่วยทำให้ผิวหนังมีความยืดหยุ่น การเสริมสร้างเซราไมด์ให้เพียงพอ ทั้งโดยการรับประทานหรือการให้ทางผิวหนังในรูปการทาครีม หรือโลชั่น จะช่วยรักษาผิวพรรณให้สดใสเปล่งปลั่ง ปราศจากริ้วรอยก่อนเวลาอันควร นอกจากนี้เซราไมด์ยังมีคุณสมบัติเป็นไวท์เทนเนอร์ (Whitener) ซึ่งสามารถยับยั้งการสังเคราะห์ เมลานิน อันเป็นสาเหตุให้เกิดฝ้า กระ จุดด่างดำบนผิวพรรณได้ดี และยังเป็นมอยเจอร์ไรเซอร์ (Moisturizer) ให้ความชุ่มชื้นแก่ผิวอีกด้วย กลุ่มของคอลโทคอล (Tocols) วิตามินอีธรรมชาติ ในรูปของโทโคเฟอรอล (Tocopherol) และโทโคไตรเอนอล (Tocotrienol) มีประโยชน์ต่อร่างกายในการสร้าง และซ่อมแซมเซลล์ต่างๆ ของร่างกายและยังช่วยให้ร่างกายมีภูมิคุ้มกันต่อโรคต่างๆช่วยต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นเหตุสำคัญของการเกิดโรคมะเร็ง กลุ่มของกรดไขมันไลโนเลอิก (Linoleic Acid) หรือโอเมก้า 6 ( $\omega$ -6) และกรดไลโนเลนิก (Linolenic Acid) หรือโอเมก้า 3 ( $\omega$ -3) ที่เป็นกรดไขมันจำเป็น โดยมีอยู่ประมาณร้อยละ 33 กลุ่มของวิตามิน B - Complex ซึ่งช่วยให้การทำงานของระบบประสาทดีขึ้น และกลุ่มของแกมมาออโรซานอล มีฤทธิ์ในการลดระดับคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ ทำให้ลดการตีบตันของหลอดเลือด เพิ่มการไหลเวียนของโลหิต และยังมีฤทธิ์ในการลดความเครียด และรักษาอาการผิดปกติของสตรีวัยทอง นอกจากนี้ยังเป็นสารอนุมูลอิสระ และยังป้องกันแสงยูวีได้ เมื่อใช้กินหรือใช้ทา ทำให้ผิวหนังชุ่มชื้น และต้านการอักเสบ สารชนิดนี้มีความปลอดภัยสูงมาก

### 2.2 ไช (Waxes)

เป็นสารที่มีลักษณะธรรมชาติคล้ายไขมัน เช่น ไม่รวมตัวกับน้ำ แต่มีโครงสร้างแตกต่างจากไขมันมากเพราะไม่มีส่วนที่เป็นกลีเซอรอลรวมกับกรดไขมันเลยส่วนใหญ่จะเป็นกรดไขมันโมเลกุลสูงๆ ร่วมกับแอลกอฮอล์อิสระ หรือบางทีไฮโดรคาร์บอนปนอยู่ด้วย ได้จากทั้งพืช และสัตว์ รวมทั้งกาสังเคราะห์ เป็นสารที่ไม่เกิดกลิ่นหืน สามารถหลอมเหลวได้ที่อุณหภูมิสูง 40 -70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นลักษณะดีที่ให้นำมาใช้เป็นประโยชน์ในอุตสาหกรรมลูกกวาด ดังนี้

- 1) เป็นส่วนผสม หรือพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ในการทำส่วนที่เคี้ยวได้เหมือนยางในหมากฝรั่ง
- 2) ใช้เป็นสารเชื่อมในการทำแกรนูล หรือเม็ดอมแบบตอกเม็ด
- 3) ใช้เคลือบผิว (Surface coating หรือ Glazing agent) ผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้นเคลือบด้วยน้ำตาล (Dragees) หรือ ผลิตภัณฑ์กัม เพื่อให้ขึ้นเงาสวยงาม

ไขเป็นสารประกอบเอสเทอร์ระหว่าง อะลิฟาติกแอลกอฮอล์ (Aliphatic alcohol) หรือ สเตอรอล (Sterol) กับกรดไขมันสายยาวไม่มีซิว มีคาร์บอนอยู่ระหว่าง 16-34 อะตอม มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ไม่มีพันธะคู่ ทำให้ลึบประเททนี้มีความเฉื่อย เพราะมีพันธะเอสเทอร์เพียงหนึ่งพันธะเท่านั้น เมื่อไขได้รับความเย็นจะแข็งแต่เปราะถ้าได้รับความร้อนจะนุ่มขึ้นได้ให้ความหนืดต่ำแม้อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลว ความชื้น และความสามารถในการละลายขึ้นกับอุณหภูมิ และมีความสามารถในการขัดเงาเมื่อถูกการบิบัติเพียงเล็กน้อย

สารประกอบที่พบในไขจากแหล่งต่างๆมีหลายชนิดแตกต่างกันเช่นในผิวหนังมนุษย์จะพบสารพวก n-octacosanol ( $C_{28}H_{57}OH$ ), ( $C_{29}H_{58}O$ ), ( $C_{29}H_{60}$ ) ในผิวแอปเปิลจะพบสาร n-hexacosanol ( $C_{26}H_{53}OH$ ), n-nonacosane, n-octacosanol ในไขจากพืชบางชนิด เช่น ไขคาร์นุบา ไขอ้อยพบสาร n-triacontanol เช่นเดียวกับไขผึ้ง และไขผิวหนัง (สุนันทา ภิญญาวัฒน์, 2535)

โพลิโคซานอล (Policosanol) คือ กลุ่มของแอลกอฮอล์สายตรง (Long chain aliphatic alcohols) ที่มีความยาวคาร์บอน 20-36 อะตอม พบในไขจากสัตว์ และพืชบางชนิด เช่น ไขจากผึ้ง รำข้าว อ้อย ข้าวโอ๊ต และข้าวสาลี เป็นต้น โดยปริมาณและองค์ประกอบของโพลิโคซานอลในไขแต่ละชนิดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาสกัด เช่น ไขอ้อยมีโพลิโคซานอลที่มีความยาวคาร์บอน 24-34 อะตอม โดยมีออกตะโคซานอล (Octacosanol; C28) มากที่สุดร้อยละ 66 ส่วนในไขผึ้งพบโพลิโคซานอลที่มีความยาวคาร์บอน 18-34 อะตอม โดยมีไตรคอนทานอล (Triacontanol; C30) มากที่สุดร้อยละ 30.2 เป็นต้น

มีการศึกษาประโยชน์ของโพลิโคซานอลพบว่า สามารถลดโคเลสเตอรอลในเลือดได้ โดยการบริโภคโพลิโคซานอลที่มีความยาวคาร์บอน 24-34 อะตอม 5-20 มิลลิกรัม/วัน สามารถลดโคเลสเตอรอลที่ไม่ดี (Low Density Lipoprotein Cholesterol; LDL-C) ได้ร้อยละ 21-29 ในขณะที่มีโคเลสเตอรอลที่ดี (High Density Lipoprotein Cholesterol; HDL-C) เพิ่มขึ้นร้อยละ 8-15 นอกจากนี้มีรายงานว่า โพลิโคซานอลสามารถป้องกัน และรักษาโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ ช่วยยับยั้งการสังเคราะห์โคเลสเตอรอล และเพิ่มการย่อยสลาย LDL ลดการรวมตัวของเกล็ดเลือด (Platelet aggregation) ลดอันตรายของเยื่อหลอดเลือด (Endothelial damage) และลดการสร้างโฟมเซลล์ ส่วนทางด้านความปลอดภัยนั้นพบว่า การให้โพลิโคซานอลไม่มีพิษต่อยีนทั้งในเซลล์ร่างกาย และเซลล์ที่กำลังเจริญเติบโต

จากประโยชน์ข้างต้นจึงมีการนำโพลิโคซานอลไปใช้เป็นยา และองค์ประกอบในอาหารเสริมหลายชนิด ส่งผลให้มีการผลิตโพลิโคซานอลเพื่อการค้า โดยส่วนใหญ่สกัดจากไขอ้อย และไขผึ้ง แต่เนื่องจากความต้องการโพลิโคซานอลที่เพิ่มจึงทำให้มีการหาแหล่งวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ รวมทั้งพยายามพัฒนากระบวนการสกัด และการทำให้บริสุทธิ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการในปัจจุบัน

### 2.2.1 ประเภทของไข

1) ไขแร่ธาตุหรือสารไฮโดรคาร์บอน (Mineral or hydrocarbon wax) ที่รวมตัวกับน้ำมัน อันเกิดจากซากพืชซากสัตว์ที่ทับถม และถ่านหิน คือ ไขพาราฟิน ซึ่งประกอบด้วย สารไฮโดรคาร์บอนที่

เป็นเส้นตรง ไฮโดรคาร์บอนที่แตกกิ่งก้าน และที่เป็นวงแหวน จุดหลอมเหลวของไขพาราฟินจะเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักของโมเลกุล ไซโอโซเคอไรท์ (Ozokerite) มีจุดหลอมเหลวช่วง 93-89 องศาเซลเซียส มักใช้ในการทำน้ำมันหล่อลื่น ลิปสติก สารขัดเงา และสารยึดเกาะ นอกจากนี้ยังมีชนิดอื่นๆ เช่น มอนแทน (Montan) และ ซินเซอร์ (Syncero) เป็นต้น

2) ไขจากสัตว์ ชนิดที่สำคัญที่สุดได้แก่ ไขผึ้ง (Beeswax) ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้เมื่อหลายร้อยปีมาแล้ว ไขผึ้งสร้างจากต่อมใต้ผนังช่องท้องของผึ้ง แล้วขับออกมาเรียงซ้อนอยู่ในรวงผึ้ง ในรูปเกล็ดบางๆ เมื่อเหวี่ยงแยกเอาน้ำผึ้งออกจากรวงแล้วนำรวงผึ้งไปแยกไขผึ้งด้วยการต้มแล้วกรอง ไขผึ้งเป็น เอสเทอร์ระหว่างไมริซีส แอลกอฮอล์ ( $C_{30}H_{61}OH$ ) กับกรดปาล์มติก ( $C_{15}H_{31}COOH$ ), ซีโรติก ( $C_{25}H_{51}COOH$ ) และไมริสติก ( $C_{29}H_{59}COOH$ ) ลักษณะเฉพาะของไขผึ้ง คือมีลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลเป็นเส้นตรงไม่มีกิ่งก้านสาขา ไขผึ้งธรรมชาติจะมีสีเหลือง สามารถฟอกสีได้โดยการผึ่งแดด หรือใช้สารออกซิไดซ์ ไขผึ้งมีกลิ่นเฉพาะตัว มีความเหนียวขึ้นรูปได้ที่อุณหภูมิร่างกาย ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เครื่องสำอาง สารขัดเงา นอกจากนี้ยังมีไขจากแมลงอื่นๆ ที่มีการผลิต และนำมาใช้ เช่น ไขจีนีสอนิเซค (Chinese insect wax) ในประเทศญี่ปุ่น และจีน นิยมนำไปใช้ในการผลิตเทียนไข และเครื่องยา ไซสเปอมาซีติ (Spermaceti wax) เป็นไขที่สกัดจากไขสมองของปลาวาฬ นิยมนำมาใช้ทำเทียนไข ลานิน (lanolin) เป็นไขที่สกัดได้จากขนแกะ

3) ไขจากพืช เป็นแหล่งสำคัญของไขซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะใช้ในการผลิตสารขัดเงา เนื่องจากไขจากพืช มีลักษณะแข็งให้ความมันวาวสูง และยังทำให้ได้ผิวที่มีความคงทน ไขจากพืชที่รู้จักและนิยมมานานคือ ไขคาร์นุบา (Carnauba wax) ซึ่งสกัดได้จากส่วนใบของต้นปาล์มคาร์นุบา เป็นไขที่มีจุดหลอมเหลวสูงมากเมื่อเทียบกับไขชนิดอื่นๆ คือ ประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส

### 2.3 ไขรำข้าว (Rice bran wax)

เป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำมันรำข้าวในขั้นตอนการกำจัดไข (Dewaxing / Winterization) เป็นวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งที่มีความสนใจมากขึ้นในระยะที่ผ่านมาเพราะเป็นแหล่งของโพลีโคซานอลที่สำคัญ และมีราคาถูก ไขน้ำมันรำข้าวมีลักษณะเป็นของแข็ง แห้งเป็นผลึกเล็กน้อย มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงเข้ม ปริมาณ และองค์ประกอบของโพลีโคซานอลในไขรำข้าว อาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านการเพาะปลูก กระบวนการผลิต และสภาวะในการสกัด ปกติน้ำมันรำข้าวมีไขอยู่ร้อยละ 2-4 แต่บางครั้งอาจสูงถึงร้อยละ 8 ไขน้ำมันรำข้าวประกอบด้วยแว็กซ์เอสเทอร์ (Wax ester) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันอิ่มตัว C16 - C26 กับไขมัน แอลกอฮอล์อิ่มตัว  $C_{24} - C_{34}$  น้ำมัน (Triglyceride) กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) และไขมันแอลกอฮอล์อิสระสายยาว

องค์ประกอบหลักของไขรำข้าว คือ เอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 22, 24 และ 26 อะตอม กับแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนในโมเลกุล 28, 30 และ 32 อะตอม กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของส่วนที่เป็นไขนั้น มีทั้งกรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งในโมเลกุลมีจำนวนคาร์บอน 14-20 อะตอม และยังพบว่ามีสารสเตอรอลปนอยู่ด้วย (Tsuchiya, 1948) แอลกอฮอล์ที่พบ

เป็นองค์ประกอบหลักในไขรำข้าว คือ ไมริสซิลแอลกอฮอล์ (Myrisyl alcohol;  $C_{30}H_{61}OH$ ) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวที่ 85 องศาเซลเซียส จากการศึกษาโดยแยกส่วนที่ไม่สามารถระเหยได้น้ำมันรำข้าวแล้วนำไปวิเคราะห์พบว่า ประกอบด้วยไมริสซิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 45 และซีริลแอลกอฮอล์ ( $C_{26}H_{52}OH$ ) ทั้งแบบนอร์มัล และไอโซ ร้อยละ 20 และ 10 ตามลำดับ กับสารที่ไม่สามารถระเหย ร้อยละ 20 สารที่ไม่สามารถระเหยที่พบในน้ำมันรำข้าวที่ประกอบด้วย ไมริสซิลแอลกอฮอล์เป็นหลักกับซีริลแอลกอฮอล์อีกเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบสารซิโตสเตอรอล (Sitosterol) และสติกมาสเตอร์อล (Stigmasterol) ด้วย (Warth, 1956) พบว่า ส่วนไขแข็งจากรำข้าวประกอบด้วยเอสเทอร์ของกรดไขมันเตตราโคซานอิก (Tetracosanoic) กับไมริสซิลแอลกอฮอล์เป็นส่วนใหญ่ (Tsuchiya, 1948) ได้มีการพิสูจน์ว่าไมริสซิลแอลกอฮอล์นั้นอยู่ในรูปไมริสซิลซีโรเตท (Myricyl cerotate) เพราะส่วนดังกล่าวนี้มีจุดหลอมเหลวสูงซึ่งสัมพันธ์กับการที่ไขรำข้าวมีจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูง ดังนั้นไขแข็งของรำข้าวประกอบด้วยไมริสซิลซีโรเตท ร้อยละ 43-44 ซีริลซีโรเตท ร้อยละ 9.5-10.5 นอกจากนี้ยังพบว่า ไขแข็งประกอบด้วยแอลกอฮอล์ ร้อยละ 64.5 กรดไขมัน ร้อยละ 33.5 และสารไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 2 ส่วน ไขนุ่มประกอบด้วยแอลกอฮอล์ ร้อยละ 51.8 กรดไขมัน ร้อยละ 46.2 และสารไฮโดรคาร์บอน ร้อยละ 2 และจากการศึกษาพบว่า ไขรำข้าวชนิดไขแข็ง และไขนุ่มประกอบด้วยแอลกอฮอล์หลัก 3 ชนิด คือ ไมริสซิลซีริล และลิกโนซีริลแอลกอฮอล์ และไขนุ่มจะพบกรดไขมันลอริก (Behenic acid) ลิกโนเซอร์ริก (Lignoceric acid) และกรดซโรติก สารไฮโดรคาร์บอนที่พบในไขรำข้าวเป็นสารอัลเคนที่มีคาร์บอนในโมเลกุล 14-33 อะตอม สารหลักที่มีปริมาณมากคือ นอร์มัล-โนนาโคเซน (n-nonacosane) และ นอร์มัล-เตตราเดเคน (n-tetradecane) จุดหลอมเหลวของไขแข็งเท่ากับ 79.5 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวของไขนุ่มเท่ากับ 74 องศาเซลเซียส (Yoon & Rhee, 1982)

สมบัติและองค์ประกอบของไขรำข้าว (Tsuchiya, 1948; Warth, 1956; Yoon & Rhee, 1982) ไขรำข้าวมีลักษณะเป็นของแข็งแห้งเป็นผลึกเล็กน้อยมีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงเข้มเป็นไขที่ได้รับความเห็นชอบให้ใช้ได้โดยองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA Regulation) โดยกำหนดคุณสมบัติดังนี้

จุดหลอมเหลว		169 -180	องศาฟาเรนไฮต์
จุดวาบไฟ (Flash point)	ต่ำสุด	520	องศาฟาเรนไฮต์
ค่าของกรด		1-10	
ค่าเอสเทอร์		73 -110	
ค่าสaponification		75 -120	
ค่าไอโอดีน	สูงสุด	20	
สารที่ไม่ถูกระเหย (ร้อยละ)		39 -57	

การใช้ประโยชน์จากไขรำข้าว มีการนำไขรำข้าวไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบของกระดาษห่อช็อคโกแลต เป็นสารเคลือบยาอม ลูกกวาดหรือหมากฝรั่งเป็นส่วนประกอบในการผลิตกระดาษคาร์บอน เป็นส่วนประกอบในอิมัลชันไขที่ใช้เคลือบผัก และผลไม้ ใช้เป็นส่วนประกอบ

ในการผลิตเครื่องสำอาง เช่น ลิปสติกซึ่งต้องใช้ไขขาวที่ผ่านการฟอกสีให้ขาว และยังใช้ทดแทนไฮคาร์บูบาได้บางส่วนในการทำสารขัดเงา (พुरुชาติ แก้วแดง, 2544)

## 2.4 อิมัลชัน (Emulsion)

อิมัลชัน หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิด ซึ่งไม่เข้ากันหรือไม่ละลายในกันและกัน เช่น น้ำและน้ำมัน ที่มาอยู่ด้วยกันในลักษณะผสมผสานเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยอาศัยตัวทำอิมัลชัน (Emulsifier) เป็นตัวผสม อิมัลชันที่เกิดขึ้นถ้ามองด้วยตาเปล่าจะสังเกตเห็นลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ถ้าหากส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็น 2 ภูมิภาค คือ หยดเล็กๆ ของของเหลว ชนิดหนึ่งที่เรียกว่า ภูมิภาคภายใน (Internal or dispersed phase) กระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า ภูมิภาคภายนอก (External or continuous phase) โดยทั่วไปหยดของภูมิภาคภายในจะมีขนาดที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ขนาดที่เล็กกว่า 0.05 ไมครอน จนถึง 25 ไมครอน ซึ่งขนาดอนุภาคของภูมิภาคภายในจะส่งผลต่อการกระจายแสงที่ได้ต่างกัน จึงทำให้อิมัลชันนั้นๆ มีลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้แตกต่างกันด้วย (นิริยา รัตนานพนธ์, 2553)

### 2.4.1 ชนิดของอิมัลชัน

แบ่งตามลักษณะภายนอกที่มองเห็น ได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) แมโครอิมัลชัน (Macroemulsion) คือ อิมัลชันลักษณะขาวขุ่นที่พบได้โดยทั่วไปอนุภาคของภูมิภาคในของอิมัลชันชนิดนี้มักมีขนาดอยู่ในช่วง 0.25 – 10 ไมครอน ซึ่งโดยทั่วไปจะใหญ่กว่า 1 ไมครอน จึงทำให้เกิดความแตกต่างของค่าดัชนีการหักเหของแสงของภูมิภาคทั้งสอง และเกิดการกระจายแสงทำให้มองเห็นเป็นลักษณะขุ่นขาว อิมัลชันชนิดนี้อาจแบ่งย่อยได้เป็นอิมัลชันชนิดเนื้อหยาบ (Coarse emulsion) ซึ่งจะมีอนุภาคค่อนข้างใหญ่ และอิมัลชันเนื้อละเอียด (Fine emulsion) ซึ่งขนาดอนุภาคจะค่อนข้างเล็ก หรือเล็กกว่า 5 ไมครอน แมโครอิมัลชันเป็นอิมัลชันที่พบมากที่สุดทั้งในอุตสาหกรรม อาหาร ยา และเครื่องสำอาง เช่น ไอศกรีม สลัดครีม ครีม โลชั่นทาผิว เป็นต้น

2) ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) อิมัลชันที่มีลักษณะโปร่งใส เนื่องจากอนุภาคของภูมิภาคภายในเล็กมากอยู่ในช่วงประมาณ 10 – 75 นาโนเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นได้ (Visible light) จึงทำให้ไม่เกิดการหักเห หรือกระจายแสง แสงจึงสามารถทะลุผ่านได้ ทำให้ดูโปร่งใส หยดของภูมิภาคภายในจะมีลักษณะกลม และถูกล้อมรอบด้วยฟิล์มของตัวทำอิมัลชันพบได้ทั้งน้ำในน้ำมัน (w/o) และน้ำมันในน้ำ (o/w)

### 2.4.2 ความคงตัวของอิมัลชัน

ความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability) หมายถึง ความสามารถของอิมัลชันในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป นั่นคือ ถ้าอิมัลชันมีความคงตัวสูง จะมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ เช่น การแยกชั้น การเกิดออกซิเดชันช้า ความไม่คงตัวของอิมัลชันเกิดจากกระบวนการทางกายภาพ และเคมี รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ เช่น การเจริญเติบโตของเชื้อ

แบคทีเรีย หรือเชื้อราบางชนิดก็มีผลต่อสมบัติของอิมัลชันเช่นกัน ความไม่คงตัวของกายภาพมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระยะห่างการกระจายตัวหรือการจัดเรียงโครงสร้างของโมเลกุล ในขณะที่ความไม่คงตัวของเคมีมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างเคมีของโมเลกุล อิมัลชันในอาหารจำเป็นต้องมีความคงตัวเพื่อให้มีอายุการเก็บที่นาน

อิมัลชันเป็นระบบที่ไม่คงตัวทางเทอร์โมไดนามิกส์ เนื่องจากระบบต้องการพลังงานอิสระในการเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างเฟสของน้ำ และน้ำมัน ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไป ระบบอิมัลชันจะเกิดการแยกชั้นซึ่งประกอบด้วยชั้นของน้ำมันที่ด้านบนซึ่งเป็นชั้นที่มีความหนาแน่นต่ำ และชั้นของน้ำที่มีความหนาแน่นสูงที่ด้านล่าง ตัวอย่างเช่น การผสมน้ำมันและน้ำเข้าด้วยกัน เริ่มแรกจะเกิดอิมัลชันที่มีความคงตัว แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้ไม่นานก็จะเกิดการแยกชั้นขึ้น ในทางทฤษฎีความคงตัวของอิมัลชันเกี่ยวข้องกับดุลระหว่างแรงดึงดูด และแรงผลักระหว่างอนุภาค แรงดึงดูดซึ่งเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) หรือแรงกระจายของลอนดอน (London dispersion) เป็นแรงที่ทำให้เกิดความไม่คงตัวของอิมัลชัน ในขณะที่แรงผลักจะช่วยให้เกิดความคงตัวโดยทำให้อนุภาคแยกออกจากกัน

อัตราและกลไกการแตกตัวของอิมัลชันขึ้นกับองค์ประกอบต่างๆ และโครงสร้างของโมเลกุลขนาดเล็ก รวมทั้งสภาวะแวดล้อม เช่น ความแปรปรวนของอุณหภูมิ การกวน และสภาวะในการเก็บ ความไม่คงตัวของอิมัลชันแบ่งได้เป็น Creaming, Coalescence, Flocculation, Ostwald ripening และการเปลี่ยนเฟส (Friberg Stig et al., 2003)

#### 2.4.2.1 ประเภทของความไม่คงตัวของอิมัลชัน (Types of Instability)

1) การเกิดครีม (Creaming) เกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำมัน (Oil droplets) ภายใต้แรงโน้มถ่วงหรือแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางซึ่งจะทำให้เกิดการแยกชั้นกันโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการกระจายขนาดของ Droplet โดยทั่วไปแล้ว Droplet ในอิมัลชันจะมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ถ้า Droplet มีความหนาแน่นต่ำกว่าของเหลวที่อยู่รอบๆ Droplet ก็จะลอยขึ้นอยู่ด้านบน การเกิดครีมเป็นความไม่คงตัวเริ่มต้นที่สามารถนำไปสู่การสูญเสียความไม่คงตัวของอิมัลชันแบบอื่น คือ Flocculation และ Coalescence ในอาหารความหนาแน่นของน้ำมันจะมีค่าต่ำกว่าน้ำ ดังนั้นน้ำมันจะรวมตัว และลอยขึ้นด้านบนของอิมัลชัน ส่วนของน้ำหรือ Continuous phase ที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะอยู่ด้านล่าง อาหารที่เป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำจึงมีลักษณะของครีมที่ผิวอาหาร เนื่องจากผู้บริโภคต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) นอกจากนี้ยังมีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาหารโดยในส่วนของครีมจะมีความหนืดสูงกว่าในส่วนของอาหารเหลว รสชาติในส่วนของครีมจะมีความมันมากกว่าเนื่องจากมีปริมาณไขมันสูง อย่างไรก็ตาม การเกิดครีมจัดเป็นลักษณะความไม่คงตัวที่สามารถผันกลับได้โดยการผสม

2) การรวมตะกอน (Flocculation) เกิดจาก Droplet มีการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นผลจากพลังงานความร้อน แรงโน้มถ่วง หรือแรงทางกล จากการเคลื่อนที่ทำให้อนุภาคเกิดการปะทะระหว่างกันซึ่งมีผลให้ Droplet แยกออกจากกัน หรือรวมตัวกันขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดหรือแรงผลักที่มีอยู่ Flocculation เป็นกระบวนการที่ Droplet หลายๆ อนุภาคมารวมตัวกันโดยแต่ละอนุภาคยังคงลักษณะ Individual

integrity ไว้ การเกิด Flocculation อาจเป็นผลดี หรือผลเสียต่อคุณภาพของอิมัลชันขึ้นกับลักษณะของอาหาร ใน Dilute emulsions ซึ่งมีความเข้มข้นของอนุภาคไม่เกินร้อยละ 0.05 การเกิด Flocculation จะเร่งการแยกชั้นอันเป็นผลจากแรงโน้มถ่วง (Gravitational separation) ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ เพราะทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บสั้นลง นอกจากนี้ Flocculation ยังเป็นสาเหตุให้ความหนืดของอิมัลชันเพิ่มขึ้น และอาจทำให้เกิดเจลได้

3) การตกตะกอน (Coalescence) เป็นลักษณะความไม่คงตัวของอิมัลชันที่เกิดจากการรวมตัวกันของ Droplet ทำให้ Droplet มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการแตกของฟิล์มบางๆ (Lamella) ระหว่างอนุภาคที่อยู่ใกล้กัน ถ้ามีรูเล็กๆ เกิดขึ้นในฟิล์ม อนุภาคจะเคลื่อนตัวเข้าหากันทันที การเกิด Coalescence จะเกิดขึ้นได้เฉพาะกรณีที่อนุภาคอยู่ใกล้กัน และฟิล์มที่ผิวร่วมมีการแตกออกจากกัน ในอาหารการสูญเสียอิมัลชันแบบนี้มีความรุนแรงกว่าการเกิดครีม (Creaming) เมื่ออนุภาค 2 อนุภาคอยู่ใกล้กัน ผิวที่หนูนโคงจะบิดทำให้ผิดรูปไป การเกิด Coalescence ทำให้อิมัลชันเกิดครีม หรือตกตะกอนได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากการเพิ่มขนาดของ Droplet ในอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ดังนั้น Coalescence จึงเป็นกระบวนการทำให้เกิดชั้นของน้ำมันที่ส่วนบนที่เรียกว่า Oiling off และเป็นกระบวนการที่ไม่สามารถย้อนกลับ ส่วนอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันจะทำให้เกิดการสะสมของน้ำที่ด้านล่าง

4) การเกาะกันเป็นโครงสร้างร่างแห (Partial coalescence) เกิดเมื่ออนุภาคน้ำมันที่เป็นผลึกบางส่วนอย่างน้อย 2 อนุภาคเคลื่อนที่เข้ามาสัมผัสกัน และจัดเรียงตัวเป็นรูปร่างที่ผิดปกติ การเกาะตัวกันยังคงรูปร่างของอนุภาคไว้ เนื่องจากโครงร่างของผลึกไขมันภายในอนุภาคจะป้องกันการรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์ ซึ่งอัตราส่วนของ Fat solid จะขึ้นกับองค์ประกอบของส่วนผสมที่เป็น Triacylglycerol และอุณหภูมิ Partial coalescence เป็นสิ่งสำคัญในผลิตภัณฑ์นม เนื่องจากเมื่อดไขมันนมจะเกิดเป็นผลึกได้บางส่วนตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป การเกิด Partial coalescence เป็นกระบวนการที่จำเป็นในการผลิตไอศกรีม วิปป์ทอปปิง เนย และมาการีน อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำจะถูกทำให้เย็นที่อุณหภูมิหนึ่งที่ทำให้อนุภาคเกิดผลึกบางส่วนเมื่อมีแรงเฉือนในระบบจะทำให้อนุภาคเกิดการรวมตัวกันเป็น Partial coalescence สำหรับผลิตภัณฑ์เนย และมาการีน การรวมตัวนี้เป็นผลจากการเปลี่ยนเฟส (Phase inversion) ในขณะที่ไอศกรีม และวิปป์ครีม อนุภาคไขมันที่รวมตัวกันจะทำให้เกิดโครงร่างที่ล้อมรอบเซลล์อากาศ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัว และเนื้อสัมผัสที่ดี

5) การรวมตัวของอนุภาค (Ostwald ripening) เป็นกระบวนการที่อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นจากการอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ามารวม เนื่องจากมีการส่งถ่ายมวลของเฟสที่กระจายตัวจากอนุภาคหนึ่งไปสู่อีกอนุภาคหนึ่งโดยแทรกผ่านทางเฟสต่อเนื่อง กระบวนการนี้อาจไม่ต้องพิจารณาในผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นอิมัลชันส่วนใหญ่เนื่องจากความสามารถของการละลายทั้งของ Triacylglycerols และน้ำตาลมาก ดังนั้นอัตราการส่งถ่ายมวลจึงเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

6) การเปลี่ยนเฟส (Phase inversion) เป็นกระบวนการที่ระบบมีการเปลี่ยนแปลงจากอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำเป็นอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน หรือในทางกลับกัน ระบบอาจมีการเปลี่ยนแปลงจากอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำได้ การเปลี่ยนเฟสนี้เป็นขั้นตอนที่จำเป็นในการผลิต

ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด ได้แก่ เนย และมาการีน ในผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ การเปลี่ยนเฟสเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ เนื่องจากมีผลต่อลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส ความคงตัว และรสชาติ

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สายสนม ประดิษฐดวง และคณะ (2533) ศึกษาการนำไคร้ข้าวมาใช้ประโยชน์พบว่า ไคร้ข้าวเป็นแหล่งไขมันที่จำเป็นต้องกำจัดออกจากกระบวนการผลิตน้ำมันรำ และเป็นของเหลือทิ้งที่ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ การนำไคร้ข้าวมาใช้ประโยชน์จึงนับเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับอุตสาหกรรมข้าวได้อีกทางหนึ่ง การผลิตไคร้ข้าวบริสุทธิ์จะทำได้โดยการแยกส่วนเปลือกไคร้ด้วยตัวทำละลายต่างๆ การศึกษาการผลิตไคร้ข้าวบริสุทธิ์นี้ทำการผลิตไคร้ข้าวสองวิธีคือการใช้เบนซีน และการใช้เฮกเซนร่วมกับไอโซโพรพานอล แล้วหาปริมาณ และศึกษาสมบัติของไคร้ข้าวที่ผลิตได้จากผลการศึกษา พบว่า ปริมาณไคร้ข้าวที่ได้จากเบนซีนมีอยู่ร้อยละ 7-8 มีลักษณะเป็นไขแข็งสีน้ำตาลเข้ม ส่วนไขที่ผลิตด้วยเฮกเซนร่วมกับ ไอโซโพรพานอลจะได้อ้อยละ 17-18 มีลักษณะเป็นไขแข็งสีนวล ส่วนสมบัติทางกายภาพ และเคมีของไขที่ผลิตได้จากทั้งสองวิธีจะใกล้เคียงกันละมีคุณภาพอยู่ในขอบข่ายของสมบัติไขที่อนุญาตให้ใช้กับอาหารได้ อีกทั้งยังมีสมบัติใกล้เคียงกับไขคาร์บูบาซึ่งเป็นไขที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมต่างๆ

สายสนม ประดิษฐดวง และคณะ (2534) ศึกษาการนำไคร้ข้าวมาใช้ประโยชน์พบว่า การควบคุมอัตราการหายใจและการคายน้ำผักสดด้วยวิธีการเคลือบไขเพื่อรักษาความสดนั้นให้ผลดีและเป็นที่ยอมรับปฏิบัติกันอย่างกว้างขวาง การสูญเสียน้ำหนักของผักผลไม้ที่เคลือบไขแล้วมีความแตกต่างกันขึ้นกับชนิดไขและความเข้มข้นของอิมัลชันไขรวมถึงลักษณะโครงสร้างเซลล์ผิวของผักและผลไม้ นั้น งานวิจัยนี้จึงทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสูตรอิมัลชันไขที่เตรียมขึ้นเองจาก ไคร้ข้าว ไคร้คาร์บูบา และไขผสมของไขทั้งสองชนิดต่อการป้องกันการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงแรด แครอท พริกหวาน และมะนาว นำตัวอย่างผักผลไม้ดังกล่าวมาเคลือบไขโดยการจุ่มในอิมัลชันที่มีส่วนผสมของไขทั้ง 3 สูตรที่ระดับความเข้มข้นของไขร้อยละ 4, 6, 8 และ 10 หาปริมาณไขที่ใช้ไปในการเคลือบ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) และ 22 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏและการสูญเสียน้ำหนักของผักผลไม้พบว่า ชนิดไขและความเข้มข้นของไขที่ต่างกันใช้ปริมาณอิมัลชันเคลือบติดที่ผิวต่างกันอย่างไรก็ตามในการเคลือบไขทั้งสามสูตรนี้สิ้นเปลืองไขน้อยมากคือประมาณร้อยละ 0.6-1.8 อิมัลชันไขทั้งสามสูตรนี้จะมีผลต่อการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเขียวของคลอโรฟิลล์ในผักผลไม้ได้อย่างชัดเจนแต่ไม่มีผลที่สังเกตได้ต่อแคโรทีนอยด์ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก ป้องกันการเหี่ยวเฉาในผักผลไม้ตัวอย่างได้ดี แต่ประสิทธิภาพจะต่างกันบ้างตามชนิดไขพอจะสรุปได้ว่า มะม่วงและมะนาวที่เคลือบด้วยอิมัลชันไขคาร์บูบาที่เข้มข้นร้อยละ 10 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดการสูญเสียน้ำหนัก แต่จะมีผลเสียน้ำหนักของแครอทที่เก็บไว้ที่ทั้งสองอุณหภูมิ ส่วนอิมัลชันไคร้ข้าวเข้มข้นร้อยละ 10 จะมีประสิทธิภาพสูงสุดต่อการเคลือบพริกหวานที่เก็บรักษาไว้ที่ 22 องศาเซลเซียส

กิริติณฏฐ พูลเกษร และคณะ (2551) ศึกษาการประเมินอายุการเก็บรักษาของสารป้องกันการเกาะติดโดยใช้วิธีสภาวะเร่ง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของสารป้องกันการ

เกาะติดที่พัฒนาขึ้น 2 สูตรคือ น้ำมันปาล์มโอเลอิน และไขผึ้ง และน้ำมันปาล์มโอเลอิน และไขคาร์นูบา โดยใช้วิธีสภาวะแรงที่อุณหภูมิ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส วัดค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (AV) และค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกอุณหภูมิการเก็บอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อนำข้อมูลมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่เกิดขึ้นกับเวลา พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์เป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 เนื่องจากความสัมพันธ์ของค่า  $\ln PV$  กับระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นลักษณะเชิงเส้นตรง ในขณะที่ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระไม่ได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง จึงใช้ค่าเปอร์ออกไซด์ในการทำนายอายุการเก็บรักษาเพียงค่าเดียว จากสมการอาร์เรเนียส พบว่า ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สารป้องกันการเกาะติดจากน้ำมันปาล์ม และไขผึ้ง และจากน้ำมันปาล์มและไขคาร์นูบา มีอายุการเก็บรักษา 82 และ 83 วัน ตามลำดับ

Vali *et al.* (2005) ศึกษาการเตรียมไขรำข้าวบริสุทธิ์เพื่อใช้ในอาหาร โดยการพัฒนาขั้นตอนการทำบริสุทธิ์ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การใช้สารละลายเพื่อกำจัดน้ำมันในไขรำข้าวดิบ ซึ่งทำให้ได้ไขรำข้าวดิบที่มีสีเข้ม แห้ง และมีจุดหลอมเหลวประมาณ 75-79 องศาเซลเซียส ขั้นตอนที่ 2 คือขั้นตอนการกำจัดสีด้วย  $\text{NaBH}_4$  ใน isopropanol ซึ่งสามารถกำจัด resinous matter (RM) ที่เป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในไขรำข้าวออกไปได้ ทำให้ได้รำข้าวที่มีสีเหลืองอ่อน กลิ่นไขจางลง และไขรำข้าวมีความบริสุทธิ์มากกว่า 99% และมีจุดหลอมเหลวเพิ่มขึ้นเป็น 80-83 องศาเซลเซียส

Martini *et al.* (2008) ศึกษาการเติมไขลงในผลิตภัณฑ์อิมัลชัน พบว่า การเติมไขช่วยเหนียวน้ำ และส่งเสริมให้เกิดผลึกของไขมันเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และคงตัวที่อุณหภูมิสูง ( $>25^\circ\text{C}$ ) นอกจากนี้ยังมีผลในการลดระยะเวลาการเหนียวน้ำการเกิดผลึก และต้องใช้พลังงานสูงในการทำลายโครงสร้างผลึก และผลึกที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็ก จากการศึกษาทำให้ทราบว่า การเติมไขในอิมัลชันจะช่วยปรับปรุงโครงสร้างไขมัน และคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ เช่น เนื้อสัมผัส ความเรียบเนียน และความรู้สึกในปาก (mouthfeel)

Dassanayake *et al.* (2009) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของไขรำข้าว (RBX) และคุณสมบัติการเป็น Organogels พบว่า ไขรำข้าวมีอุณหภูมิที่ทำให้เกิดผลึกที่ 77-79 องศาเซลเซียส และมี  $\Delta H$  ที่ใช้ในการหลอมเหลวเท่ากับ 190.5 J/g ซึ่งมีความมากกว่าไขแคนดิลลา (candellila wax, CLX) และไขคาร์นูบา (carnauba wax, CRX) ลักษณะผลึกไขรำข้าวเป็นแบบ  $\beta'$  หรือเป็นแบบ orthorhombic และมีระยะห่างระหว่างชั้นของผลึกเท่ากับ 6.9 nm. และพบว่าผลึกมีการจัดเรียงตัวแบบ needle-shaped and fibrous crystal ปริมาณของไขรำข้าว 1% สามารถทำให้เกิดเจลในระบบน้ำมันได้ ขณะที่ CLX และ CRX ต้องใช้ความเข้มข้นถึง 2 และ 4% จากคุณสมบัติต่างๆ จึงสรุปว่า ไขรำข้าวมีคุณสมบัติการทำให้เกิดเจลที่ดี

### บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 วัสดุดิบ

- 1) ไซร่าข้าว (จากบริษัท น้ำมันบริโภคไทย จำกัด)
- 2) น้ำมันเนย (Fonterra Co. Ltd., New Zealand)
- 3) น้ำมันปาล์ม (Cargill Co. Ltd., Malaysia)
- 4) นมผง (Fonterra Co. Ltd., New Zealand)
- 5) เกลือ (ปรุงทิพย์)
- 6) น้ำ
- 7) เฮกเซน
- 8) ไอโซโพรพานอล

#### 3.2 วัสดุอุปกรณ์

- 1) อุปกรณ์ และเครื่องมือ  
  - 1.1) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance 240 A/Precisa, Switzerland)
  - 1.2) อุปกรณ์เครื่องครัว
  - 1.3) ตู้เย็น
  - 1.4) ตู้แช่แข็ง (Freezer)
  - 1.5) เครื่องปั่นผสมพร้อมโกลสแตนเลส
- 2) อุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ด้านกายภาพ  
  - 2.1) เครื่องวัดสี (Handy colorimeter NR-3000, Japan)
  - 2.2) เครื่องวัดความหนืด /ความคงตัว (Viscometer)
  - 2.3) อุปกรณ์เครื่องแก้ว และเคมีภัณฑ์
  - 2.4) กล้องจุลทรรศน์
  - 2.5) เครื่องหมุนเหวี่ยง
- 3) อุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ด้านเคมี  
  - 3.1) เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH meter)
- 4) วัตถุเจือปนอาหาร  
  - 4.1) เลซิทีน

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 1) การเตรียมไซรัลข้าวบรืสุทธ์

เตรียมไซรัลข้าวบรืสุทธ์ โดย ผสมเฮกเซน และไซรัลข้าวในอัตราส่วน 1:5 (น้ำหนักโดยปริมาตร) จากนั้นนำมาหลอมละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำไปทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้ส่วนไขตกผลึก แล้วนำไปเหวี่ยงแยกผลึกไขออก ล้างไขออกด้วย เฮกเซนเย็น (5 องศาเซลเซียส) ในอัตราส่วนเท่าเดิม เหวี่ยงแยกผลึกไขแล้วนำไปละลายในไอโซโพรพานอลในอัตราส่วน 1:5 เช่นเดียวกัน ทำการระเหยที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส พร้อมกับกวนตลอดเวลา 15 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ตกผลึกจึงเหวี่ยงแยกผลึกไข ทำซ้ำอีกครั้งหนึ่ง แล้วทิ้งผลึกไขให้แห้ง (สายสนมประดิษฐดวง และคณะ, 2533) วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ภายภาพของไซรัลข้าวบรืสุทธ์ ได้แก่ องค์ประกอบของไซรัลข้าวด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี (GC) ค่าสี จุดหลอมเหลว ค่าไอโอดีน และค่าเปอร์ออกไซด์

#### 2) การเตรียมอิมัลชัน

เตรียมอิมัลชันระบบน้ำในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเนยร้อยละ 58 น้ำมันปาล์มร้อยละ 25 ส่วนผสมทั้งหมด คือ น้ำร้อยละ 15 นมผงร้อยละ 1 เกลือร้อยละ 1.2 มาผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำมาผสมกับ อิมัลซิไฟเออร์ คือ เลซิทีนร้อยละ 0.16 โดยใช้ปริมาณสูงสุดที่กำหนดให้ใช้ตามค่ามาตรฐานของเนย ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยใช้เครื่องปั่นผสมที่ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที นาน 45 นาที

### 3) การศึกษาคุณภาพของอิมัลชัน

#### 3.1 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ

##### 3.1.1 ค่าสี

3.1.1.1 วัดค่าสีโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ละลายตัวอย่างให้ได้ปริมาณร้อยละ 5 ในคลอโรฟอร์มโดยปริมาตร จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสง โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตรโดยใช้คลอโรฟอร์มเป็นเบงค์ บันทึกค่าดูดกลืนแสง (ABS)

3.1.1.2 วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Handy colorimeter NR-3000. Japan) โดยนำน้ำมันเนย น้ำมันปาล์ม และไซรัลข้าว ประมาณ 25-30 มิลลิลิตร ใส่ลงในถ้วยพลาสติกสีขาวแล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง โดยทำการวัด 3 ซ้ำ บันทึกค่าสี L, a และ b

##### 3.1.2 ค่าความหนืด

นำตัวอย่างที่จะวัดจำนวน 500 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตรปรับหัววัดจุ่มอยู่ในตัวอย่างที่จะวัด โดยให้ตัวอย่างตรงกับระดับเครื่องหมายที่กำกับในหัววัด เปิดให้เครื่องทำการวัดพร้อมกับจับเวลา 1 นาทีแล้วอ่านค่า % การบิด (% Torque) ความหนืด (เซนติพอยส์) และอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) บันทึกค่าความหนืดที่ให้ค่า %Torque > 75 ขึ้นไป (โดยปกติค่าความหนืดที่ยอมรับได้มีค่า %Torque อยู่ระหว่าง 10-100 กรณีต้องการให้ค่าที่ได้แม่นยำ ควรปรับให้ค่า % Torque ที่อ่านได้ใกล้เคียง 100) ทำการวัด 3 ซ้ำ โดยควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างที่วัดให้อยู่ในช่วง  $25 \pm 1$  องศาเซลเซียส

### 3.1.3 ความคงตัวของอิมัลชัน

นำอิมัลชันที่ได้จากข้อ 1 ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที และนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที วัดการแยกตัวของน้ำ และน้ำมัน คำนวณหาความคงตัวของอิมัลชันเป็นร้อยละดังนี้ โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ (ดัดแปลงจาก Hung & Zayas, 1991)

$$\text{ความคงตัวของอิมัลชัน (ร้อยละ)} = \frac{(\text{ปริมาตรทั้งหมด}-\text{ปริมาตรน้ำและน้ำมันที่แยกตัว})}{\text{ปริมาตรทั้งหมด}} \times 100$$

### 3.1.4 ศึกษาลักษณะของอิมัลชันระบบน้ำในน้ำมัน

นำอิมัลชันที่เตรียมได้มาหยดลงบนกระจกสไลด์ ปิดทับด้วยกระจกบางแล้วนำ มาส่องดูลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยใช้เลนส์วัตถุกำลังขยาย 40 และ 100 เท่า (ขึ้นกับขนาดหยดน้ำของอิมัลชัน)

## 3.2 ศึกษาคุณภาพทางเคมี

### 3.2.1 ค่ากรดไขมันอิสระ

หลอมเหลวตัวอย่างน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 7.05 กรัม ใส่ลงขวดรูปชมพู่ เติมนutralized alcohol 50 ml และเติม phenolphthalein 2 ml ไทเทรตด้วย 0.1 N NaOH จนปรากฏสีชมพูจางๆ บันทึกปริมาตรของด่างที่ใช้ไทเทรต

#### การคำนวณ

คำนวณในรูป oleic acid

$$\% \text{FFA as oleic} = \frac{\text{ml of alkali} \times N \times 28.2}{\text{Weight of sample}}$$

หมายเหตุ N = ความเข้มข้นของด่าง

### 3.2.2 ค่าเปอร์ออกไซด์

ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม โพแทสเซียมไอโอไดด์ 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมตัวทำละลายผสมลงไป 20 มิลลิลิตร (ตัวทำละลายผสม ประกอบด้วยกรดอะซิติก 3 ส่วน และคลอโรฟอร์ม 2 ส่วน ปริมาณต่อปริมาณ ผสมให้เข้ากันก่อนเทลงในหลอดแก้ว) ควรทำในตู้ดูดควัน (Fume hood) นำหลอดแก้วไปต้มในน้ำเดือดนานไม่เกิน 30 นาที เทของเหลวที่กำลังเดือดลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 จำนวน 20 มิลลิลิตร ล้างหลอดทดลองด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ครั้งละ 15 และ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ เทน้ำที่ล้างลงในขวดรูปชมพู่ และทำการไตเตรตสารละลายในขวดรูปชมพู่ด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เข้มข้น 0.002 โมลาร์ จนสี

เหลือจางลง เติมน้ำแบ่งลงไป 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ ไตเตรตต่อจนถึงจุดยุติ คือ เมื่อสีฟ้าจางหายไปหมดจนสารละลายไม่มีสี และบันทึกปริมาณของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ที่ใช้กับตัวอย่าง (A มิลลิลิตร) และที่ใช้กับ Blank (B มิลลิลิตร) คำนวณหาค่าเปอร์ออกไซด์

$$\text{ค่าเปอร์ออกไซด์} = \frac{A - B (\text{มิลลิลิตร})}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (g)}}$$

#### 4) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการศึกษาของอิมัลชัน

นำตัวอย่างที่ได้ตั้งไว้ที่อุณหภูมิ  $35 \pm 2$  องศาเซลเซียส ทำการตรวจสอบในวันที่ 0, 5, 10, 15 และ 20 วัน โดยศึกษาคุณภาพทางด้านต่างๆ ได้แก่

- 4.1) คุณภาพทางกายภาพ ประกอบด้วย ค่าสี ความหนืด และความคงตัวของ
- 4.2) คุณภาพทางเคมี ประกอบด้วย ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์

#### 5) การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลอง และวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพของความแตกต่างระหว่างไขรำข้าวดิบ และไขรำข้าวบริสุทธิ์ด้วยการทดสอบแบบ t-test และวางแผนการทดลองในการวัดค่าความคงตัวของอิมัลชัน ขนาดอนุภาคของอิมัลชันระบบน้ำในน้ำมัน ค่าความหนืดของอิมัลชัน ค่าสี และค่าความเป็นกรดต่าง แบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

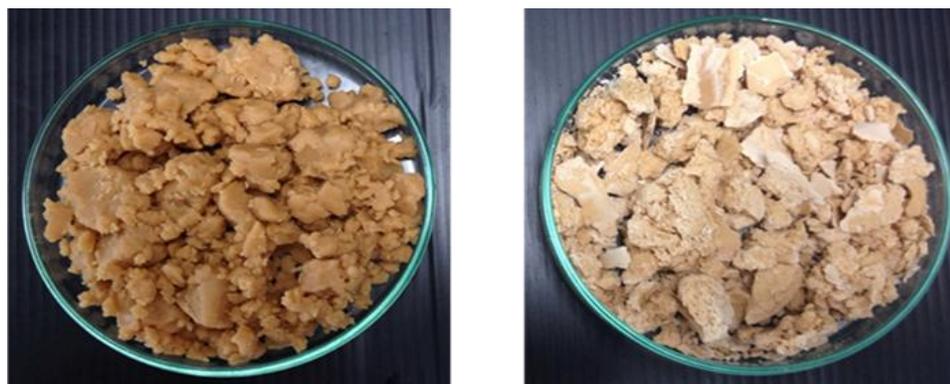
## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของไขมันที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์

ไขมันดิบมีสิ่งเจือปนอื่นๆ เช่น น้ำมันรำข้าว และองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ไขมันที่ไม่ต้องการอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น รงควัตถุ ฟอสฟอลิปิด และกรดไขมันอิสระ เป็นต้น เพื่อไม่ให้สิ่งเจือปนดังกล่าวเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลทำให้การศึกษาเกิดความคลาดเคลื่อน จึงนำไขมันที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ไขมันประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ 1) การกำจัดไขมัน (Defatting) เป็นขั้นตอนการกำจัดน้ำมันที่อาจหลงเหลืออยู่ในไซ โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว เช่น Chloroform, hexane, isopropanol และ acetone เป็นต้น 2) การกำจัดสี (Bleaching) เพื่อกำจัด รงควัตถุ และ resinous matter ที่เป็นสารประกอบของแอลดีไฮด์ แพคตีแอลกอฮอล์ (fatty alcohols) และกรดไขมัน (fatty acid) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ให้สีน้ำตาล และกลิ่นของไซ ในไขมันรำข้าว Vali *et al.* (2005) ศึกษาการเตรียมไขมันเกรดอาหาร food-grade โดยกำจัดไขมันด้วย hexane และ isopropanol จากนั้นกำจัดสีด้วย  $\text{NaBH}_4$  / isopropanol พบว่า การทำให้บริสุทธิ์มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของไขมัน และไขมันบริสุทธิ์ที่ได้มีสีเหลืองอ่อน กลิ่นของไขมันลดลง และมีความบริสุทธิ์มากกว่า 99%

#### 4.1.1 คุณภาพทางกายภาพ

จากการศึกษาคุณภาพทางกายภาพของไขมันดิบ และไขมันบริสุทธิ์ ประกอบด้วย ค่าสี (L, a, b) ค่าความแตกต่างสี ( $\Delta E$ ) และจุดหลอมเหลว ( $^{\circ}\text{C}$ ) ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า กระบวนการทำให้บริสุทธิ์มีผลทำให้คุณภาพทางกายภาพของไขมันเกิดการเปลี่ยนแปลง ค่าสีเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยไขมันดิบมีค่า a สูงกว่าไขมันบริสุทธิ์ ขณะที่ค่า L และ b ต่ำกว่าไขมันบริสุทธิ์ เมื่อสังเกตจากภาพที่ 4.1 จะเห็นว่าไขมันดิบมีสีน้ำตาล และเมื่อผ่านการทำให้บริสุทธิ์ไขมันจะมีสีที่สว่างมากขึ้น และมีสีน้ำตาลที่อ่อนลง ซึ่งสามารถแสดงถึงความแตกต่างของสีในตัวอย่างทั้ง 2 ได้ ด้วยค่า  $\Delta E$  ซึ่งโดยปกติแล้วค่า  $\Delta E$  ที่มีค่ามากกว่า 3 จะสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งเห็นได้ว่ากระบวนการทำให้บริสุทธิ์ส่งผลให้ค่าสีของไขมันมีค่าความแตกต่างถึง 19.06 การเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้น เกิดจากการที่สารปะปนอื่นๆ รวมถึงรงควัตถุบางอย่างถูกกำจัดออกระหว่างกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ เมื่อวิเคราะห์จุดหลอมเหลวของไขมันดิบ และไขมันบริสุทธิ์ พบว่า ไขมันบริสุทธิ์มีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าไขมันดิบ เนื่องจากในกระบวนการทำให้บริสุทธิ์มีขั้นตอนการกำจัดน้ำมันทำให้น้ำมันรำข้าวที่ถูกดูดซับอยู่ในไขมันซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าส่วนของไซ และสิ่งเจือปนอื่นๆ ถูกกำจัดออกไปจึงเป็นผลให้ไขมันบริสุทธิ์มีจุดหลอมเหลวที่สูงขึ้น



ก)

ข)

ภาพที่ 4.1 ลักษณะไขรำข้าว ก) ไขรำข้าวดิบ และ ข) ไขรำข้าวบริสุทธิ์

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของไขรำข้าวดิบ และไขรำข้าวบริสุทธิ์

	RBW	
	ไขรำข้าวดิบ	ไขรำข้าวบริสุทธิ์
ค่าสี		
L* (ค่าความสว่าง)	35.73±0.80 <sup>a</sup>	54.46±2.55 <sup>b</sup>
a* (ค่าความเป็นสีแดง-เขียว)	8.16±0.38 <sup>a</sup>	6.63±0.75 <sup>b</sup>
b* (ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน)	14.40±1.65 <sup>a</sup>	17.60±1.06 <sup>b</sup>
ΔE (ค่าความแตกต่างของสี)		19.06
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	74.00±0.00 <sup>a</sup>	79.33±0.94 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

<sup>a, b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.1.2 คุณภาพทางเคมี

ไขรำข้าวมีองค์ประกอบหลักประกอบด้วย แวกซ์เอสเทอร์ (wax ester, WE) ที่เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid, FA) กับ แฟตตี้แอลกอฮอล์ (fatty alcohol, FL) จากตารางที่ 4.2 พบว่า ไขรำข้าวมี FA ที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลตั้งแต่ C14-C38 อะตอม และ FL ที่มีคาร์บอน C22-C38 อะตอม โดยมี FA ที่มีคาร์บอน 22, 24 และ 26 และ FL ที่มีคาร์บอน 30, 32 และ 34 เป็นองค์ประกอบหลักกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขรำข้าวเป็นกรดไขมันอิ่มตัวชนิดสายโซ่ปานกลาง และสายโซ่ยาว ทำให้ทราบได้ว่า ไขรำข้าวมี WE ที่มีคาร์บอนอะตอม 44, 48, 52, 60, 64 และ 68 เป็นองค์ประกอบหลัก

แต่ทั้งนี้ปริมาณของไขมัน และสัดส่วนขององค์ประกอบในไขมันจะมีความผันแปรขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สายพันธุ์ของข้าว ประวัติของไร่ข้าว วิธีการสกัด สภาพที่ใช้ และชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด เป็นต้น (Orthofer, 1996; Vali et al., 2005)

**ตารางที่ 4.2** องค์ประกอบทางเคมีของไขมันข้าว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

	Fatty acid	Fatty alcohol
< C14	1.00 ± 0.00	-
C16	3.83 ± 0.32	-
C18	2.25 ± 0.12	-
C20	5.20 ± 0.34	-
C22	25.95 ± 1.31	1.48 ± 0.24
C24	40.45 ± 1.35	3.90 ± 0.11
C26	11.13 ± 0.74	6.19 ± 0.31
C28	6.05 ± 0.13	9.24 ± 0.21
C30	2.95 ± 0.25	17.86 ± 1.18
C32	1.20 ± 0.24	28.01 ± 1.28
C34	1.00 ± 0.15	25.57 ± 0.89
C36	3.83 ± 0.32	7.00 ± 0.29
C38	2.25 ± 0.05	1.48 ± 0.12

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศึกษาคุณภาพทางเคมีของไขมันข้าว ประกอบด้วย ค่าไอโอดีน (IV) ค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) และค่าสaponification (SN) โดยค่า PV และ FFA เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันและไขมัน และมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือหากน้ำมัน หรือ ไขมันมีค่า FFA มาก จะส่งผลให้ค่า PV มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเป็นต้นเหตุสำคัญของการเกิดกลิ่นผิดปกติที่เรียกว่า กลิ่นหืน (Rancidity) น้ำมัน หรือ ไขมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (USFA) เช่น น้ำมันรำข้าว มีโอกาสเกิดกรดไขมันอิสระ และเกิดกลิ่นหืนสูงกว่าน้ำมัน หรือ ไขมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวสูง (SFA) เนื่องจาก USFA มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เป็นอนุมูลอิสระ และสารประกอบที่ให้กลิ่นหืน เร็วกว่า SFA (Ghotra et al., 2002) จากการศึกษาพบว่า ไขมันข้าวบริสุทธิ์มีค่า FFA และค่า PV น้อยกว่าไขมันข้าวดิบ เนื่องจากขั้นตอนกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ไขมันข้าวมีขั้นตอนที่การแยกน้ำมันรำข้าวซึ่งเป็น USFA และกรดไขมันอิสระที่มีอยู่บางส่วนออก สังเกตได้จากค่า IV ที่มีค่าลดลงในไขมันข้าวบริสุทธิ์จึงมีค่า FFA และค่า PV ที่ลดลง (ตารางที่ 4.3)

**ตารางที่ 4.3** คุณภาพทางเคมีของไขรำข้าวดิบ และไขรำข้าวบริสุทธิ์

	ไขรำข้าวดิบ	ไขรำข้าวบริสุทธิ์
ค่าไอโอดีน (mg/g)	40.80 ± 0.36 <sup>a</sup>	9.40 ± 0.24 <sup>b</sup>
ค่ากรดไขมันอิสระ (% oleic acid)	3.60 ± 0.16 <sup>a</sup>	2.16 ± 0.57 <sup>b</sup>
ค่าเปอร์ออกไซด์ (mEq)	24.90 ± 1.47 <sup>a</sup>	8.10 ± 0.56 <sup>b</sup>
ค่าสปอนนิฟิเคชัน (mg KOH/g oil)	140.50 ± 1.71 <sup>a</sup>	80.78 ± 1.43 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

<sup>a, b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2 ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (W/O)

นำไขรำข้าวบริสุทธิ์มาเติมลงในระบบอิมัลชัน เพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) และ/หรือ สารเพิ่มความหนืด (Thickening agent) ให้ระบบอิมัลชันมีความเสถียร และความคงตัวมากขึ้น โดยแปรระดับไขรำข้าวออกเป็น 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 น้ำหนักไขรำข้าวต่อน้ำหนักอิมัลชันทั้งหมด

##### 4.2.1 คุณภาพทางกายภาพ

จากการวัดค่าสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร โดยละลายตัวอย่างอิมัลชันในคลอโรฟอร์ม ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 และใช้คลอโรฟอร์มเป็นแบลนด์ (Blank) เพื่อใช้ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของไขรำข้าวต่อค่าการดูดกลืนแสงของระบบอิมัลชัน โดยใช้การวัดปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนด้วยสารตัวอย่างนั้น ลำแสงที่ผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง แล้ววัดปริมาณของแสงที่ผ่านทะลุออกมาโดยเปรียบเทียบกับแสงที่ทะลุออกมาเมื่อไม่มีสารตัวอย่าง (มัน อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม, 2534) พบว่า การเติมไขรำข้าวไม่ส่งผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของระบบอิมัลชัน ซึ่งสังเกตได้จากค่าการดูดกลืนแสงของระบบอิมัลชันที่มีความเข้มข้นของไขรำข้าวต่างๆ ที่ไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) จากการวัดค่าสี Hunter LAB โดยค่า L คือ ค่าแสดงความสว่างเริ่มจาก 0 คือ สีดำ ถึง 100 คือสีขาว ค่า a แสดงความเป็นสีแดงเมื่อเป็นบวก หรือเป็นสีเขียวเมื่อเป็นลบ และค่า b แสดงความเป็นสีเหลืองเมื่อเป็นบวก หรือเป็นสีน้ำเงินเมื่อเป็นลบ จากการทดลองผลแสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่า การเติมไขรำข้าวส่งผลต่อค่าสีของระบบ ทำให้ระบบมีความสว่างเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากค่า L ที่มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ระบบมีความเป็นสีเขียว (a) และมีความเป็นสีเหลือง (b) เพิ่มขึ้นเมื่อเติมไขรำข้าวเพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ )

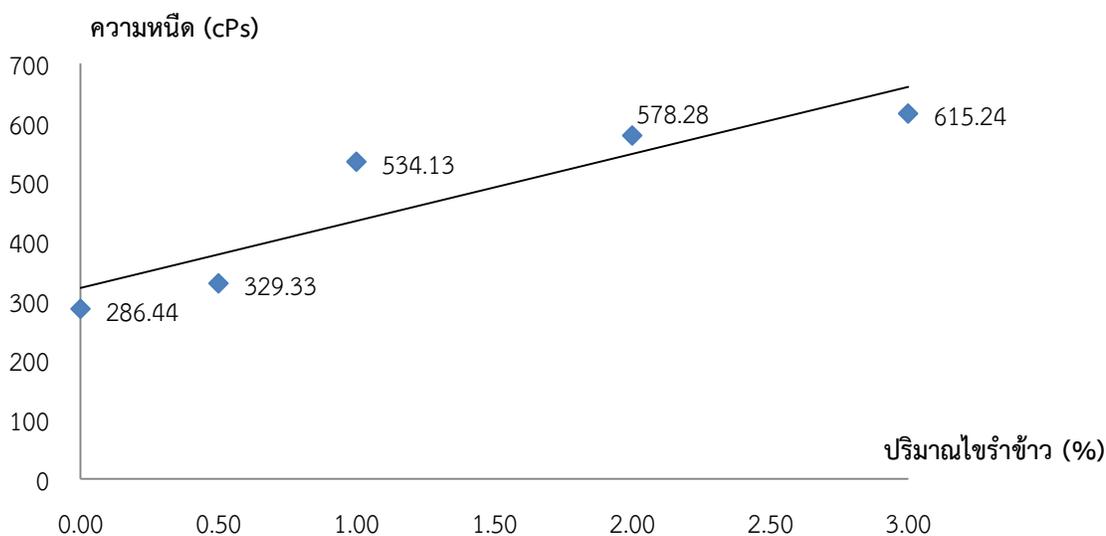
**ตารางที่ 4.4** ค่าการดูดกลืนแสง (Abs) ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และค่าสี (L, a, b) ของอิมัลชันที่เติมไซรัข้าวปริมาณร้อยละ 0.5, 1, 2 และ 3

	ระดับการเติมไซรัข้าว (ร้อยละ)				
	Control	0.5	1.0	2.0	3.0
ค่าการดูดกลืนแสง <sup>ns</sup>	2.72± 0.38	2.69±0.00	2.56±0.00	2.71±0.00	2.71±0.00
L	50.02±0.68 <sup>c</sup>	49.71±13.55 <sup>c</sup>	55.80±0.07 <sup>b</sup>	56.82±0.06 <sup>a</sup>	56.02±0.05 <sup>ab</sup>
a	-0.23±1.49 <sup>a</sup>	-0.23±0.07 <sup>a</sup>	-0.45±0.07 <sup>b</sup>	-0.45±0.14 <sup>b</sup>	-0.62±0.10 <sup>c</sup>
b	13.03±1.97 <sup>a</sup>	12.93±0.10 <sup>a</sup>	11.53±0.10 <sup>ab</sup>	10.54±0.05 <sup>b</sup>	11.01±0.06 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; <sup>ns</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยแน่นอนไม่มีความแตกต่าง (p>0.05)

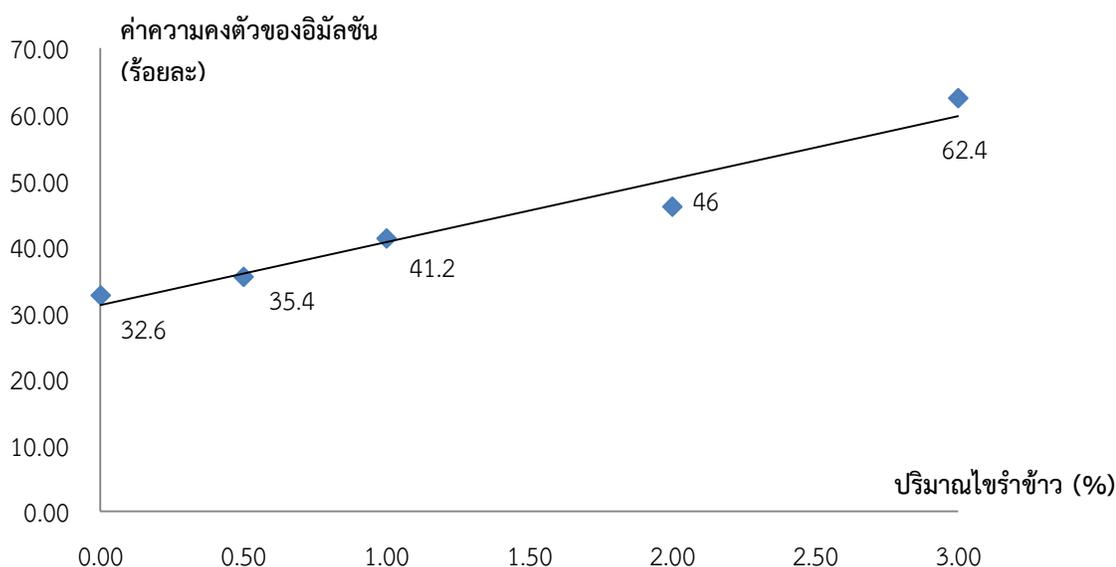
<sup>a, b, c</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

เมื่อทำการศึกษาค่าความหนืดของ W/O ด้วยเครื่อง Brookfield Viscometers โดยใช้หัวหมุน (Spindle) เบอร์ 2 อ่านค่าความหนืดหลังทดสอบนาน 1 นาที ค่าความหนืดแสดงดังภาพที่ 4.2 พบว่าการเติมไซรัข้าวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คุณลักษณะด้านความหนืดของระบบอิมัลชันเพิ่มขึ้น (p<0.05) การเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดในระบบอิมัลชัน แสดงให้เห็นว่าไซรัข้าวทำหน้าที่ในการเป็นสารเพิ่มความหนืด (gelling agent) ให้กับระบบ เป็นตัวที่ทำให้ระบบน้ำมันเกิดออกาโนเจล (Organogelators) ซึ่งการที่ระบบมีความหนืดเพิ่มขึ้นจะทำให้ระบบอิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น เนื่องจากความหนืดจะช่วยลดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำมันไม่ให้เคลื่อนที่เข้าใกล้ และรวมตัวกันจนโมเลกุลมีขนาดใหญ่ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการแยกชั้นของไขมัน นอกจากนี้ยังพบว่าการเกิดโครงสร้าง 3 มิติ ของไซรัข้าวในระบบอิมัลชัน ช่วยกักเก็บ (Entraps) ไขมันเหลวไว้ในโครงสร้างได้เป็นอย่างดี (Blake et al., 2014)



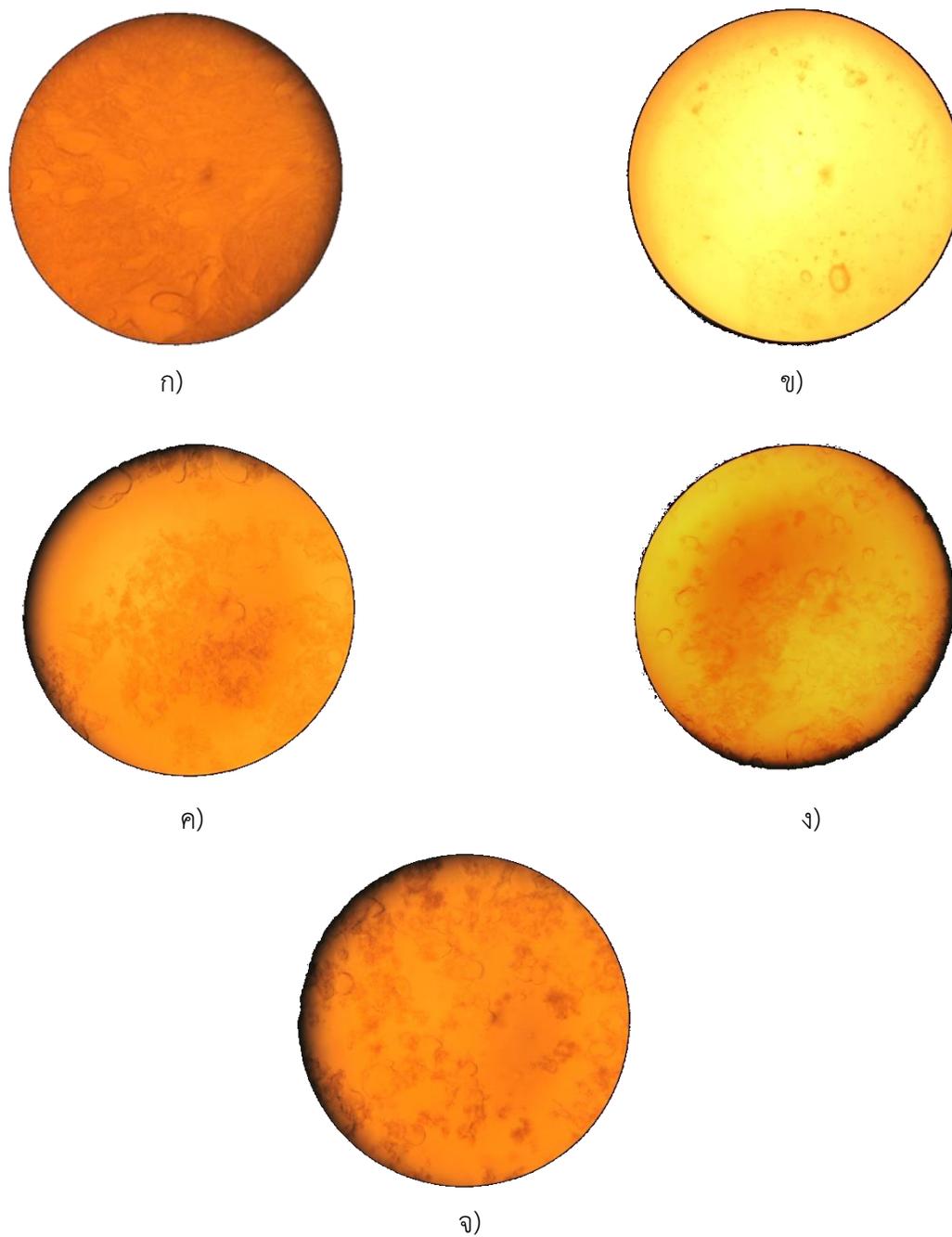
**ภาพที่ 4.2** ค่าความหนืดของอิมัลชันเมื่อเติมไซรัข้าวที่ระดับต่างๆ

จากการวัดค่าความคงตัวของอิมัลชันโดยใช้การหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบ ต่อ นาที นาน 30 นาที พบว่า อิมัลชันที่ทำการเติมไขรำข้าวมีความคงตัวเพิ่มขึ้นจากสูตรควบคุม จากภาพที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมไขรำข้าวลงในระบบมากขึ้น ระบบมีความคงตัวเพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนืดตั้งที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น ร่วมกับการที่ไขรำข้าวมีคุณสมบัติในการเป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่ำ และจะเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นของเหลวเมื่อได้รับความร้อน ค่าความหนืดของระบบจะลดลง และเกิดการแยกชั้นของอิมัลชันได้ที่อุณหภูมิสูง



ภาพที่ 4.3 ร้อยละความคงตัวของอิมัลชันเมื่อเติมไขรำข้าวที่ระดับต่างๆ

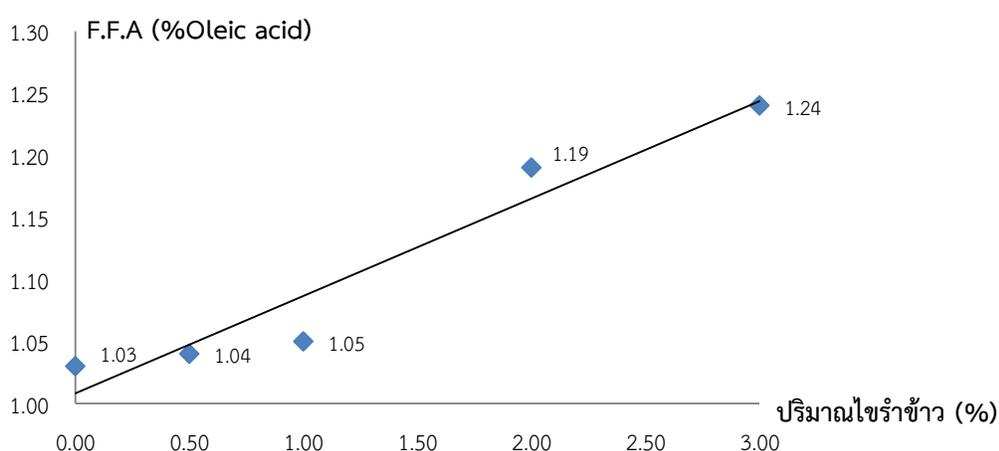
ภาพที่ 4.4 แสดงลักษณะของผลึกไขมัน และน้ำมันในระบบอิมัลชัน W/O จะเห็นได้ว่าลักษณะอิมัลชันของตัวอย่างที่ไม่เติมไขรำข้าว และเติมไขรำข้าวมีลักษณะที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อเติมไขรำข้าวเพิ่มขึ้น ระบบอิมัลชันมีผลึกเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก และผลึกมีลักษณะรวมตัว และต่อเนื่องกันมากขึ้น โดยผลึกของไขจะรวมกลุ่มอยู่กับหยดน้ำ และรวมตัวอยู่กับส่วนของเฟสต่อเนื่อง ผลึกไขรำข้าวมีลักษณะของผลึกในรูปแบบ  $\beta'$  และมีลักษณะการจัดเรียงตัวแบบ needle-like and fibrous crystal ทำให้ไขรำข้าวมีความสามารถในการอ้อมน้ำมันได้ จึงกล่าวได้ว่าไขรำข้าวมีคุณสมบัติในการเป็น oil-structuring และ gelling agent (สอดคล้องกับภาพที่ 4.2 ที่ระบบอิมัลชันมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อมีระดับของไขรำข้าวเพิ่มขึ้น) ได้ (Dassanayake *et al.*, 2009) นอกจากนี้ยังเป็นผลร่วมที่เกิดจากคุณสมบัติของไขรำข้าวที่มีจุดหลอมเหลวสูงถึง 85 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถเกิดผลึกได้ที่อุณหภูมิสูง ทำให้ระบบมีความหนืด และมีความคงตัวมากขึ้น (ภาพที่ 4.2 และ 4.3)



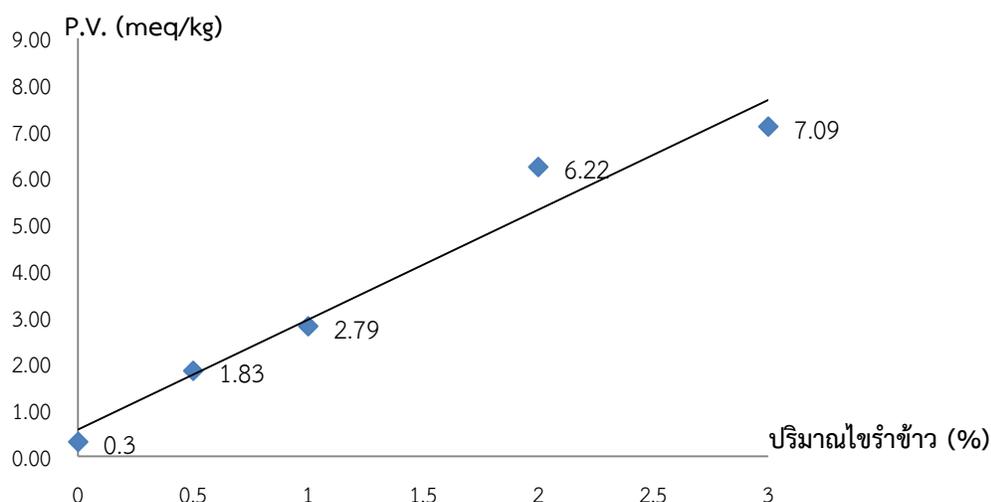
ภาพที่ 4.4 ลักษณะผลึกของไขมัน และน้ำมัน ในระบบอิมัลชันแบบ W/O ที่เติมไซราข้าว ระดับต่างๆ ที่ใช้กล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย  $\times 40$ ) ก) สูตรควบคุม (ร้อยละ 0) ข) ร้อยละ 0.5 ค) ร้อยละ 1.0 ง) ร้อยละ 2.0 และ จ) ร้อยละ 3.0

#### 4.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) พบว่า ระบบอิมัลชันมีค่ากรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ไขมันข้าวร้อยละ 2 และ 3 ( $p < 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ไขมันข้าวมีกรดไขมันอิสระอยู่ (ตารางที่ 4.3) จึงทำให้เมื่อใส่ปริมาณมาก กรดไขมันอิสระจึงไปเหนี่ยวนำให้ไขมัน และน้ำมัน ที่อยู่ในรูปไตรกลีเซอไรด์ เกิดเป็นกรดไขมันอิสระในระบบมากขึ้น เมื่อเทียบกับสูตรควบคุมดังภาพที่ 4.5 เมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระในระบบเพิ่มขึ้นในขั้นตอน Initiation ทำให้เกิดปฏิกิริยาการหืนในขั้น Propagation ซึ่งเป็นขั้นที่ผลิตสารเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบที่สามารถสลายตัวก็ให้เกิดสารประกอบให้กลิ่นอื่นๆ ได้ จึงทำให้มีค่าเปอร์ออกไซด์ (P.V.) สูง จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อเติมไขมันข้าวเพิ่มขึ้นค่า P.V. ก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วยดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.5 ค่ากรดไขมันอิสระในระบบอิมัลชัน ที่เติมไขมันข้าวระดับต่างๆ



ภาพที่ 4.6 ค่าเปอร์ออกไซด์ในระบบอิมัลชัน ที่เติมไขมันข้าวระดับต่างๆ

### 4.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

#### 4.3.1 คุณภาพทางกายภาพ

เมื่อทำการเก็บรักษาอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันนาน 20 วัน พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าการดูดกลืนแสง (ตารางที่ 4.5) กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้นตัวอย่างทุกตัวอย่างมีค่าการดูดกลืนแสงลดลง โดยที่วันแรกของการเก็บรักษา ค่าการดูดกลืนแสงของทุกสูตรไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) และจะเริ่มมีความแตกต่างกันที่อายุการเก็บ 5 วันเป็นต้นไป ( $p\leq 0.05$ ) โดยมีแนวโน้มที่มีค่าลดลงในทุกสูตรการทดลอง ( $p\leq 0.05$ ) และการเติมโซร่าขาวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงลดลงน้อยกว่าสูตรควบคุม ( $p\leq 0.05$ ) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากปัจจัยทางด้านกายภาพ ได้แก่ แสง ออกซิเจน และอุณหภูมิ ที่ส่งผลให้เกิดออกซิเดชันที่พันธะคู่ของกรดไขมัน ทำให้มีความอิ่มตัวเพิ่มขึ้น เกิดการดูดกลืน และหักเหแสงของไขมันเปลี่ยนแปลงไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี

ตารางที่ 4.5 ค่าการดูดกลืนแสง (Abs) ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ของอิมัลชันที่เติมโซร่าขาว ร้อยละ 0.5, 1, 2 และ 3 ที่อายุเก็บรักษา 20 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ระดับการเติมโซร่าขาว (ร้อยละ)				
	Control	0.5	1	2	3
0 <sup>ns</sup>	2.72±0.38 <sup>A</sup>	2.69±0.00 <sup>B</sup>	2.56±0.00 <sup>B</sup>	2.71±0.00 <sup>B</sup>	2.71±0.00 <sup>A</sup>
5	2.18±0.43 <sup>ABb</sup>	2.84±0.00 <sup>Aa</sup>	2.74±0.00 <sup>Aab</sup>	2.67±0.00 <sup>Bab</sup>	2.29±0.00 <sup>Bb</sup>
10	1.85±0.01 <sup>Bb</sup>	2.66±0.00 <sup>Ba</sup>	2.68±0.00 <sup>Aa</sup>	2.97±0.00 <sup>Aa</sup>	2.07±0.00 <sup>BCb</sup>
15	1.59±0.01 <sup>Bb</sup>	2.39±0.00 <sup>Ca</sup>	2.48±0.00 <sup>Ca</sup>	2.13±0.01 <sup>Cb</sup>	1.10±0.00 <sup>Dc</sup>
20	1.86±0.01 <sup>Bc</sup>	1.89±0.00 <sup>Dc</sup>	2.32±0.00 <sup>Da</sup>	1.67±0.00 <sup>Dd</sup>	1.94±0.00 <sup>Cb</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

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

<sup>A, ..., D</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

<sup>a, ..., d</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

ค่าสี ของระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันที่วิเคราะห์โดยเครื่อง Handy Colormeter แสดงด้วย ค่า L (ค่าความสว่างเริ่มจาก 0 คือ สีดำ ถึง 100 คือสีขาว) a (เป็นสีแดงเมื่อเป็นบวก หรือเป็นสีเขียวเมื่อเป็นลบ) และ b (เป็นสีเหลืองเมื่อเป็นบวก หรือเป็นสีน้ำเงินเมื่อเป็นลบ) พบว่า การเติมโซร่าขาวทำให้ความสว่าง (L) มีค่าเพิ่มขึ้น ความเป็นสีเขียว (a) ลดลง และความเป็นสีเหลือง (b) มากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากผลของสีโซร่าขาวที่เติมลงไป ( $p\leq 0.05$ ) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ค่า L และ b มีค่าลดลง ขณะที่ ค่า a เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว เกิดจากแสง ออกซิเจน และความร้อน ทำให้เกิดการออกซิเดชันของไขมัน และน้ำมัน ส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์มีความเข้มมากขึ้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าสี (L, a, b) ของอิมัลชันที่เติมไซรัข้าวร้อยละ 0.5, 1, 2 และ 3 ที่อายุเก็บรักษา 20 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ระดับการเติมไซรัข้าว (ร้อยละ)				
	Control	0.5	1.0	2.0	3.0
<b>ค่า L</b>					
0	50.02±0.68 <sup>Ac</sup>	49.71±13.55 <sup>Ac</sup>	55.8±0.007 <sup>Aab</sup>	56.82±0.06 <sup>Aa</sup>	56.02±0.05 <sup>Aab</sup>
5	44.26±0.23 <sup>ABb</sup>	52.61±0.04 <sup>Ba</sup>	54.58±0.08 <sup>Aa</sup>	54.37±0.16 <sup>Ba</sup>	53.13±0.42 <sup>Ba</sup>
10	38.98±0.09 <sup>BCb</sup>	53.53±0.10 <sup>Ba</sup>	51.23±0.07 <sup>BCa</sup>	53.86±0.05 <sup>Ba</sup>	51.35±0.19 <sup>CDa</sup>
15	34.70±0.10 <sup>Cc</sup>	46.05±0.03 <sup>Db</sup>	52.38±0.08 <sup>Ba</sup>	52.92±0.04 <sup>Ca</sup>	51.24±0.22 <sup>Da</sup>
20	32.46±0.28 <sup>Cb</sup>	50.74±0.05 <sup>Ca</sup>	50.30±0.10 <sup>Ca</sup>	52.92±0.04 <sup>Ca</sup>	52.02±0.04 <sup>Ca</sup>
<b>ค่า a</b>					
0	-2.30±1.49 <sup>Bb</sup>	-1.32±0.08 <sup>Bc</sup>	-0.45±0.07 <sup>Aa</sup>	-0.23±0.07 <sup>Aa</sup>	-0.62±0.10 <sup>Ba</sup>
5	-1.87±0.06 <sup>Bb</sup>	-0.45±0.14 <sup>Aa</sup>	-1.36±0.24 <sup>Bb</sup>	-1.26±0.24 <sup>Bb</sup>	-0.36±0.11 <sup>Aa</sup>
10	-1.71±1.59 <sup>Ab</sup>	-0.92±0.21 <sup>BCb</sup>	-0.71±0.14 <sup>Aa</sup>	-0.28±0.15 <sup>Ba</sup>	-0.37±0.22 <sup>Ba</sup>
15	-1.38±1.11 <sup>Aa</sup>	-0.56±0.13 <sup>Ba</sup>	-1.97±0.16 <sup>Cb</sup>	-0.53±0.14 <sup>Ba</sup>	-0.27±0.08 <sup>Ba</sup>
20	-1.18±0.11 <sup>Ab</sup>	-0.71±0.24 <sup>Bab</sup>	-0.98±0.07 <sup>ABb</sup>	-0.64±0.15 <sup>Bb</sup>	0.22±0.02 <sup>Aa</sup>
<b>ค่า b</b>					
0	13.03±1.97 <sup>Aa</sup>	11.53±0.10 <sup>Bab</sup>	11.01±0.06 <sup>Cb</sup>	10.54±0.05 <sup>Bb</sup>	12.93±0.10 <sup>Aa</sup>
5	13.82±0.19 <sup>Aa</sup>	13.70±0.26 <sup>Aa</sup>	13.80±0.77 <sup>Ba</sup>	13.00±1.02 <sup>Aa</sup>	11.36±0.10 <sup>Bb</sup>
10	11.87±0.52 <sup>Ba</sup>	10.87±0.19 <sup>Cc</sup>	10.96±0.35 <sup>Cc</sup>	10.75±0.10 <sup>Bc</sup>	13.13±0.72 <sup>Ab</sup>
15	11.98±0.75 <sup>Bb</sup>	11.30±0.46 <sup>Ba</sup>	14.86±0.05 <sup>Aa</sup>	10.92±0.17 <sup>Bc</sup>	10.93±0.42 <sup>Bc</sup>
20	11.88±0.83 <sup>Ba</sup>	11.22±0.27 <sup>Bb</sup>	10.87±0.24 <sup>Cb</sup>	10.92±0.17 <sup>Bb</sup>	11.11±0.00 <sup>Bb</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

A, ..., D ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

a, ..., c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากการวิเคราะห์ค่าความหนืดของระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน โดยใช้เครื่อง Brookfield Viscometers หัวหมุน (Spindle) เบอร์ 2 จับเวลาในการวัดค่าความหนืด 1 นาที แสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่า ปริมาณของไซรัข้าวที่เติม และระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อความหนืดของอิมัลชัน โดยเมื่อเติมไซรัข้าวในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเก็บรักษานานขึ้นค่าความหนืดมีค่าลดลง ( $p \leq 0.05$ ) สูตรที่เติมระดับไซรัข้าว ร้อยละ 3 มีค่าความหนืดสูงที่สุด (ค่าไม่สามารถอ่านได้ เพราะค่าความหนืดมากเกินไป) รองลงมา คือ ร้อยละ 2, 1, 0.5 และสูตรควบคุมตามลำดับ ค่าที่วัดได้นั้น มีความสัมพันธ์กับระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน เนื่องด้วยการผสมน้ำ และน้ำมันเข้าด้วยกัน เริ่มแรกจะเกิดอิมัลชันที่ดี มีความคงตัว โดยค่าความหนืดของอิมัลชันที่เพิ่มขึ้น เกิดจากการเสียดสีกันของเม็ดน้ำมัน จึงทำให้เม็ดน้ำมันมีปริมาณเพิ่มขึ้นความหนืดจึงสูงขึ้น (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน จะเกิดการแยกชั้นขึ้น ระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน มีความคงตัวลดลง เกิดการแยกชั้นที่มากขึ้น ทำให้การเกาะตัวของระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันลดลง ค่าความหนืดที่ได้จึงมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.7 ความหนืดของอิมัลชันที่เติมโซร่าข้าวปริมาณร้อยละ 0.5, 1, 2 และ 3 ที่อายุเก็บรักษา 20 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ระดับการเติมโซร่าข้าว (ร้อยละ)				
	Control	0.5	1.0	2.0	3.0
0	286.44±2.00 <sup>Ad</sup>	329.33±3.44 <sup>Ac</sup>	534.13±3.25 <sup>Ab</sup>	578.28±2.13 <sup>Aa</sup>	EEE
5	229.20±4.39 <sup>Bc</sup>	317.24±3.44 <sup>Ab</sup>	548.07±2.78 <sup>Aa</sup>	572.17±3.79 <sup>Aa</sup>	EEE
10	185.06±2.19 <sup>Cd</sup>	269.00±0.51 <sup>Bc</sup>	513.41±0.90 <sup>ABb</sup>	387.93±0.47 <sup>Ba</sup>	EEE
15	135.28±4.80 <sup>Dd</sup>	213.42±0.81 <sup>Cc</sup>	470.34±3.33 <sup>Bb</sup>	326.80±2.86 <sup>Ca</sup>	EEE
20	118.03±2.44 <sup>Dd</sup>	156.06±3.61 <sup>Dc</sup>	408.52±3.75 <sup>Cb</sup>	314.57±1.28 <sup>Ca</sup>	EEE

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

EEE หมายถึง ไม่สามารถอ่านค่าได้

A, ..., D ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

a, ..., d ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ค่าความคงตัวของอิมัลชัน วัดโดยการวัดค่าการแยกชั้นของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันทำการวัดโดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง และจากการหมุนเหวี่ยง เมื่อเปรียบเทียบในสูตรควบคุม พบว่า สูตรควบคุมมีการแยกชั้นของอิมัลชันมากกว่าสูตรที่เติมโซร่าข้าว เนื่องด้วยการเติมโซร่าข้าวช่วยเพิ่มความหนืดให้กับระบบ ทำให้ระยะเวลาในการรวมตัวของน้ำกลายเป็นหยดขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น การแยกชั้นของน้ำ และไขมันจึงเกิดขึ้นช้าลง การแยกตัวของอิมัลชันมีความเกี่ยวข้องกับสมดุลระหว่างแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค แรงดึงดูดซึ่งเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) หรือแรงกระจายของลอนดอน (London dispersion) เป็นแรงที่ทำให้เกิดความไม่คงตัวของอิมัลชัน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้นั้นขึ้นอยู่กับความแปรปรวนของอุณหภูมิ การกวน และสภาวะการเก็บ (St. Angelo, 1989) จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มระดับของ RBW การแยกชั้นของอิมัลชันจะมีปริมาณลดลง เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ความคงตัวของอิมัลชันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยค่าความคงตัวของอิมัลชันมีค่าลดลง ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากอิมัลชันเป็นระบบที่ไม่คงตัวทางเทอร์โมไดนามิกส์ ระบบต้องการพลังงานอิสระ ในการเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างเฟสของน้ำ และน้ำมัน ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไป ระบบอิมัลชันจะเกิดการแยกชั้นซึ่งประกอบด้วยชั้นของน้ำมันที่ด้านบนซึ่งเป็นชั้นที่มีความหนาแน่นต่ำ และชั้นของน้ำที่มีความหนาแน่นสูงที่ด้านล่าง (St. Angelo, 1989) แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าความคงตัวของอิมัลชัน (ร้อยละ) ที่วัดโดยวิธีหมุนเหวี่ยง และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องของอิมัลชันที่เติมไขมันขาวปริมาณร้อยละ 0.5, 1, 2 และ 3 ที่อายุการเก็บรักษา 20 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา(วัน)	ระดับการเติมไขมันขาว (ร้อยละ)				
	Control	0.5	1.0	2.0	3.0
ค่าความคงตัวของอิมัลชันโดยวิธีหมุนเหวี่ยง (ร้อยละ)					
0	32.60 ± 0.70 <sup>Ca</sup>	35.40 ± 0.12 <sup>Cb</sup>	41.20 ± 0.04 <sup>Cc</sup>	46.00 ± 0.08 <sup>Cd</sup>	62.40 ± 0.08 <sup>Cd</sup>
5	25.20 ± 0.22 <sup>BCa</sup>	27.60 ± 0.01 <sup>Ba</sup>	33.80 ± 0.05 <sup>Bb</sup>	36.40 ± 0.09 <sup>BCbc</sup>	41.60 ± 0.27 <sup>Bc</sup>
10	22.00 ± 0.03 <sup>Ba</sup>	27.20 ± 0.05 <sup>Bb</sup>	34.40 ± 0.23 <sup>ABb</sup>	34.80 ± 0.06 <sup>Bc</sup>	38.40 ± 0.01 <sup>ABc</sup>
15	17.00 ± 0.03 <sup>Aa</sup>	23.60 ± 0.05 <sup>Ab</sup>	27.00 ± 0.10 <sup>Ac</sup>	37.80 ± 0.02 <sup>Cd</sup>	37.40 ± 0.05 <sup>ABd</sup>
20	16.00 ± 0.05 <sup>Aa</sup>	23.02 ± 0.05 <sup>Ab</sup>	24.80 ± 0.05 <sup>Ab</sup>	30.80 ± 0.04 <sup>Ac</sup>	36.40 ± 0.02 <sup>Ad</sup>
ค่าความคงตัวของอิมัลชันโดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ร้อยละ)					
0	Non found	Non found	Non found	Non found	Non found
5	68.00 ± 0.14 <sup>Ba</sup>	81.70 ± 0.04 <sup>Bb</sup>	87.60 ± 0.04 <sup>ABc</sup>	89.50 ± 0.00 <sup>Cc</sup>	89.70 ± 0.04 <sup>Bc</sup>
10	59.30 ± 0.15 <sup>Aa</sup>	77.60 ± 0.14 <sup>ABb</sup>	84.80 ± 0.14 <sup>ABc</sup>	86.70 ± 0.04 <sup>Bcd</sup>	89.00 ± 0.04 <sup>Bd</sup>
15	57.30 ± 0.17 <sup>Aa</sup>	76.80 ± 0.04 <sup>Ab</sup>	84.40 ± 0.04 <sup>ABc</sup>	85.30 ± 0.02 <sup>ABc</sup>	85.60 ± 0.05 <sup>Ac</sup>
20	52.30 ± 0.23 <sup>Aa</sup>	76.20 ± 0.05 <sup>Ab</sup>	83.90 ± 0.05 <sup>Bc</sup>	84.50 ± 0.04 <sup>Ac</sup>	84.7 ± 0.02 <sup>Ac</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

A, ..., D ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

a, ..., d ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.3.2 คุณภาพทางเคมี

จากผลการวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ (FFA) ดังแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าระดับของการเติมไขมันขาว และระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้ค่ากรดไขมันอิสระมีปริมาณเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระในระบบอิมัลชันเมื่อเติมไขมันขาวเพิ่มขึ้น เกิดขึ้นจากไขมันขาวที่ใช้มีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ การที่มีกรดไขมันอิสระอยู่ในระบบจะไปเหนี่ยวนำทำให้เกิดปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น และเมื่อสัมผัสกับแสง อากาศ และความชื้น ซึ่งเป็นสภาวะที่เกิดกรดไขมันอิสระได้ดี ขณะที่ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) (ตารางที่ 4.10) ในระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันมีความสอดคล้องกับค่า FFA กล่าวคือ เมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิสระมาก ค่า PV จะมีค่าเพิ่มตามไปด้วย เมื่อระดับ RBW และระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์ ของระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน ทุกสูตรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) โดยช่วงเริ่มต้นการเก็บรักษา จะเกิดค่าเปอร์ออกไซด์อย่างช้าๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ในระยะเวลาหนึ่งจะเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.9 ค่ากรดไขมันอิสระ (F.F.A) ของอิมัลชันที่เติมโซร่าข้าวปริมาณร้อยละ 0.5, 1, 2 และ 3 ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ระดับการเติมโซร่าข้าว (ร้อยละ)				
	Control	0.5	1.0	2.0	3.0
0	2.06±0.18 <sup>Cb</sup>	2.08±0.13 <sup>Db</sup>	2.10±0.21 <sup>Db</sup>	2.38±0.00 <sup>Da</sup>	2.48±0.01 <sup>Da</sup>
5	2.11±0.25 <sup>BCc</sup>	2.12±0.19 <sup>Dc</sup>	2.15±0.02 <sup>Dc</sup>	2.47±0.10 <sup>CDb</sup>	2.56±0.05 <sup>CDa</sup>
10	2.32±0.58 <sup>BCb</sup>	2.33±0.03 <sup>Cb</sup>	2.37±0.02 <sup>Cb</sup>	2.54±0.10 <sup>Ca</sup>	2.62±0.02 <sup>Ca</sup>
15	2.59±0.15 <sup>Bb</sup>	2.64±0.16 <sup>Bb</sup>	2.90±0.37 <sup>Ba</sup>	2.95±0.32 <sup>Ba</sup>	3.04±0.25 <sup>Ba</sup>
20	2.90±0.95 <sup>Ab</sup>	2.94±0.32 <sup>Ab</sup>	3.29±0.16 <sup>Aa</sup>	3.34±0.21 <sup>Aa</sup>	3.37±0.41 <sup>Aa</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

A, B, C, D ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

a, b, c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.10 ค่าเปอร์ออกไซด์ของอิมัลชันที่เติมโซร่าข้าวปริมาณร้อยละ 0.5, 1, 2 และ 3 ที่อายุการเก็บรักษา 20 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ระดับการเติมโซร่าข้าว (ร้อยละ)				
	Control	0.5	1.0	2.0	3.0
0	0.90±0.06 <sup>Ee</sup>	5.48±0.31 <sup>Ed</sup>	8.36±0.34 <sup>Cc</sup>	18.66±0.16 <sup>Bb</sup>	21.26±0.24 <sup>Ba</sup>
5	3.40±0.66 <sup>Dd</sup>	8.00±0.18 <sup>Dc</sup>	19.66±0.17 <sup>Bb</sup>	21.74±0.18 <sup>Aa</sup>	22.02±0.16 <sup>Ba</sup>
10	7.44±0.10 <sup>Cd</sup>	10.30±1.43 <sup>Cc</sup>	20.66±0.16 <sup>ABb</sup>	22.04±0.07 <sup>Aab</sup>	23.92±0.17 <sup>Aa</sup>
15	14.74±0.18 <sup>Bd</sup>	15.44±0.12 <sup>Bd</sup>	20.96±0.09 <sup>ABc</sup>	22.10±0.11 <sup>Ab</sup>	24.10±0.08 <sup>Aa</sup>
20	18.52±0.29 <sup>Ac</sup>	19.16±0.03 <sup>Ac</sup>	21.30±0.27 <sup>Ab</sup>	22.28±0.17 <sup>Ab</sup>	24.28±0.06 <sup>Aa</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

A, ..., E ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

a, ..., d ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

กระบวนการทำบริสุทธิ์ไซรัข้าวดิบสามารถปรับปรุงคุณภาพทางของไซรัข้าวได้ โดยไซรัข้าวที่ผ่านกระบวนการทำบริสุทธิ์เมื่อเปรียบเทียบกับไซรัข้าวดิบ พบว่า มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลอ่อนลง ลักษณะแห้ง จุดหลอมเหลวสูง มีค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าสaponification index ลดลง ไซรัข้าวมีองค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วยกรดไขมัน และแพตตี้แอลกอฮอล์ชนิดสายโซ่ยาว เป็นองค์ประกอบหลัก การเติมไซรัข้าวในระบบอิมัลชัน สามารถเพิ่มความคงตัวให้ระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันได้ ความเข้มข้นของไซรัข้าวมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ และเคมี ซึ่งการเติมไซรัข้าวที่ปริมาณความเข้มข้นมากขึ้นจนถึงระดับร้อยละ 3 ส่งผลให้ระบบอิมัลชันมีความสว่าง ค่าความหนืด และค่าความคงตัวของอิมัลชันเพิ่มขึ้น ลักษณะผลึกของไขมันเป็นลักษณะที่เชื่อมต่อกัน ปริมาณ และขนาดของผลึกจะเพิ่มขึ้น ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษาไซรัข้าวที่อุณหภูมิห้อง พบว่าคุณภาพด้านต่างๆ ของระบบเปลี่ยนแปลงไป ระบบมีความสว่าง ค่าสีเหลือง ค่าความหนืด และค่าความคงตัวของอิมัลชันลดลง ถึงแม้ว่าค่าคุณภาพต่างๆ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไป โดยจากการศึกษาพบว่า การใส่ไซรัข้าวยังคงทำให้ระบบอิมัลชันมีความคงตัวสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมไซรัข้าว และมีคุณภาพด้านต่างๆ ดีกว่าในทุกระยะเวลาของการเก็บรักษา แต่ในทางกลับกันพบว่า การเติมไซรัข้าวในระบบส่งผลให้ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น

#### 5.2 อภิปรายผล

กระบวนการทำบริสุทธิ์ไซรัข้าวดิบ สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในไซรัข้าวดิบ เช่น น้ำมันไฮโดรคาร์บอน เอซิลกลีเซอไรด์ สารประกอบพอสโพลิปิด กรดไขมันอิสระ แอลกอฮอล์อิสระ (Free alcohols) รงควัตถุ และ resinous matter เป็นต้น การกำจัดสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้ออกไปจะทำให้ได้ไซรัข้าวที่มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น มีคุณภาพทางกายภาพ และเคมีที่เปลี่ยนแปลงไป มีคุณภาพที่สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ตามประกาศขององค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (U.S.FDA Regulations, Section 172.890) และยังทำให้ไซรัข้าวมีความเหมาะสมกับการใช้งานได้หลากหลายขึ้น จากคุณสมบัติของไซที่สามารนำมาใช้เป็นสารทำให้เกิดเจล (gelator) สารที่ก่อให้เกิดโครงสร้างในน้ำมัน (oil-structuring) และสารเพิ่มความหนืด (thickener) (Bennett, 1963) จากคุณสมบัติดังกล่าว จึงทำให้ระบบอิมัลชันมีความหนืดเพิ่มขึ้น อัตราเร็วในการรวมตัวของหยดน้ำในระบบอิมัลชันจะเกิดขึ้นช้าลงทำให้เกิดการแยกชั้นลดลง ค่าความคงตัวของอิมัลชันจึงสูงมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีไซรัข้าว จากผลึกไขมันของไซรัข้าวที่มีลักษณะเป็นแบบเข็ม และเกาะเกี่ยวกัน (needle-like and fibrous) ทำให้มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำมัน เนื่องจากเกิดการกักเก็บน้ำมันไว้ภายในผลึกของไขมัน จึงยังทำให้ระบบอิมัลชันมีความคง

ตัว แต่ในทางกลับกันพบว่า การเติมโซร่าข้าวที่มากขึ้นส่งผลให้ระบบมีปริมาณกรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการเกิดกลิ่นหืนไวกว่าระบบที่ไม่เติมโซร่าข้าว

ระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลให้ระบบอิมัลชันมีความคงตัวลดลง เนื่องจากสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ แสงแดด และระยะเวลา เป็นตัวกระตุ้นให้ระบบมีพลังงานเพิ่มขึ้น เร่งให้หยดน้ำขนาดเล็กเกิดการรวมตัวกันไวขึ้น ความไม่เสถียรของระบบเพิ่มขึ้น ค่าความหนืด ค่าความคงตัว มีค่าลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้พบว่า การเติมโซร่าข้าวในระบบอิมัลชันทำให้ระบบมีความคงตัวระหว่างการเก็บรักษาสูงกว่าระบบที่ไม่มีโซร่าข้าว ในทางกลับกันปริมาณกรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

จากผลการวิจัยครั้งนี้ทำให้ทราบว่าโซร่าข้าวเป็นสารเพิ่มความคงตัวให้อิมัลชันชนิดน้ำในมันได้ และสามารถทำให้ระบบอิมัลชันมีเสถียรภาพระหว่างการเก็บรักษามากขึ้น

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยที่ได้นำเสนอไปแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าสามารถเพิ่มเติมงานวิจัยต่อยอดในอนาคตได้ ดังนี้

1. ควรศึกษาในส่วนของโครงสร้างระดับจุลภาคของผลิตภัณฑ์ไขมันให้ละเอียดมากขึ้น
2. ควรเพิ่มขึ้นตอนการทำบริสุทธิ์โซร่าข้าวเพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระให้มีปริมาณลดลง เพื่อให้ส่งผลกระทบบต่อระบบอิมัลชัน หรือควรศึกษาการใช้สารกันหืนในระบบอิมัลชัน เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีผลต่อการหืนในระบบ
3. ควรมีการศึกษาความคงตัวของอิมัลชันที่หลายสภาวะการเก็บรักษาเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายขึ้น
4. ควรมีการศึกษาการใช้โซร่าข้าวในระบบอิมัลชันชนิดอื่นๆ เพื่อให้เห็นประโยชน์ของการใช้โซร่าข้าวในการเป็นสารเพิ่มความคงตัวได้มากขึ้น

## บรรณานุกรม

### บรรณานุกรมภาษาไทย

- กীরตินาฏ พูลเกษร, อนุวัตร แจ่มชัด และกมลวรรณ แจ่มชัด. (2551). การพัฒนาสารป้องกันการเกาะติดจากไขผึ้งและน้ำมันปาล์มโอเลอินสำหรับผลไม้อบแห้ง. *Journal Agricultural Science Journal (วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร)*. Vol. 41, PP. 516-519.
- จิตรรัตน์ หน่อสุวรรณ. (2550). สมบัติของวิตามินซีที่สกัดจากดิสทิลเลตของน้ำมันรำข้าว โดยใช้ เฮกเซน อุดมภูมิเต๋า. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2548). *วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน*. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). *เคมีอาหาร*. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์
- นัยนา บุญทวีวัฒน์ และเรวดี จงสุวัฒน์. (2545). *น้ำมันรำข้าวทางเลือกเพื่อสุขภาพของคนไทย*. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์
- พุทธชาติ แก้วแดง. (2544). *การทำไรรำข้าวอุตสาหกรรมให้บริสุทธิ์*. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- แม่น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. (2534). *Principles and Techniques of Instrumental Analysis*. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2547). *ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ณรงค์ นิยมวิทย์. (2538). *องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของอาหาร*. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สายสนม ประดิษฐ์ดวง, เนื้อทอง วนานุวัธ และมณี แสงเงิน. (2533). *การนำไรรำข้าวมาใช้ประโยชน์*. รายงานค้นคว้าวิจัยประจำปี. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สายสนม ประดิษฐ์ดวง, เนื้อทอง วนานุวัธ และรุ่งทิพย์ จุฑะมงคล. (2534). *การนำไรรำข้าวมาใช้ประโยชน์*. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สุนันทา ภิญญาวัธ. (2533). *ซีวเคมี 1*. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยรามคำแหง, หน้า 35-41.

### บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

Bennett, H. (1963). *Industrial waxes*. New York : Chemical Publishing Co.

- Blake, A.I., Co, E.D. and Marangoni, A.G. (2014). Structure and physical properties of plant wax crystal networks and their relationship to oil binding capacity. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91 (6): 885–903.
- Dassanayake, L. S. K., Kodali, D. R., Ueno, S., & Sato, K. (2009). Physical properties of rice Bran wax in bulk and organogels. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86 (12): 1163–1173.
- FDA. (2012). *Everything added to food in the United States (EAFUS)*. Retrieved January 30, 2012, from <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/fcn/fcnNavigation.cfm?rpt=eafusListing//dx.doi.org/10.1021/cm9902826>
- Friberg, S., Larsson, K. and Sjoblom, J. (2003). *Food Emulsions (Food Science and Technology)*. 4 edition. CRC Press.
- Ghotra, B.S., Dyal, S.D., and Narine, S.S. (2002). Lipid shortening: a review. *Food research international*. 35: 1015-1048.
- Martini, S., Carelli, A.A. and Lee, J. (2008). Effect of the Addition of Waxes on the Crystallization Behavior of Anhydrous Milk Fat. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 85: 1097–1104.
- Orthoefer, F.T. (1996). Rice bran oil: healthy lipid source. *Food finding will lend credence to the concept of fractionating Technology*, 50 (12), 62–64.
- St. Angelo, A.L. (1989). A brief introduction to food emulsions and emulsifiers, pp. 1-8. In G. Charalambous and G. Doxastakis, eds. *Food emulsifiers chemistry, technology, functional propertoes and application*. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- Tsuchiya, J., (1948). *Wax from Rice Bran oil*, Chemical Abstracts, Vol. 43, p. 5611
- Vali, S.R., Ju, Y.H., Kaimal, T.N.B. and Chern, Y.T. (2005). A process for the preparation of food-grade rice bran wax and the determination of its composition. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 82: 57-64.
- Warth, A.H., (1956). *The Chemistry and Technology of wax*, 2 nd, Reinhold publishing Corporation, New York, p.940.
- Yoon, S.H., and Rhee, J.S., (1982). Composition of waxes from crud rice bran oil, *Journal of the American oli Chemists' Society*, 59: 561-563.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

## ภาคผนวก ก1 การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)



ภาพผนวก ก 1 เครื่องวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer UV-1601 SHIMADZU,Japan)

### 1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1.1.1 เครื่องวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer UV-1601 SHIMADZU)

1.1.2 Cuvette สำหรับวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง

### 1.2 วิธีการวิเคราะห์

1.2.1 เปิดสวิตช์ไฟฟ้าเพื่ออุ่นเครื่องนาน 10 – 30 นาที

1.2.2 ปิดแสงจากภายในหรือภายนอกไม่ให้เกิดกระทบตัวไวแสง โดยการปิดฝาครอบช่องใส่คิวเวทท์ และช่องปิดแสงออก

1.2.3 ปรับ 0%T ด้วยปุ่มปรับศูนย์ ค่าความเข้มของแสงควรจะคงที่ ถ้าไม่คงที่อาจเกิดการรบกวนเครื่องไม่พอ หรือเครื่องมือมีความผิดปกติ

1.2.4 เลือกความยาวคลื่นแสงที่ต้องการวัดโดยกดปุ่มเลือกความยาวคลื่น

1.2.5 เลือกตัวกรองตัดแสงรบกวนที่เหมาะสม

1.2.6 ใส่รีเอเจนต์อ้างอิง (Reagent blank) ลงในช่องใส่คิวเวทท์ ปิดฝาช่องใส่คิวเวทท์

1.2.7 ปรับ 100 %T หรือ OD ด้วยปุ่มควบคุมการปรับในขั้นตอนนี้ต้องกระทำทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนความยาวคลื่นแสงที่ใช้วัด

1.2.8 ใส่สารตัวอย่างลงในช่องคิวเวทท์ ปิดฝาช่องใส่คิวเวทท์

1.2.9 อ่านค่า %T หรือA

## ภาคผนวก ก 2 การวิเคราะห์ค่าสี

เครื่องวัดค่าสี (Handy colorimeter) ระบบสีจะประกอบด้วยตัวแปรของสี 3 ตัว คือ L, a, b ซึ่งมีความหมายดังนี้

L คือ ค่าความแตกต่างของสี ซึ่งมีค่าจาก 0 คือ ดำ ถึง 100 คือสีขาว

a คือ ค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นสีเขียว และสีแดงที่อยู่ในตัวอย่างโดยค่า a + แสดงถึงค่าความเป็นสีแดง ค่า a - แสดงถึงค่าความเป็นสีเขียว

b คือ ค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงินที่อยู่ในตัวอย่าง โดยค่า b + แสดงถึงค่าความเป็นสีเหลือง ค่า b - แสดงถึงค่าความเป็นสีน้ำเงิน



ภาพผนวก ก 2 เครื่องวัดค่าสี (Handy colorimeter)

### 2.1 วิธีการวิเคราะห์

2.1.1 กดเปิดเครื่อง

2.1.2 นำตัวอย่างใส่ภาชนะให้เต็ม

2.1.3 นำเครื่องไปวางด้านล่างของภาชนะ กดปุ่มวัด บันทึกค่าที่ได้

2.1.4 กดปิดเครื่อง

### ภาพผนวก ก 3 การวิเคราะห์ค่าความหนืด



ภาพผนวก ก 3 เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer DV II<sup>+</sup>, U.S.A)

#### 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.1 เครื่องวัดความหนืด/ความคงตัว (Brookfield viscometer DV II<sup>+</sup>, U.S.A)

3.1.2 หัวสำหรับจุ่มวัดค่าความหนืด

3.1.3 ปีกเกอร์

#### 3.2 วิธีการวิเคราะห์

นำอิมัลชันแต่ละสูตรมาวัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer ใช้เข็มเบอร์ 2 ความเร็วรอบ 100 rpm วัดที่อุณหภูมิ  $25 \pm 1$  องศาเซลเซียส

#### ภาพผนวก ก 4 การวิเคราะห์ค่าความคงตัว



#### ภาพผนวก ก 4 เครื่องหมุนเหวี่ยง

##### 4.1 วิธีวิเคราะห์

4.1.1 ตั้งเวลา ตั้งความเร็วรอบที่ใช้

4.1.2 ปิดฝาครอบลงเพื่อให้เครื่องทำงาน

##### 4.2 ข้อควรระวัง

4.2.1 ตรวจสอบไม่ให้หลอดหมุนเหวี่ยงมีรอยแตกร้าว

4.2.2 ปรับน้ำหนักหลอดให้สมดุล ก่อนนำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงให้ตัวอย่างที่มีความหนาแน่นเท่ากันอยู่ตรงข้ามกัน

4.2.3 ปิดฝาเครื่องให้สนิทก่อนการหมุนเหวี่ยง

4.2.4 ถ้าอุณหภูมิของ chamber สูงกว่าอุณหภูมิที่ต้องการใช้ควร pre cool อุณหภูมิก่อนการใช้งาน

4.2.5 ควรตั้งเครื่องหมุนเหวี่ยงบนพื้นราบที่มั่นคง แข็งแรง และห่างจาก เครื่องมืออื่นๆ เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือน

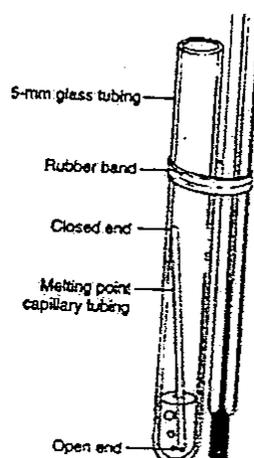
4.2.6 ให้โรเตอร์หยุดหมุนให้สนิทก่อนเปิดฝาเครื่อง

### ภาคผนวก ก 5 ร้อยละการสูญเสีย (Baker *et al.*,1990)

ซึ่งน้ำหนักปริมาตรไซรัข้าวดิบ และไซรัข้าวบริสุทธิ์ นำค่าที่ได้ไปคำนวณตามสูตร

$$\text{ร้อยละการสูญเสีย} = \frac{\text{น้ำหนักไซรัข้าวดิบ} - \text{น้ำหนักไซรัข้าวบริสุทธิ์}}{\text{น้ำหนักไซรัข้าวดิบ}} \times 100$$

### ภาคผนวก ก 6 การวิเคราะห์จุดหลอมเหลว/จุดเดือด



### ภาคผนวก ก 5 วิธีการวิเคราะห์จุดหลอมเหลว/จุดเดือดของน้ำมัน และไขมัน

ใช้หลอดแก้ว หรือหลอดทดลอง (Test tube) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตรบรรจุสารที่จะหาจุดเดือด ผูกติดกับเทอร์โมมิเตอร์ด้วยยางรัด และภายในหลอดทดลองก็มีหลอดแคปิลลารีวางคว่ำปลายเปิด จากนั้นนำไปหาจุดเดือดใน Thiele tube ยางรัดเทอร์โมมิเตอร์ควรอยู่เหนือระดับน้ำใน Thiele tube เพราะเมื่อย่างถูกน้ำมันที่ร้อนจะอ่อนตัว และจะทำให้ชุดหลอดทดลองตกลงไปในน้ำมันได้ เมื่อให้ความร้อนแก่ Thiele tube จนกระทั่งเห็นฟองก๊าซเกิดขึ้นเป็นสายจากหลอดแคปิลลารีแล้ว จึงหยุดให้ความร้อน ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นจะเกิดช้าลงๆ หยุดเมื่อ ฟองก๊าซหยุด ของเหลวก็จะเข้าไปในหลอดแคปิลลารีทันที อุณหภูมิขณะนั้น คือ จุดเดือดของสาร

ภาคผนวก ข  
การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

## ภาคผนวก ข 1 การสกัดไซรับข้าว (ดัดแปลงจาก สายสนม ประดิษฐ์ดวง เนื้อทอง และคณะ, 2533)

### 1.1 เครื่องมือ/ อุปกรณ์

- 1.1.1 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Precica 240A / Switzerland)
- 1.1.2 ปีกเกอร์
- 1.1.3 Rotary Vacuum Evaporator
- 1.1.4 ปั้นสุญญากาศ
- 1.1.5 กรวยกรอง (Buchner Funnel 125 mm.)
- 1.1.6 กระดาษกรอง (Filter Papers 11 cm.)
- 1.1.7 กระบอกตวง (cylinder)
- 1.1.8 Water bath (AEHNARIN WB 45, Germany)
- 1.1.9 ช้อน

### 1.2 สารเคมี

- 1.2.1 Hexane
- 1.2.2 Propanol

### 1.3 วิธีการวิเคราะห์

- 1.3.1 ผสมไซรับข้าว และเฮกเซน ในอัตราส่วน 200:400
- 1.3.2 หลอมละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
- 1.3.3 ให้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้ส่วนไขมันตกผลึก
- 1.3.4 ล้างไขด้วยเฮกเซนเย็น 5 องศาเซลเซียส
- 1.3.5 กรองแล้วนำไปละลายในโพรพานอล
- 1.3.6 การระเหยด้วยเครื่อง Rotary Vacuum Evaporator ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ตกผลึกจึงนำไปกรอง ทำซ้ำอีกครั้ง
- 1.3.7 นำไประเหยกลั่นโพรพานอลในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
- 1.3.8 จะได้ไซรับข้าวบริสุทธิ์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไป

ภาคผนวก ข 2 การวิเคราะห์หา Free Fatty Acid - (AOCS Method Ca 5a-40, 1999)

2.1 เครื่องมือ/ อุปกรณ์

2.1.1 ชุดเครื่องแก้ว

2.2 สารเคมี

2.2.1 Alcohol 95%

2.2.2 Phenolphthalein 1%

2.2.3 KOH 0.1 M.

2.3 วิธีการวิเคราะห์

2.3.1 นำ Alcohol 95% + Phenolphthalein 1% 0.5 ml. ค่อยๆไตเตรทตัวทำละลายผสมให้เป็นกลางด้วย KOH 0.1 M. จะได้เป็นตัวทำละลายที่เป็นกลาง (Neauterized et.)

2.3.2 ชั่งน้ำมันตัวอย่าง  $\pm 2$  g จากนั้นละลายน้ำมันตัวอย่างในตัวทำละลายที่เป็นกลาง

2.3.3 นำไปไทเตรทด้วย KOH 0.1 M. เขย่า พร้อมกับไทเตรท จนกระทั่งได้สีชมพู เป็นจุดยุติ บันทึกปริมาตรของด่างที่ใช้ไทเทรต

2.4 การคำนวณ ในรูป oleic acid

$$\% \text{FFA as oleic} = \frac{\text{ml of alkali} \times N \times 28.2}{\text{wt of sample}}$$

หมายเหตุ N = ความเข้มข้นของด่าง

### ภาคผนวก ข 3 การวิเคราะห์หา Peroxide Value – (AOCS Method, 1999)

#### 3.1 เครื่องมือ/ อุปกรณ์

3.1.1 ชุดเครื่องแก้ว

#### 3.2 สารเคมี

3.2.1 Acetic Acid

3.2.2 Chloroform

3.2.3 KI

3.2.4  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

3.2.5 สารละลายน้ำแข็ง ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์

3.2.6 น้ำกลั่น

#### 3.3 วิธีการวิเคราะห์

3.3.1 ชั่งน้ำมันตัวอย่าง  $\pm 1$  กรัม ใส่ลงในหลอดแก้ว ทำ blank ไปพร้อมกัน โดยไม่ต้องใส่น้ำมันตัวอย่าง เติม KI 0.5 ml.

3.3.2 เติมตัวทำละลายผสมลงไป 20 ml. )Acetic Acid + chloroform solution ในอัตราส่วน 3:2

3.3.3 นำหลอดแก้วไปต้มในน้ำเดือด ปล่อยให้เดือดนานไม่เกิน 30 วินาที

3.3.4 จากนั้นนำไปเทใส่ในฟลาสค์ ที่มี KI ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 20 ml. ล้างหลอดแก้วที่นำสารไปต้มด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ครั้งละ 15 และ 10 ml. ตามลำดับ เทน้ำกลั่นที่ล้างทั้งสองครั้งลงในฟลาสค์

3.3.5 ไตรเทอร์ด้วย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ความเข้มข้น 0.002 นอร์มัล จนมีสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแข็ง 1 ml. จะได้สีม่วงหรือน้ำเงิน แล้วไตรเทอร์ต่อจนไม่มีสี บันทึกค่า  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้ไป

#### 3.4 การคำนวณ

$$PV = \frac{2 \times (A-B)}{\text{น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)}}$$

A = ปริมาณของ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้กับน้ำมันตัวอย่าง (ml.)

B = ปริมาณของ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้กับ blank (ml.)

## ประวัติผู้วิจัย

นางสาวศวรรรญา ปันดลสุข สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วท.ม.วิทยาศาสตร์การอาหาร) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อ พ.ศ.2550 และวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ. เทคโนโลยีการอาหาร) จากมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ เมื่อ พ.ศ.2548 ประสบการณ์ทำงานปัจจุบัน ประธานคณะกรรมการบริหารสูตรเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ ได้แก่ Dairy Product, Fat and Oil Technology, Food Sanitation and Food Safety มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ ประกอบด้วย

1. ผู้ช่วยวิจัย: โครงการวิจัย “การปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสเนยแข็งมอสซาเรลลาจากน้ำมันกระป๋อง” IRPUS ปี 2550
2. หัวหน้าโครงการ: โครงการวิจัย “ผลของน้ำมันผสม การทอดซ้ำ ต่อคุณภาพของน้ำมัน และอาหารทอด” ทุนวิจัยของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ปี 2552
3. ผู้ร่วมวิจัย: โครงการวิจัย “การแยกส่วนน้ำมันรำข้าว คุณภาพทางเคมี กายภาพ ของน้ำมันรำข้าวแยกส่วน และคุณลักษณะของไส้กรอกหมูแพรงเฟอร์เตอร์ที่ใช้ไขมันแยกส่วน” ทุนวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2554
4. ผู้ร่วมวิจัย: โครงการ “การวิจัยและพัฒนาที่ออฟฟี่เค้กกกล้วยหอมด้วยเนยสวนดุสิต” ได้รับทุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ปี พ.ศ. 2554
5. ผู้ร่วมวิจัย: โครงการ “การศึกษาคุณภาพของเนย และผลิตภัณฑ์จากเนยสวนดุสิต” ได้รับทุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ปี พ.ศ. 2554

และมีงานบทความ และผลงานทางวิชาการที่เผยแพร่ประกอบด้วย

1. **Pandolsook, S., W. Tungjaroenchai, and J. Sethakul.** 2007. Texture and microstructure of frankfurters containing lard fractionates. Proceeding of the International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2007). November 21-23. Swissôtel Le Concorde, Bangkok, Thailand.
2. **Pandolsook, S., W. Tungjaroenchai, J. Sethakul and A. Fischer.** 2009. Texture and microstructure of frankfurters containing lard fractionates. Fleisch wirtschaft international (Journal of meat production, processing and research). 24(6): 65-68.