



การสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกสับประดสายพันธุ์ปัตตาเวีย  
EXTRACTION OF PHYTO LIPID FROM PEELS AND CROWN OF  
PINEAPPLE CV. SMOOTH CAYENNE

พัชราพรสิณี สัญญัติธนาพร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2568

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

การสกัดไฟโตลิตจากเปลือกและจุกสับประตสายพันธุ์ปัตตาเวีย  
EXTRACTION OF PHYTO LIPID FROM PEELS AND CROWN OF  
PINEAPPLE CV. SMOOTH CAYENNE

พัชราพรสิณี สัจจติธนาพร

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2568

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง



หน้าอนุมัติการค้นคว้าอิสระ

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

การค้นคว้าอิสระเรื่อง การสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย

Extraction of Phyto Lipid from Peels and Crown of Pineapple cv.

Smooth Cayenne

ผู้ประพันธ์ พิชราพรสิณี สัตยทิตธนาพร

คณะกรรมการสอบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุพงษ์ ใจวุฒิ

ประธานกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรिता สังข์ทอง

กรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญาวัฒน์ ปินดาทอง

กรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรา ศรีชะแย้ม

กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรिता สังข์ทอง)

คณบดี

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันดี รังสีวิจิตรประภา)

## กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระในหัวข้อเรื่อง “การสกัดสารกลุ่มไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย” สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยดี เนื่องด้วยได้รับการสนับสนุน ความกรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรिता สังข์ทอง ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาทั้งในส่วนของความรู้ในการทำวิทยกรรมวิธีต่าง ๆ ในการทำวิจัย และสละเวลาตรวจทานแก้ไขจนการค้นคว้าอิสระนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุพงษ์ ใจวุฒิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญาวัฒน์ ปินตาทอง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรา ศรีชะแย้ม ซึ่งสละเวลาเป็นประธาน และกรรมการในการสอบครั้งนี้ อีกทั้งยังให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการแก้ไขผลงานการค้นคว้าอิสระฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ให้แก่ผู้เขียนตลอดหลักสูตรการศึกษาระดับปริญญาตรีเครื่องสำอาง จนสามารถนำความรู้ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้ และกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านจากสำนักวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดีในทุก ๆ ด้าน ตลอดการทำวิจัย เพื่อให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณครอบครัว ที่ให้ความเข้าใจและสนับสนุนตลอดการศึกษา ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมา ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาโท สำนักวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ที่ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ รวมทั้งให้กำลังใจในระหว่างการทำเนิกรวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการค้นคว้าอิสระนี้ จะมีคุณค่าและเป็นประโยชน์ ต่อผู้ที่สนใจทั่วไป หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยไว้ ณ ที่นี้

พัชราพรสิณี สัตยทิธนาพร

ชื่อเรื่องการค้นคว้าอิสระ	การสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย
ผู้ประพันธ์	พัชราพรสิณี สัญญัติธนาพร
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรเครื่องสำอาง)
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรिता สังข์ทอง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาวิธีการสกัดไขมันไฟโตลิพิด จากสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย ส่วนเปลือกและหัวจุกซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งจากการบริโภคสับปะรด ด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิคความถี่สูงที่สามารถสั่นสะเทือนอนุภาคของตัวอย่างพืช เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด โดยทำการศึกษาสัดส่วนของการผสมสารละลายขั้วสูง (Ethanol) และขั้วต่ำ (Hexane) ที่สามารถสกัดสารสำคัญไฟโตลิพิดออกมา ได้แก่ Hexane ร้อยละ 0, 5, 10 และ 20 (v/v) จากนั้นใช้เทคนิคการ separation ที่ใช้ความต่างขั้วของตัวทำละลายในการแยกสารไฟโตลิพิด ด้วย petroleum ether แล้วทำการระเหยเอาตัวทำละลายออกจนเหลือแต่สารสกัดไฟโตลิพิด พบว่า กลุ่มเปลือกและจุกสับปะรดที่สกัดด้วย Hexane 5% ให้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุด คือ  $6.23 \pm 0.72$  และ  $2.30 \pm 0.44$  ตามลำดับ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดไฟโตลิพิดด้วยวิธี DPPH พบว่า กลุ่มเปลือกและจุกที่สกัดด้วย Hexane 5% ให้ค่า  $IC_{50}$  ต่ำที่สุด ได้แก่  $0.46 \pm 0.07$  และ  $0.67 \pm 0.08$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากวิธี Total antioxidant capacity (TAC) พบได้มากที่สุดในการสกัดเปลือกสับปะรดที่สกัดด้วย Hexane 5% ( $2106 \pm 34.11$  TAC mg TE/gm extract) ส่วนในสารสกัดกลุ่มจุกพบว่า ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ที่ดีที่สุด คือ จุกที่สกัดด้วย Hexane 10% ( $1388.70 \pm 130.35$  TAC mg TE/gm extract) และเมื่อนำสารสกัดไขมันที่ได้มาวิเคราะห์หาสารประกอบไขมันด้วยวิธี GCMS สารประกอบไขมันที่พบในปริมาณสูงในการสกัดไฟโตลิพิดจากสับปะรดส่วนจุกและส่วนเปลือกของสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย คือ n-Hexadecanoic acid (Palmitic acid), 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-(Linoleic acid), 9,12,15-Octadecatrienoic acid, ethyl ester, (Z,Z,Z)- (Ethyl linolenate, Ethyl (Z,Z,Z)-9,12,15-octadecatrienoate), 9,12,15-Octadecatrienoic acid, (Z,Z,Z)- (alpha-linolenic acid (ALA) และ Linolenic acid สารประกอบที่พบรองลงมาคือ Hexadecanoic acid, ethyl ester (Ethyl palmitate), Linoleic acid ethyl ester (Ethyl linoleate, Mandenol), Oleic acid, Pentanoic acid, 4-oxo-, methyl

ester (Methyl levulinate และ Methyl 4-oxopentanoate) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง ส่วนเปลือกและจุกพบว่า เปลือกมีศักยภาพการนำมาเป็นแหล่งของไฟโตลิพิดที่ดีกว่าส่วนจุกอย่างมีนัยสำคัญและดีที่สุดเมื่อสกัดด้วย Hexane 5% กับ Ethanol

**คำสำคัญ:** ไฟโตลิพิด, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, สับประรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย, การวิเคราะห์ไขมันด้วย GCMS



**Independent Study Title** Extraction of Phyto Lipid from Peels and Crown of Pineapple cv. Smooth Cayenne

**Author** Phatcharapawnsinee Sunthitithanapawn

**Degree** Master of Science (Cosmetic Science)

**Advisor** Assistant Professor Sarita Sangthong, Ph. D.

### ABSTRACT

This research focuses on studying methods for extracting Phyto Lipids from the peel and crown of the Batavia pineapple variety. The waste from pineapple consumption high-frequency ultrasonic waves. Was used to prove the extraction efficiency. The study investigated the optimal extraction ratios of high-polarity solvents (95% ethanol) and low-polarity solvents (hexane) which were Hexane 0%, 5%, 10%, and 20% (v/v). Phytolipid was separated using petroleum ether and the solvent was evaporated to obtain phytolipid extracts. It was found that the pineapple peel and crown extracts using hexane 5% yielded the highest percentage yield, at  $6.23 \pm 0.72\%$  and  $2.30 \pm 0.44\%$ , respectively. Antioxidative activity analysis of Phyto Lipid extracts using the DPPH method revealed that the peel and crown extracts with hexane 5% exhibited the lowest  $IC_{50}$  values:  $0.46 \pm 0.07$  mg/ml and  $0.67 \pm 0.08$  mg/ml, respectively. Total antioxidant capacity (TAC) was highest in the pineapple peel extracted with 5% hexane ( $2106 \pm 34.11$  TAC mg TE/gm extract), while the crown extracted with 10% hexane showed the best TAC ( $1388.70 \pm 130.35$  TAC mg TE/gm extract). Lipid analysis of the obtained extracts using GCMS revealed major lipid compounds in the Phyto Lipids extracts from the crown and peel of the pineapple variety cv. Smooth Cayenne was n-Hexadecanoic acid (Palmitic acid), 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-(Linoleic acid), 9,12,15-Octadecatrienoic acid, ethyl ester, (Z,Z,Z)- (Ethyl linolenate, Ethyl (Z,Z,Z)-9,12,15-octadecatrienoate), 9,12,15-Octadecatrienoic acid, (Z,Z,Z)- (alpha-linolenic acid (ALA) and Linolenic acid. The next most common compounds are Hexadecanoic acid, ethyl ester (Ethyl palmitate), Linoleic acid ethyl

ester (Ethyl linoleate, Mandenol), Oleic acid, Pentanoic acid, 4-oxo-, methyl ester (Methyl levulinate and Methyl 4-oxopentanoate). In comparison between peel and crown of pineapple cv. Smooth Cayenne, peel is significantly more efficient to be a phytolipid source than the crown. The hexane 5% in ethanol showed the significantly highest extraction efficacy.

**Keywords:** Phyto Lipids, Antioxidant Activity, Batavia Pineapple, GCMS Lipid Analysis



## สารบัญ

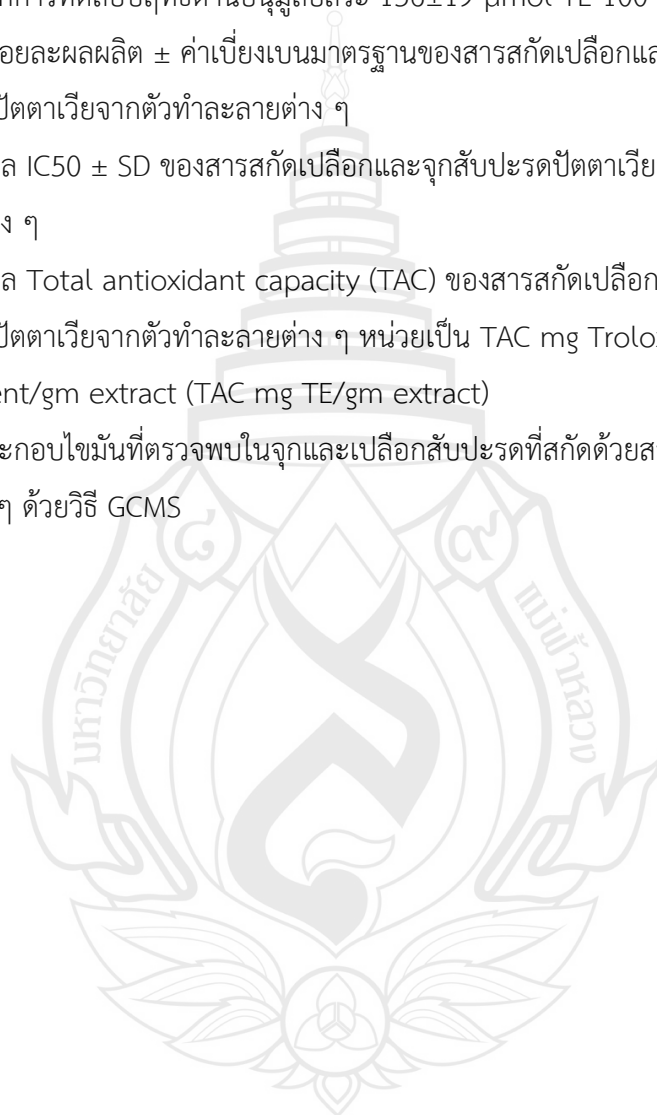
บทที่	หน้า
<b>1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาของปัญหาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>2 ทบทวนวรรณกรรม</b>	<b>4</b>
2.1 โครงสร้างชั้นผิวหนัง	4
2.2 สัมประรด ความเป็นมาและการจำแนกลักษณะทางพฤกษศาสตร์ และ ศักยภาพทางโภชนาการ เศรษฐกิจ และการใช้ประโยชน์	5
2.3 วิธีที่ใช้ในการสกัดไฟโตลิพิด	8
2.4 สารละลายที่ใช้ในการสกัดไขมัน	12
2.5 การวิเคราะห์สารประกอบไฟโตลิพิดและลิพิดชนิดต่าง ๆ	16
2.6 วิธีหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของลิพิด	19
<b>3 วิธีการดำเนินการวิจัย</b>	<b>26</b>
3.1 วัสดุ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	26
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย	27
3.3 นำสารสกัดไฟโตลิพิดจากสับประรดที่ได้ มาหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ	29
3.4 การวิเคราะห์ไขมันด้วยวิธีทาง Gas Chromatography	32
3.5 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ	33
<b>4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b>	<b>34</b>
4.1 การสกัดไฟโตลิพิดด้วย Ultrasonic-assisted Extraction โดยใช้ตัวทำ ละลายที่ต่างกัน และความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ต่างกัน	34
4.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH	36
4.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี Total Antioxidant Capacity (TAC)	39

## สารบัญ

บทที่	หน้า
4.4 การวิเคราะห์สารประกอบไขมันในการสกัดไฟโตลิพิดจากสับปะรดด้วยวิธี GCMS	45
<b>5 สรุปผลการศึกษาวิจัย และข้อเสนอแนะ</b>	<b>53</b>
5.1 สรุปผลการศึกษา	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
<b>รายการอ้างอิง</b>	<b>55</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>69</b>
ภาคผนวก ก กราฟมาตรฐานของสารมาตรฐาน	69
ภาคผนวก ข กราฟและรูปแสดงผลการวิเคราะห์หาฤทธิ์ทางชีวภาพการสกัดเปลือกและจุกของสับปะรด สายพันธุ์ปัตตาเวีย	71
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์หาฤทธิ์ทางชีวภาพในสารสกัดเปลือกและจุกสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย ด้วยโปรแกรม SPSS	74
ภาคผนวก ง กราฟแสดง RETENTION TIME ของสารประกอบไขมันแต่ละชนิด	82

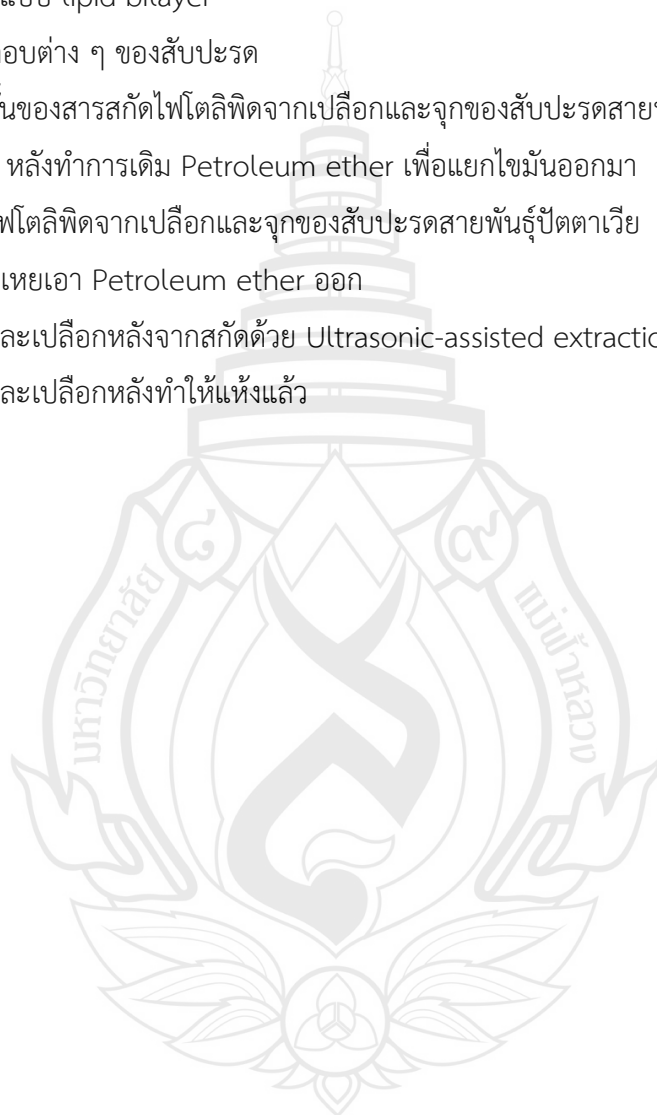
## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สภาวะของเครื่อง Gas chromatography	16
2.2 ผลที่ได้จากการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ $156 \pm 19 \mu\text{mol TE } 100 \text{ g}^{-1}$	21
4.1 แสดงผลร้อยละผลผลิต $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารสกัดเปลือกและจุก สับประรดปัดตาเวียจากตัวทำละลายต่าง ๆ	35
4.2 แสดงค่าผล $\text{IC}_{50} \pm \text{SD}$ ของสารสกัดเปลือกและจุกสับประรดปัดตาเวียจากตัวทำ ละลายต่าง ๆ	37
4.3 แสดงค่าผล Total antioxidant capacity (TAC) ของสารสกัดเปลือกและจุก สับประรดปัดตาเวียจากตัวทำละลายต่าง ๆ หน่วยเป็น TAC mg Trolox equivalent/gm extract (TAC mg TE/gm extract)	39
4.4 ผลสารประกอบไขมันที่ตรวจพบในจุกและเปลือกสับประรดที่สกัดด้วยสารละลาย ชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธี GCMS	42



## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 โครงสร้างผิวหนัง ผิวหนังชั้นอีพิตีเดอรัสมีสชั้นสตราตัมคอร์เนียม	4
2.2 โครงสร้างแบบ lipid bilayer	5
2.3 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของสัปปะรด	6
3.1 การแยกชั้นของสารสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกของสัปปะรดสายพันธุ์ ปัตตาเวีย หลังทำการเติม Petroleum ether เพื่อแยกไขมันออกมา	28
3.2 สารสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกของสัปปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย หลังทำระเหยเอา Petroleum ether ออก	29
4.1 แสดงจุกและเปลือกหลังจากสกัดด้วย Ultrasonic-assisted extraction	34
4.2 แสดงจุกและเปลือกหลังทำให้แห้งแล้ว	34



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาของปัญหาและความสำคัญ

สับปะรด (*Ananas comosus*) เป็นพืชล้มลุกในวงศ์ Bromeliaceae มีถิ่นกำเนิดจากทวีปอเมริกาใต้ และแพร่กระจายปลูกในเขตร้อนหลายประเทศ รวมทั้งประเทศไทยซึ่งปลูกกันอย่างกว้างขวางทั้งเพื่อบริโภคสดและเพื่อการแปรรูปทางอุตสาหกรรม ประเทศไทยมีการปลูกสับปะรดหลากหลายพันธุ์ เช่น ปัตตาเวีย (Smooth Cayenne หรือสับปะรดศรีราชา) อินทรีขีด ขาว ภูเก็ต/สวี นางแลหรือน้ำผึ้ง ทรายทอง ภูแล หัวยมุ่น และเพชรบุรี ซึ่งแต่ละพันธุ์มีลักษณะผล ขนาด เนื้อ สี และรสชาติแตกต่างกัน เช่น พันธุ์ปัตตาเวียผลใหญ่ ฉ่ำน้ำ เนื้อเหลืองอ่อน พันธุ์ภูเก็ตผลเล็ก เปลือกหนา เนื้อเหลืองเข้มหวานกรอบ พันธุ์นางแลมีผลกลม เปลือกบาง เนื้อเหลืองเข้มรสหวานจัด และพันธุ์ทรายทองมีสีผลเหลืองคล้ายทอง รสหวานกรอบตลอดผล (สับปะรด, 2569) แหล่งปลูกสำคัญของไทยอยู่ในพื้นที่ใกล้ทะเลและที่ดอน เช่น ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ชลบุรี ระยอง ฉะเชิงเทรา จันทบุรี ตราด พิชณุโลก อุตรดิตถ์ รวมถึงบางพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น หนองคาย ฤดูกาลเก็บเกี่ยวหลักอยู่ช่วงพฤศจิกายน-มกราคม และเมษายน-กรกฎาคม ซึ่งให้ผลผลิตมากและราคาถูก ส่วนช่วงกุมภาพันธ์-ต้นเมษายน และสิงหาคม-ตุลาคมเป็นช่วงนอกฤดูที่ให้ผลผลิตน้อยและราคาสูง สับปะรดกลายเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของไทย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหารและการส่งออก ซึ่งประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกสับปะรดกระป๋องอันดับหนึ่งของโลก มีส่วนแบ่งตลาดประมาณร้อยละ 50 ของปริมาณสับปะรดกระป๋องทั้งหมด สร้างรายได้ให้ประเทศปีละประมาณ 23,000-25,000 ล้านบาท โดยมีตลาดสำคัญคือสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และตะวันออกกลาง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559, 2565) ในปี 2565 ประเทศไทยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวสับปะรดประมาณ 455,574 ไร่ ผลผลิตรวม 1.78 ล้านตัน หรือเฉลี่ยประมาณ 3,899 กิโลกรัมต่อไร่ โดยผลผลิตร้อยละ 70-80 ถูกส่งเข้าสู่โรงงานแปรรูป ที่เหลือส่งตลาดบริโภคสด และไทยยังมีสัดส่วนผลผลิตสับปะรดโลกประมาณร้อยละ 52.10 พร้อมปริมาณการส่งออกสูงสุดคิดเป็น 0.41 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ในเชิงอุตสาหกรรมอาหารและสิ่งแวดล้อม การผลิตสับปะรดในปริมาณมากเพื่อตอบสนองความต้องการบริโภคสดและแปรรูปทำให้เกิดส่วนเหลือทิ้งในห่วงโซ่การผลิตจำนวนมาก โดยประมาณ 50-80% ของน้ำหนักผลสับปะรด ได้แก่ เปลือก หัวจุก ตา แกนกลาง ใบ และลำต้น มักถูกฝังกลบหรือเผา ทำให้เกิดปัญหาขยะและมลพิษ (ไทยเซ็นทรัลเคมี, 2566)

ตัวอย่างในมาเลเซียพบว่าจากการผลิตสับปะรด 335,488 ตัน เกิดของเสียจากใบ 67,098 ตัน และเปลือก 137,550 ตัน ซึ่งมีความชื้น น้ำตาล โปรตีน ไขมัน และวิตามินสูง ทำให้เน่าเสียง่ายและเป็นแหล่งเพาะจุลินทรีย์ ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเมื่อต้องฝังกลบหรือเผา เช่น การรั่วซึมออกซิเจนในระบบนิเวศ การปนเปื้อนในพื้นที่ฝังกลบ และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Aili et al., 2021) การใช้ประโยชน์ส่วนเหลือทิ้งของสับปะรดจึงไม่เพียงช่วยลดภาระการจัดการกำจัดของเสียและปัญหาสิ่งแวดล้อม แต่ยังช่วยเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้แก่ห่วงโซ่การผลิตสับปะรดทั้งหมด และสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนในภาคเกษตรและอุตสาหกรรมอาหาร ผู้ศึกษาจึงสนใจการนำส่วนเหลือทิ้งจากสับปะรดมาใช้ประโยชน์เพราะในสับปะรดมี Glycosylceramide ซึ่งเป็นเซราไมด์ที่ได้จากการสกัดส่วนเหลือทิ้งของสับปะรด เซราไมด์เป็นสารในกลุ่มไฟโตลิพิด สารไฟโตลิพิดเป็นสารที่พบในผิวหนังด้วย ทำให้ผู้วิจัยเห็นว่าถ้าเราสามารถนำสารไฟโตลิพิดจากส่วนเหลือทิ้งของเปลือกและจุกสับปะรดออกมาได้ แล้วนำมาเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางก็จะเป็นการช่วยลดขยะจากส่วนเหลือทิ้งของสับปะรด และช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับสับปะรดด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาการสกัดสารกลุ่มไฟโตลิพิดจากส่วนเหลือทิ้งของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ได้แก่ เปลือกและจุก และทำการเปรียบเทียบโดยวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และวิเคราะห์สารประกอบไขมันของสารสกัด

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 เตรียมสารสกัดไฟโตลิพิดจากส่วนเหลือทิ้งของเปลือกและจุกของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย และทำการศึกษาผลของตัวทำละลายต่อประสิทธิภาพการสกัด

1.3.2 การทดสอบหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี DPPH (DPPH scavenging activity) เพื่อหาค่า  $IC_{50}$  โดยใช้โทรลอกซ์เป็นสารมาตรฐานและวิธีหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระร่วม Total antioxidant capacity (TAC) โดยใช้โทรลอกซ์เป็นสารมาตรฐาน

1.3.3 เตรียมและวิเคราะห์สารประกอบกรดไขมันของสารสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกของสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวียโดยวิธี Gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS)

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

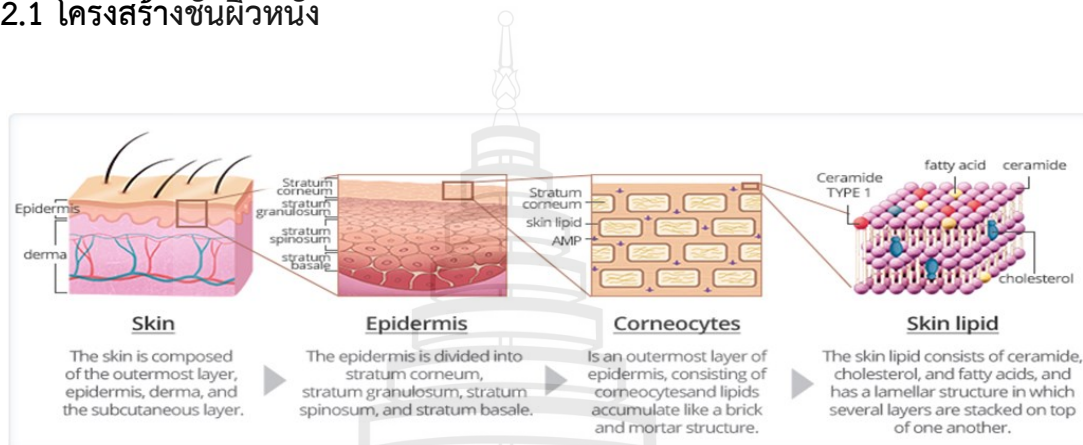
ทราบศักยภาพของส่วนเหลือทิ้งของสับประรดในการเป็นแหล่งวัตถุดิบเพื่อสกัดไฟโตลิพิด



## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 โครงสร้างชั้นผิวหนัง

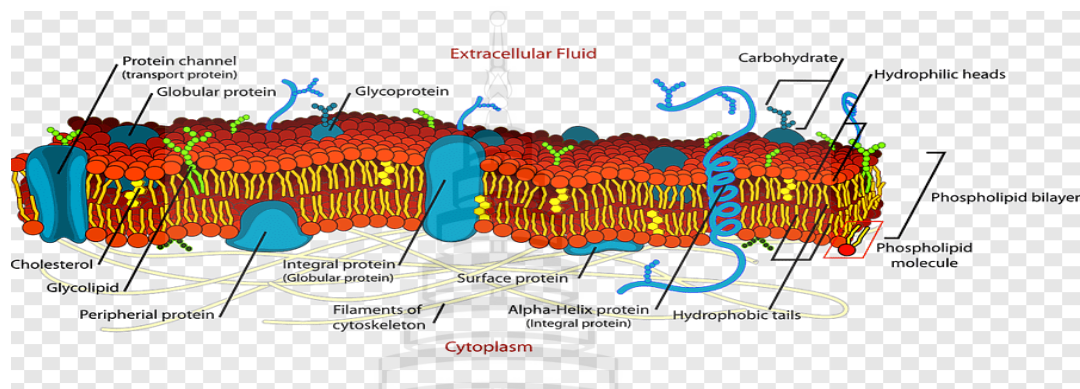


ที่มา Neopharm (2015)

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างผิวหนัง ผิวหนังชั้นอิพิเดอร์มิสชั้นสตราตัมคอร์เนียม

ในเซลล์ผิวหนังชั้นนอกหรือชั้นอิพิเดอร์มิส มีชั้นสตราตัมคอร์เนียมของหนังกำพรั ประกอบด้วยคอร์นีโอไซต์ที่ตายแล้วเรียงตัวเป็น “อิฐ” และลิพิดระหว่างเซลล์ ได้แก่ เซราไมด์ โคลเลสเตอรอล และกรดไขมัน ทำหน้าที่เป็น “ปูน” เชื่อมเซลล์ผ่าน corneodesmosome ทำให้โครงสร้างแน่นหนา ป้องกันเชื้อโรค มลภาวะ สารพิษ และช่วยรักษาอุณหภูมิของร่างกาย (ฟาร์มา บิวตี้แคร์, 2565) กรดไขมันจากพืชจึงถูกใช้ในสูตรเครื่องสำอางในรูปไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว รวมถึงเอสเทอร์ของกลีเซอรอล เพื่อสร้างเกราะไขมันบนผิว ป้องกันสารอันตรายภายนอก ลดการระเหยน้ำ และเพิ่มความชุ่มชื้น โดยในสูตรอิมัลชันจะใช้ไขมันจากน้ำมันพืชและอนุพันธ์ที่มักได้จากพืชหรือเทคโนโลยีชีวภาพ ทำให้ต้องมีการพัฒนาเทคนิคการสกัดสมัยใหม่สำหรับได้ไขมันเชิงซ้อนเหล่านี้ (Ahmad & Ahsan, 2020) กรดไขมันมีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างและการทำงานของชั้นคอร์เนียม โดยเป็นส่วนของไกลโคลิพิดและเมทริกซ์ไขมันระหว่างเซลล์ที่ช่วยยึดเซลล์ให้แน่น ป้องกันเชื้อโรคและการสูญเสียน้ำ รวมทั้งเกี่ยวข้องกับความชุ่มชื้นตามธรรมชาติของผิว (NMF) (Ahmad & Ahsan, 2020) กรดไขมันหลักที่ใช้ในเครื่องสำอางคือไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะกรดไลโนเลอิก (โอเมก้า-6) และกรดอัลฟาไลโนเลนิก (โอเมก้า-3) น้ำมันที่อุดมด้วยโอเมก้า-6/โอเมก้า-3 ช่วยป้องกันการก่อตัวของเชื้อที่ทำให้เกิดกลาก โดยไขมันในหนังกำพรัส่วนใหญ่เป็นเซราไมด์และ essential fatty acids (EFAs) ซึ่งกรดไลโนเลอิกเป็นองค์ประกอบสำคัญ

ในเซราไมด์ที่ลดลงตามอายุ นำไปสู่ผิวแห้งหยาบและแพ้ง่าย เนื่องจาก keratinocytes ไม่สามารถผลิตวิตามินดีฟอร์มที่เกี่ยวกับการแปลง LA และ ALA ได้เอง การเสริม EFAs เฉพาะที่ผ่านการดูดซึมทางผิวหนังจึงสำคัญต่อโครงสร้างและลักษณะผิว โดยน้ำมันเมล็ดพืชที่อุดมด้วยกรดไขมันเหล่านี้ช่วยลดการสูญเสียน้ำผ่านผิวหนัง (TEWL) และเพิ่มคุณสมบัติให้ความชุ่มชื้นและทำให้ผมนุ่ม (Ahmad & Ahsan, 2020).



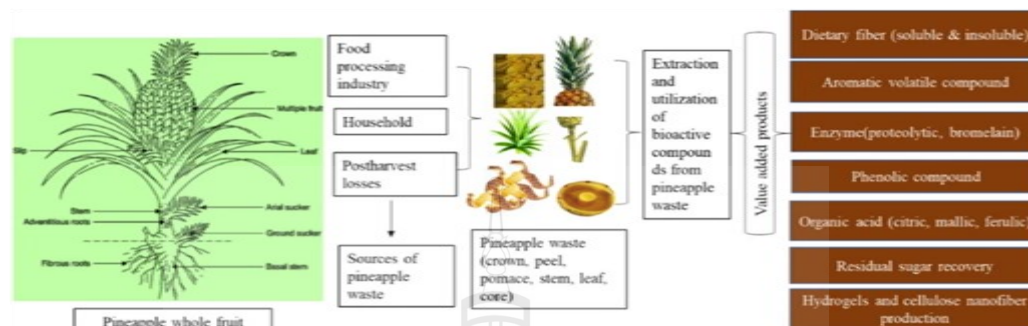
ที่มา Pngegg (n.d.)

ภาพที่ 2.2 โครงสร้างแบบ lipid bilayer

## 2.2 สับปะรด ความเป็นมาและการจำแนกลักษณะทางพฤกษศาสตร์ และศักยภาพทางโภชนาการ เศรษฐกิจ และการใช้ประโยชน์

สับปะรด (*Ananas comosus*) เป็นพืชในวงศ์ Bromeliaceae มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ และถูกนำมาปลูกแพร่หลายในประเทศไทยในฐานะพืชล้มลุกอายุหลายปีและพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศ พันธุ์ที่นิยมปลูกในไทย ได้แก่ พันธุ์ปัตตาเวียหรือศรีราชาที่ผลใหญ่ ฉ่ำน้ำ เนื้อเหลืองอ่อน พันธุ์อินทรีซึ่งเป็นพันธุ์พื้นเมืองเก่าแก่ พันธุ์ขาวที่มีหลายจุกและเนื้อหวานไม่มาก พันธุ์ภูเก็ต/สวีที่ผลเล็กเปลือกหนาเนื้อเหลืองเข้มหวานกรอบ พันธุ์นางแล/น้ำผึ้งที่ผลกลม เปลือกบาง เนื้อเหลืองเข้มหวานจัด พันธุ์ตราดสีทองที่ผลสีเหลืองทองหวานกรอบ พันธุ์ภูเก็ตที่ผลเล็กกินได้ทั้งผล พันธุ์เพชรบุรีที่ผลย่อยไม่ติดแน่น แกะแกนกินได้ และพันธุ์อื่น ๆ เช่น ห้วยมุ่น และสิงคโปร์ปัตตาเวียที่ปรับตัวได้ดีในหลายพื้นที่ของประเทศ ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสับปะรดแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมต่อการเพาะปลูกในหลายพื้นที่ สับปะรดเป็นไม้ล้มลุกอายุหลายปี สูงประมาณ 90–100 ซม. มีลำต้นใต้ดิน ใบเดี่ยวเรียงซ้อนรอบต้น ยาวได้ถึง 1 เมตร ดอกออกเป็นช่อจากกลางต้น และผลเป็นผลรวมทรงกระบอกมีจุกใบที่ปลาย สามารถทนต่อสภาพอากาศร้อน ต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมราว 23.9–29.4 °C และปริมาณฝน 1,000–1,500 มม./ปี ในดินร่วน ดินร่วนปนทราย หรือดินชายทะเลที่

มี pH 4.5–5.5 พีชชนิดนี้ยังสามารถแตกตจากลำต้นเพื่อให้ผลผลิตต่อเนื่อง และอาจดัดแปลงเป็นไม้ประดับได้ด้วย จึงยิ่งเพิ่มศักยภาพทั้งเชิงเกษตรและเชิงเศรษฐกิจ (ไทยเซ็นทรัลเคมี, 2566)



ที่มา Aili et al. (2021)

ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของสับปะรด

นอกจากบทบาทเป็นอาหารและวัตถุดิบอุตสาหกรรมแล้ว สับปะรดยังมีสรรพคุณทางยาและสมุนไพร เอนไซม์โบรมีเลนจากผลสับปะรดช่วยย่อยโปรตีนในระบบทางเดินอาหาร และถูกใช้ในอุตสาหกรรมทางการแพทย์เพื่อบรรเทาอาการอักเสบของเนื้อเยื่อ รวมถึงใช้ในอุตสาหกรรมเบียร์เพื่อป้องกันการตกตะกอนทำให้เบียร์ใส ทางสมุนไพรมีการใช้ผลและส่วนต่าง ๆ เพื่อบรรเทาผลเป็นหนอง ขับปัสสาวะ แก้อ่อนกระสับกระส่าย กระจายน้ำ บวม น้ำ ปัสสาวะไม่ออก และโรคบิด รวมทั้งช่วยย่อยโปรตีน แก้อักเสบ ไร้นิว และเส้นเท้าแตก ขณะที่รากสับปะรดถูกใช้เป็นยาแก้พิษ บำรุงไต และช่วยฆ่าตัวอ่อนของหนอนแมลงวันในบางตำรับ ข้อเท็จจริงเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าสับปะรดเป็นทรัพยากรชีวภาพที่มีศักยภาพสูงทั้งด้านโภชนาการ เศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และการใช้ประโยชน์ทางเภสัชกรรม และสมุนไพร ทางโภชนาการ สับปะรดเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยสับปะรดสด 100 กรัม ให้พลังงานประมาณ 50 กิโลแคลอรี มีคาร์โบไฮเดรตราว 13.52 กรัม ไฟเบอร์ 1.4 กรัม โปรตีน 0.54 กรัม และไขมันต่ำเพียง 0.3 กรัม พร้อมทั้งอุดมด้วยวิตามินอย่างน้อย 9 ชนิด เช่น โพลีฟีนอล ฟิโตรีติน ไนอะซิน ไรโบฟลาวิน ไทอามีน วิตามินเอ วิตามินอี วิตามินเค และโดยเฉพาะวิตามินซีที่สูงถึงประมาณ 80% ของความต้องการต่อวัน ทำให้สับปะรดเป็นแหล่งวิตามินและสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ สมดุลของคาร์โบไฮเดรต ไฟเบอร์ และวิตามินเหล่านี้สนับสนุนทั้งระบบภูมิคุ้มกัน การสร้างคอลลาเจน และสุขภาพระบบทางเดินอาหาร (ไทยเซ็นทรัลเคมี, 2566) สารสกัดจากสับปะรดได้จากส่วนต่าง ๆ ของผลที่อุดมด้วยวิตามินซีและเอนไซม์โบรมีเลน ทำให้มีคุณสมบัติช่วยให้ความชุ่มชื้น ปรับสภาพผิว และเร่งการผลิตเซลล์ผิว สารต้านอนุมูลอิสระจากสับปะรดช่วยลดเลือนจุดต่างดำและริ้วรอย ปรับสีผิวให้สม่ำเสมอและกระจ่างใส ขณะที่วิตามินซีช่วยกระตุ้นการสร้างคอลลาเจนให้ผิวดูอ่อนเยาว์มากขึ้น ส่วนโบรมีเลนมีฤทธิ์ลดการอักเสบและระคายเคือง จึงทำให้ผิวรู้สึกสงบและเรียบ

เนียน พร้อมทั้งช่วยล็อกความชุ่มชื้นในผิว ส่งผลให้ผิวดูสดใสมีชีวิตชีวา คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้สารสกัดจากสับปะรดถูกใช้แพร่หลายในผลิตภัณฑ์บำรุงผิวสมัยใหม่ที่เน้นผิวกระจ่างใสและฟื้นฟูผิวหมองคล้ำ (บริษัท ไวส์พลัสโกร จำกัด, 2567)

มิติทางเศรษฐกิจ สับปะรดเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย โดยไทยเป็นผู้ส่งออกสับปะรดกระป๋องอันดับหนึ่งของโลก มีส่วนแบ่งตลาดประมาณ 50% ของปริมาณสับปะรดกระป๋องทั้งหมด สร้างรายได้ให้ประเทศราวปีละ 23,000–25,000 ล้านบาท และมีตลาดส่งออกหลัก ได้แก่ สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และตะวันออกกลาง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) ในปี 2565 ช่วงเดือนมกราคม–ตุลาคม ไทยส่งออกสับปะรดประมาณ 433,997 ตัน มูลค่ามากกว่า 20,065 ล้านบาท โดยราคาสับปะรดโรงงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 5.13 เป็น 6.89 บาท/กิโลกรัม และสับปะรดบริโภคสดเฉลี่ยเพิ่มเป็น 10.66 บาท/กิโลกรัมเมื่อเทียบกับปีก่อน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ภาพรวมผลผลิตโลกในปีเดียวกันอยู่ที่ประมาณ 28.99 ล้านตัน โดยไทยมีสัดส่วนราว 52.10% ของผลผลิตรวมและมีปริมาณการส่งออกสูงสุด เมื่อเทียบกับฟิลิปปินส์และอินโดนีเซีย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ข้อมูลเหล่านี้สะท้อนว่าแม้สับปะรดอาจได้รับความสนใจเชิงนโยบายไม่มากเท่าพืชเศรษฐกิจอื่น แต่กลับมีมูลค่าตลาดสูง ปลูกง่าย ทนสภาพแวดล้อมหลากหลาย และสอดคล้องความต้องการทั้งอุตสาหกรรมและตลาดบริโภคโดยเฉพาะกลุ่มผู้รักสุขภาพ (ไทยเซ็นทรัลเคมี, 2566) ในปี 2565 ประเทศไทยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวสับปะรดประมาณ 455,574 ไร่ ให้ผลผลิตรวมราว 1.78 ล้านตัน หรือเฉลี่ยประมาณ 3,899 กิโลกรัมต่อไร่ โดยราว 70–80% ของผลผลิตสดถูกส่งเข้าสู่โรงงานแปรรูป และส่วนใหญ่กว่า 80% ของปริมาณที่ส่งโรงงานเป็นพันธุ์ปัตตาเวีย ขณะที่ร้อยละประมาณ 20 ของผลผลิตถูกส่งตลาดบริโภคในประเทศ แหล่งปลูกสำคัญ ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ระยอง ชลบุรี เพชรบุรี พิษณุโลก พื้นที่ชายฝั่งตะวันออกและภาคใต้หลายจังหวัด และบางพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น หนองคายที่ได้รับการขึ้นทะเบียน GI มีชื่อเสียงด้านรสหอมหวาน แกนกรอบ และไม่กัดลิ้น โดยผลผลิตจะออกมากในช่วงมีนาคม–มิถุนายน และพฤศจิกายน–มกราคม (ไทยเซ็นทรัลเคมี, 2566)

ความต้องการสับปะรดที่สูงขึ้นทำให้เกิดการผลิตมากตามไปด้วย และเป็นสาเหตุให้เกิดของเสียจำนวนมากจากส่วนหัวจุก เปลือก ใบ แกนกลาง และลำต้น โดยประมาณ 80% ของชิ้นส่วนเหล่านี้ถูกทิ้งในขั้นตอนแปรรูป ขนส่ง และเก็บรักษา (Aili et al., 2021) ตัวอย่างเช่น มาเลเซียผลิตสับปะรด 335,488 ตัน และสร้างของเสียจากใบราว 67,098 ตัน และเปลือกราว 137,550 ตัน ซึ่งของเสียเหล่านี้มีความชื้นสูงและอุดมด้วยน้ำตาล โปรตีน ไขมัน และวิตามิน ทำให้เน่าเสียได้ง่ายและเสี่ยงต่อการปนเปื้อนจุลินทรีย์และปัญหาสิ่งแวดล้อม การกำจัดโดยการฝังกลบหรือเผาในที่โล่งอาจนำไปสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจก การยับยั้งออกซิเจนในระบบนิเวศ และเพิ่มความเสี่ยงของโรคติดเชื้อ จึงจำเป็นต้องพัฒนาแนวทางจัดการของเสียที่ยั่งยืน (Aili et al., 2021) อุตสาหกรรมแปรรูป

ผลไม้และผักรวมถึงสับปะรดเป็นแหล่ง food waste สำคัญตั้งแต่ขั้นตอนเก็บเกี่ยวจนถึงการแปรรูป โดยวัสดุเหลือใช้จากเปลือก แกน กาก และจุกมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจำนวนมาก เช่น เอนไซม์ โบรมีเลน เพกทินเนส ไซลาเนส เซลลูเลส กรดอินทรีย์ และสารฟีนอลิกต้านอนุมูลอิสระ ที่สามารถนำมาใช้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม เช่น เอนไซม์สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร สารต้านอนุมูลอิสระสำหรับอาหารและเครื่องสำอาง หรือวัตถุดิบสารสกัดชีวภาพอื่น ๆ การนำส่วนเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ประโยชน์จะช่วยลดปริมาณขยะ ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และเพิ่มมูลค่าให้ทั้งส่วนที่กินได้และส่วนที่เหลือของสับปะรด (Meena et al., 2022) แนวทางการใช้ประโยชน์ของเสียจากสับปะรด ได้แก่ การเปลี่ยนเป็นพลังงานและผลิตภัณฑ์ชีวภาพผ่านกระบวนการชีวเคมี (การหมักจุลินทรีย์ การย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน), เทอร์โมเคมี (ไพโรไลซิส การทำให้เป็นแก๊ส การเผาไหม้) และกระบวนการเคมีฟิสิกส์ (ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน) ซึ่งช่วยผลิตก๊าซชีวภาพ เชื้อเพลิงชีวภาพ และผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม เช่น วัสดุย่อยสลายได้ น้ำมันหอมระเหย และตัวดูดซับ ของเสียจากสับปะรดมีเส้นใย ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ สารต้านอนุมูลอิสระ เอนไซม์โบรมีเลน และกลุ่มคาร์บอนิล คาร์บอกซิล และไฮดรอกซิล จึงเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ชีวภาพและสารดูดซับ รวมถึงการใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานก๊าซชีวภาพ โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทที่การเข้าถึงพลังงานจำกัด (Aili et al., 2021)

## 2.3 วิธีที่ใช้ในการสกัดไฟโตลิพิด

การสกัดไฟโตลิพิดจากพืชสามารถทำได้หลายเทคนิค โดยวิธีดั้งเดิมที่ใช้กันมานาน ได้แก่ การแช่สกัด (maceration) ซึ่งนำสมุนไพรแช่ในตัวทำละลาย เช่น เอทานอลหรือน้ำในภาชนะปิดเพื่อให้ตัวทำละลายแพร่เข้าเนื้อเยื่อและละลายสารสำคัญออกมา และการสกัดแบบต่อเนื่อง (percolation) ที่ใช้อุปกรณ์เพอร์โคเลเตอร์ปล่อยให้ตัวทำละลายไหลผ่านวัตถุดิบอย่างต่อเนื่องเพื่อดึงสารออกมาอย่างสม่ำเสมอ (ดวงเพ็ญ ปัทมดิลก, 2566; Pradabsang et al., 2023) สำหรับเทคนิคสมัยใหม่มีการใช้ของไหลวิกฤตยิ่งยวด (supercritical fluid extraction; SFE) โดยเฉพาะการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงเพื่อสกัดสารที่ไม่ทนความร้อน และการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ (microwave assisted extraction; MAE) หรือการสกัดด้วยความดันสูง (accelerated solvent extraction; ASE) ที่ช่วยเพิ่มอัตราการแพร่ของตัวทำละลาย ลดเวลาและปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ (ดวงเพ็ญ ปัทมดิลก, 2566) การเลือกวิธีและตัวทำละลายจึงขึ้นกับชนิดของไฟโตลิพิดและเมทริกซ์ของพืชเป็นสำคัญ ตัวทำละลายที่ใช้สกัดไฟโตลิพิดและสารร่วมอื่นจากพืชมีทั้งชนิดมีขั้วและไม่มีขั้ว เช่น เอทานอลและเมทานอลใช้สกัดสารมีขั้ว ได้แก่ แทนนิน ฟลาโวนอยด์ และเทอร์ปีนอยด์บางชนิด

ขณะที่คลอโรฟอร์มและเฮกเซนเหมาะสมสำหรับสกัดลิวโธอินและเทอร์ปีนอยด์ที่ไม่มีขี้ ส่วนอะซิโตนและเอทิลอะซิเตตเหมาะสมกับสารมีขี้ปานกลาง โดยทั่วไปมักใช้ตัวทำละลายผสมเพื่อเพิ่มช่วงความมีขี้ และประสิทธิภาพการสกัด (ดวงเพ็ญ ปัทมดิลก, 2566) การเลือกตัวทำละลายต้องพิจารณาสมบัติทางฟิสิกส์เคมี ความปลอดภัย ความเป็นพิษ และความเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ปลายทาง ไม่ว่าจะเป็นอาหาร ยา หรือเครื่องสำอาง (Pradabsang et al., 2023)

กรณีศึกษา “การสกัดน้ำมันจากเปลือกสับปะรด” มีรายงานการใช้การสกัดเย็นจากเปลือกสับปะรดเหลืองทั้ง โดยนำเปลือกไปตากแห้ง 5 วัน อบต่ออีกประมาณ 1.5 ชั่วโมง จากนั้นบดละเอียดและแช่ด้วย n hexane นาน 72 ชั่วโมง แล้วระเหยตัวทำละลายออกด้วยอ่างน้ำที่ 35 °C เพื่อให้ได้น้ำมันดิบ น้ำมันที่ได้ถูกวิเคราะห์คุณสมบัติฟิสิกส์เคมี ได้แก่ free fatty acid (FFA), ค่า saponification (SV), iodine value (IV), peroxide value (PV) และ acid value (AV) พบค่าเฉลี่ย FFA = 2.068 mg KOH/g, SV = 226.27 mg KOH/g, IV = 37.44 g/100 g, PV = 7.666 mEq/kg และ AV = 4.12 mg KOH/g สะท้อนความเป็นกรดอิสระปานกลางและความไม่อิ่มตัวพอเหมาะสำหรับการใช้เป็นวัตถุดิบในงานอุตสาหกรรม (Orodu & Inengite, 2018) การวัด FFA ทำตามมาตรฐาน AOCS โดยชั่งน้ำมัน 1.0 กรัม ผสมในเอทานอล 95% 25 มิลลิลิตร เติม phenolphthalein และไตเตรตด้วย NaOH 0.1 N จนเปลี่ยนเป็นสีชมพู แล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ oleic acid และแปลงต่อเป็น acid value ด้วยปัจจัย 1.99 (The American Oil Chemists' Society [AOCS], 1992; Orodu & Inengite, 2018)

เทคนิคอัลตราซาวด์ถูกนำมาประยุกต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารออกฤทธิ์จากเมทริกซ์พืช เช่น การสกัดสารออกฤทธิ์ชีวภาพจากรำข้าวโดยการให้ความร้อนแบบไฮโดรเทอร์มอล ร่วมกับการใช้อัลตราซาวด์ ก่อนสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ โดยใช้รำข้าว 10 กรัม ผสมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร แล้วนึ่งที่ 121 °C, 15 psi เป็นเวลา 20 นาที (hydrothermal) จากนั้นอบที่ 60 °C 4 ชั่วโมง จนความชื้นใกล้เคียงตัวอย่างควบคุม แล้วเติมเอทานอลหรือเอทิลอะซิเตตเป็นตัวทำละลายและสกัดด้วยอัลตราซาวด์ที่ความถี่ 40 kHz เวลา 1 ชั่วโมง ที่ 45 °C สารสกัดถูกรองและระเหยตัวทำละลายด้วย rotary evaporator ก่อนเก็บที่ 4 °C เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกและทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ผลพบว่า การให้ความร้อนแบบ hydrothermal ร่วมกับอัลตราซาวด์โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายให้สารสกัดที่มี phenolic acid และ  $\gamma$  oryzanol สูงสุด และมีประสิทธิภาพต้านภาวะเครียดออกซิเดชันในเซลล์ SH SY5Y สูงกว่าวิธีอื่น แสดงให้เห็นว่า การใช้คลื่นอัลตราซาวด์ร่วมกับการปรับโครงสร้างเมทริกซ์ด้วยความร้อนสามารถเพิ่มการปลดปล่อยฟิโตนิวติคและสารออกฤทธิ์อื่นได้อย่างมีนัยสำคัญ (อัครเกียรติ พวงแสง และศุภกาญจน์ รัตนกร, 2563)

การประยุกต์ใช้อัลตราซาวด์ในการสกัดไขมันจากสาหร่ายก็เป็นอีกแนวทางที่ใช้เพิ่มผลผลิตน้ำมันสำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยมีงานศึกษาการสกัดไขมันจากสาหร่ายเขียวจุลินทรีย์ (เช่น

*Chlorella* sp.) ด้วยอัลตราซาวด์ร่วมกับเฮกเซน วิธีหนึ่งคือเก็บเกี่ยวสาหร่ายด้วยการปั่นเหวี่ยงที่ 5,000 รอบต่อนาที 10 นาที จากนั้นนำชีวมวลสาหร่ายความเข้มข้นประมาณ  $10^7$  เซลล์/มิลลิลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาสัมผัสอัลตราซาวด์ที่ระดับพลังงาน 40–100% ของ 130 วัตต์ เป็นเวลา 1–20 นาที แล้วปั่นเหวี่ยงแยกเซลล์ออกจากน้ำและไขมัน ก่อนสกัดไขมันด้วยเฮกเซนและระเหยตัวทำละลายด้วย rotary evaporator เพื่อขังน้ำหนักไขมันและนำไปวิเคราะห์ห้องค์ประกอบกรดไขมันด้วย GC การปรับระดับพลังงานและเวลาของอัลตราซาวด์พบว่าสามารถเพิ่มการปลดปล่อยไขมันจากเซลล์สาหร่ายได้อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการออกแบบกระบวนการสกัดที่ประหยัดเวลาและตัวทำละลาย (รุ่งโรจน์ ศรีภูมิ, 2558)

เทคนิคอัลตราซาวด์ยังถูกใช้ร่วมกับการออกแบบเงื่อนไขสกัด (เช่น response surface methodology; RSM) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดเฮราไมด์จากรำข้าวแดง โดยอาศัย UHPLC Triple TOF MS/MS ในการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบ การทดลองใช้รำข้าวแดงบด 50 กรัม แช่ในเอทานอล 95% ปริมาณประมาณ 5 เท่าของน้ำหนักรำ แล้วสกัดด้วย ultrasonic processor ที่ความถี่ 40 kHz อุณหภูมิ 50 °C และกำลังไฟ 360 วัตต์ จากนั้นทำสารสกัดให้เข้มข้นด้วย rotary evaporator แล้วทำ partition กับปิโตรเลียมอีเทอร์และทำให้แห้งด้วย vacuum drying จนไม่มีตัวทำละลายตกค้าง ศึกษาผลของตัวทำละลาย (เอทานอล 95%, ปิโตรเลียมอีเทอร์, เอทิลอะซิเตต, คลอโรฟอร์ม) อัตราส่วนตัวทำละลายต่อรำ (1:3–1:7), เวลา (25–65 นาที) และอุณหภูมิ (40–80 °C) ต่อผลผลิตเฮราไมด์ พบว่าคลอโรฟอร์มให้ปริมาณเฮราไมด์สูงกว่าเอทานอล แต่เมื่อคำนึงถึงความปลอดภัยและพิษจึงเห็นว่าการใช้เอทานอล 95% ที่เวลา 45 นาทีและ 50 °C เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในเชิงปฏิบัติ (Wang et al., 2022)

ในด้านการสกัดด้วยตัวทำละลายสำหรับน้ำมันจากสาหร่าย งานของ Ramluckan et al. (2014) ใช้ Soxhlet extraction เพื่อเปรียบเทียบตัวทำละลาย 13 ชนิดทั้งมีขี้และไม่มีขี้ในการสกัดไขมันจาก *Chlorella* sp. โดยใช้ทั้งตัวทำละลายเดี่ยวและตัวทำละลายผสม ในช่วงเวลา 1–5 ชั่วโมง แล้วใช้ UV Vis วัดคลอโรฟิลล์และ GC วิเคราะห์กรดไขมัน ผลพบว่า ethanol, chloroform และ hexane มีประสิทธิภาพการสกัดสูงกว่าตัวทำละลายอื่น โดยให้ผลผลิตไขมันมากกว่า 10% และเวลาที่เหมาะสมคือ ประมาณ 3 ชั่วโมง ส่วนผสมตัวทำละลายที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ chloroform:ethanol อัตราส่วน 1:1 ที่ให้ผลผลิตไขมันประมาณ 11.76% ขณะที่ chloroform เดี่ยวให้ราว 10.78% ซึ่งสูงกว่า ethanol หรือ hexane เดี่ยว และการสกัดเกิน 3 ชั่วโมงไม่ได้เพิ่มผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ข้อมูลนี้ตอกย้ำว่าการเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม เช่น chloroform, ethanol, hexane และส่วนผสมของมันมีผลอย่างมากต่อปริมาณไขมันที่ได้สำหรับการผลิตไบโอดีเซล (Ramluckan et al., 2014)

การเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดและความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมยังถูกศึกษาในสมุนไพรตระกูล Apiaceae เช่น ขึ้นฉ่าย ผักชีฝรั่ง และยี่หระ โดยเปรียบเทียบการสกัดไขมันด้วย percolation, ultrasonic assisted extraction (UAE) และ supercritical fluid extraction (SFE) (Shams et al., 2015) ใช้พืชแต่ละชนิด 100 กรัม ในวิธี percolation สกัดด้วย chloroform/ethanol (2:1) 2,000 มิลลิลิตร ซ้ำ 4 วัน แล้วระเหยตัวทำละลายภายใต้สูญญากาศที่ 40 °C ในขณะที่ UAE ใช้ chloroform/methanol (2:1) 800 มิลลิลิตร สกัดด้วย UP400S (400 W, 24 kHz) 20 นาที และ SFE ใช้ CO<sub>2</sub> ที่ 200 บาร์ 50 °C ในโหมด static 15 นาที และ dynamic 3 ชั่วโมง (Shams et al., 2015) ผลพบว่า UAE ให้ผลผลิตน้ำมันสูงสุดในทั้งสามพืช ( $\approx$  71–76% เทียบกับ percolation) ในขณะที่ SFE ให้ผลผลิตสูงกว่าการกรองต่อเนื่องแต่ต่ำกว่า UAE ในบางชนิด โดยทุกวิธีให้กรดไขมัน petroselinic acid (C18:1) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของวงศ์ Apiaceae ใกล้เคียงกัน ประเด็นสำคัญคือ UAE และ SFE ไม่เพียงช่วยเพิ่มการสกัดไขมันทั้งหมด แต่ยังลดเวลาและปริมาณตัวทำละลาย และมีศักยภาพเป็นเทคโนโลยีสีเขียวในระดับอุตสาหกรรม (Shams et al., 2015)

ในมุมมองของตัวทำละลายอาหาร งานหนึ่งใช้ “น้ำมันพืชที่บริโภคได้” เป็นตัวทำละลายเพื่อสกัดสารออกฤทธิ์จากรำข้าว เพื่อลดการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์และเพิ่มความปลอดภัยของสารสกัดของปฏิกิริยา ลอยพิมาย และคณะปี 2020 โดยใช้รำข้าวหอมมะลิที่ผ่านการนึ่งไอน้ำที่ 115 °C จนใจกลางรำที่ 105 °C นาน 5 นาที แล้วเก็บที่ -18 °C จากนั้นชั่งรำ 40 กรัม ผสมกับน้ำมันพืชบริโภคได้ 6 ชนิด (น้ำมันถั่วเหลือง ดอกทานตะวัน ปาล์ม มะพร้าว คาโนลา และข้าวโพด) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร สกัดด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ (Vibra Cell VCX 500) ที่ 40 °C เวลา 30 นาที แอมพลิจูด 40 จากนั้นกรอง แยกกาก ปั่นเหวี่ยง 6,000 รอบต่อนาที 15 นาที และเก็บส่วนใสที่ -18 °C เพื่อวิเคราะห์ต่อ ผลพบว่าน้ำมันบางชนิดสามารถเพิ่มการละลายและปลดปล่อยสารออกฤทธิ์จากรำข้าว พร้อมเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดน้ำมัน ซึ่งเป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชันและอาหารเสริม (ปฏิกิริยา ลอยพิมาย และคณะ, 2563)

มีการเพิ่มเติมตัวอย่างวิธีการสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกสับปะรด โดยงาน “Extraction and GC-MS analysis of oil extracted from pineapple (*Ananas comosus*) peels” ใช้วิธีการสกัดเย็น เริ่มจากเตรียมสับปะรดจากตลาดท้องถิ่น ล้างและผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง หั่นเปลือกเป็นชิ้นเล็ก แล้วตากให้แห้ง 3 วัน จากนั้นอบที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง บดให้เป็นผงและนำไปแช่ใน n-hexane เป็นเวลา 3 วัน ก่อนระเหยตัวทำละลายในอ่างน้ำเพื่อให้เหลือแต่น้ำมัน แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ห้องค์ประกอบด้วยเทคนิค GC-MS (Orodu & Akpedi, 2021)

มีการศึกษาน้ำมันเมล็ด *Basella rubra* L. ที่วิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี โภชนาการ การยืนยันโครงสร้างสควาลีนด้วย NMR และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยผลพบว่าปริมาณไฟโตสเตอรอลทั้งหมดในน้ำมันเมล็ด *B. rubra* อยู่ที่ 2.26 กรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งสูงกว่าน้ำมันงาที่ประมาณ 0.44 กรัม

ต่อ 100 กรัม แสดงว่าน้ำมันพืชเป็นแหล่งไฟโตสเตอรอลที่อุดมสมบูรณ์ สามารถช่วยลดคอเลสเตอรอล LDL และลดความเสี่ยงโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ อีกทั้งอ้างอิงผลจากการสกัดเปลือกและจุกสับปรดว่าร้อยละผลผลิตของสารสกัดไขมันอยู่ในช่วง 1.01–6.23% ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจเมื่อเทียบกับวัตถุดิบพืชอื่น (Kumar et al., 2020)

การสกัดน้ำมันเมล็ดธัญพืชด้วยอัลตราโซนิกเปรียบเทียบกับวิธี Soxhlet โดยงานวิจัยหนึ่งพบว่า การใช้โซนิเคชันที่เวลา 37 นาที และอุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละผลผลิตน้ำมัน  $22.78 \pm 0.27\%$  ในขณะที่การสกัดแบบ Soxhlet ที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ให้ผลผลิต  $18.15 \pm 0.33\%$  แสดงว่า การใช้อัลตราซาวนด์ให้ผลผลิตสูงกว่า (Teng et al., 2016) กลไกคือพลังงานอัลตราซาวนด์ทำให้เกิดโพรงอากาศในตัวทำละลายซึ่งแตกตัวและสร้างแรงเฉือนที่ทำลายผนังเซลล์ ช่วยให้สารประกอบภายในเซลล์แพร่ออกมาง่ายขึ้น ประกอบกับความร้อนที่สัมพันธ์กับอัลตราซาวนด์ช่วยเร่งอัตราการสกัด ทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นมากที่อุณหภูมิสูง พร้อมทั้งสามารถลดเวลาในการ sonication เมื่อเทียบกับวิธีให้ความร้อนแบบเดิม (Teng et al., 2016)

โดยสรุป วิธีการสกัดไฟโตลิพิดสมัยใหม่ เช่น UAE, SFE, MAE, hydrothermal assisted และการใช้ตัวทำละลายอาหารมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด ลดเวลา ลดการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์อันตราย และเอื้อต่อการพัฒนาเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งในการสกัดน้ำมันจากผลไม้เศษเหลือ เช่น เปลือกสับปรด การสกัดไฟโตลิพิดจากรำข้าว และการสกัดลิพิดจากสาหร่ายสำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพ ข้อมูลเหล่านี้เป็นฐานสำคัญในการออกแบบเงื่อนไขการสกัดไฟโตลิพิดในงานวิจัยของคุณให้ได้ทั้งประสิทธิภาพสูงและสอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม

## 2.4 สารละลายที่ใช้ในการสกัดไขมัน

ไขมันเป็นองค์ประกอบหลักชนิดหนึ่งของอาหารและเนื้อเยื่อทั้งจากพืชและสัตว์ แม้จะไม่มีค่าจำกัดความที่ตายตัว แต่โดยทั่วไปหมายถึงกลุ่มสารที่มีโครงสร้างและสมบัติคล้ายกันคือไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อยมากในน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น benzene, chloroform, diethyl ether, hexane และ methanol ในเชิงโครงสร้าง ไขมันเป็นส่วนประกอบโครงสร้างสำคัญของเนื้อเยื่อร่วมกับคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน แต่การจำแนกกลุ่มไขมันมักอิงคุณสมบัติการละลายมากกว่าลักษณะโครงสร้าง โดยแบ่งเป็นไขมันเดี่ยวและไขมันเชิงซ้อน ซึ่งกลุ่มที่พบมากและสำคัญที่สุดคือ triacylglycerols (TAG) และ phospholipids (PLs) TAG ที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า “น้ำมัน” และมักมาจากพืชหรือสัตว์ ส่วน TAG ที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า “ไขมัน” ซึ่งส่วน

ใหญ่มาจากสัตว์ เช่น น้ำมันหมู และไขมันสัตว์ กระบวนการสกัดไขมันจากเนื้อเยื่อสัตว์หรือพืชมักประกอบด้วยหลายขั้นตอน ได้แก่ การทำให้แห้ง การลดขนาด และในบางกรณีมีการ hydrolysis ของเมทริกซ์โปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรตร่วมด้วย เนื่องจากตัวทำละลายไม่มีขั้ว เช่น diethyl ether และ hexane แทรกซึมเนื้อเยื่อที่มีความชื้นสูงไม่ดี เมื่อความชื้นมากกว่า ~8% มักทำให้สกัดไขมันได้ไม่เต็มที่ จึงนิยมลดความชื้นของตัวอย่างด้วยการอบแห้งด้วยเตาอบสุญญากาศที่อุณหภูมิต่ำหรือการแช่เยือกแข็ง-ทำให้แห้ง เพื่อป้องกันการเสื่อมสลายของไขมันจากความร้อนสูง การลดขนาดอนุภาค เช่น การบดเมล็ดพืช ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด นอกจากนี้ ในบางกรณีมีการทำให้ตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกันร่วมกับตัวทำละลายและคลื่นเสียงความถี่สูงเพื่อช่วยให้ไขมันออกจากโครงสร้างเซลล์ได้ดีขึ้น สำหรับตัวอย่างที่ไขมันถูกจับเป็นอิมัลชันหรือจับกับโปรตีนและแร่ธาตุ จำเป็นต้องทำ hydrolysis ด้วยกรดหรือด่าง โดยการย่อยตัวอย่างด้วยกรด HCl 3–6 M จะทำลายพันธะไอออนและโคเวเลนต์ ทำให้ไขมันที่ถูกจับอยู่เปลี่ยนเป็นรูปที่สกัดด้วยตัวทำละลายได้ง่ายขึ้น (Akoh, 2017)

การเลือกตัวทำละลายและวิธีการสกัดไขมันขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมีของตัวอย่าง (เช่น ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน/คาร์โบไฮเดรต) และชนิดไขมันที่ต้องการสกัดว่าต้องการเพียงไขมันผิวหรือไขมันทั้งหมด ตัวทำละลายในอุดมคติสำหรับการสกัดไขมันควรละลายไขมันได้สูง แต่ละลายโปรตีน กรดอะมิโน และคาร์โบไฮเดรตได้น้อยหรือไม่ละลายเลย แทรกซึมอนุภาคของตัวอย่างได้ดี และมีจุดเดือดค่อนข้างต่ำเพื่อระเหยออกง่ายโดยไม่ทิ้งสารตกค้าง ตัวทำละลายที่ใช้บ่อยสำหรับการแยกไขมัน ได้แก่ กลุ่มแอลกอฮอล์ (methanol, ethanol, isopropanol, n-butanol), acetone, acetonitrile กลุ่มอีเทอร์ (diethyl ether, isopropyl ether, dioxane, tetrahydrofuran) กลุ่ม halocarbons (chloroform, dichloromethane) กลุ่ม hydrocarbon (hexane, benzene, cyclohexane, isooctane) และส่วนผสมของตัวทำละลายเหล่านี้ อย่างไรก็ตาม ตัวทำละลายบางชนิด เช่น benzene แม้จะสกัดไขมันได้ดีแต่ไม่ควรใช้เนื่องจากมีศักยภาพก่อมะเร็งสูง และควรพิจารณาเรื่องการติดไฟ ความเป็นพิษ ความชื้น และต้นทุนควบคู่กันไป ความสามารถในการละลายของไขมันในตัวทำละลายอินทรีย์ขึ้นกับสัดส่วนโซ่ไฮโดรคาร์บอนไม่มีขั้วเทียบกับกลุ่มฟังก์ชันที่มีขั้ว เช่น ฟอสเฟตหรือหมู่น้ำตาลโมเลกุลกรดไขมัน ไขมันที่ไม่มีขั้ว เช่น TAG และ cholesteryl ester จะละลายได้ดีในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน เช่น hexane, benzene, cyclohexane และละลายได้ในตัวทำละลายที่มีขั้วมากขึ้นอย่าง chloroform หรือ diethyl ether แต่ไม่ค่อยละลายในแอลกอฮอล์ที่มีขั้วมาก เช่น methanol ความสามารถในการละลายในแอลกอฮอล์จะเพิ่มขึ้นเมื่อโซ่ไฮโดรคาร์บอนของตัวทำละลายยาวขึ้น ดังนั้นไขมันจะละลายใน n-butanol ได้ดีกว่าใน ethanol ขณะที่กรดไขมันสายสั้นจะมีแนวโน้มละลายได้ดีในตัวทำละลายมีขั้วสูง เช่น tributyrin สามารถละลายได้หมดใน methanol ในทางกลับกัน ไขมันที่มีขั้ว เช่น phospholipids จะละลายได้เพียงเล็กน้อยในตัวทำละลาย

ไฮโดรคาร์บอน เว้นแต่จะอยู่ร่วมกับไขมันไม่มีขั้วอื่น ๆ ที่ช่วยพาให้ละลาย การสกัดไขมันด้วยตัวทำละลายชนิดเดียวที่ใช้แพร่หลาย ได้แก่ diethyl ether และ petroleum ether ซึ่งเหมาะสำหรับการวัดไขมันทั้งหมดในตัวอย่างอาหาร เนื่องจากส่วนประกอบไขมันหลักมากกว่า 95% คือ TAG ตามด้วย mono-/diacylglycerols, glycolipids และ sterols Diethyl ether (จุดเดือด 34.6 °C) มีความสามารถละลายไขมันได้ดีกว่า petroleum ether แต่ petroleum ether มีความไม่ชอบน้ำมากกว่าและจุดเดือดต่ำ (35–38 °C) เหมาะสำหรับสกัดไขมันที่ไม่ชอบน้ำมาก เช่น น้ำมันจากเมล็ดพืช น้ำมันสัตว์ ฯลฯ Hexane และ pentane ก็เป็นตัวทำละลายยอดเยี่ยมในการสกัดไขมันจากเมล็ดพืชน้ำมันในระดับอุตสาหกรรมเนื่องจากราคาถูก จุดเดือดต่ำ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย (Akoh, 2017)

เพื่อให้สามารถสกัดลิพิด “ทั้งหมด” ได้ครบถ้วนในระบบที่มีทั้งลิพิดไม่ขั้วและลิพิดมีขั้ว เช่น phospholipids จึงนิยมใช้ระบบตัวทำละลายผสมที่มีทั้งส่วนมีขั้วและไม่มีขั้วในสัดส่วนเหมาะสม วิธีของ Folch และของ Bligh & Dyer เป็นมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในการสกัดลิพิดทั้งหมดจากเนื้อเยื่อ โดยใช้ระบบ chloroform: methanol และน้ำ ในวิธีของ Folch et al. ใช้ chloroform: methanol 2:1 (v/v) สกัดตัวอย่างสองขั้นตอน โดยละลายตัวอย่างในตัวทำละลายผสม กรอง และสกัดซ้ำหลายครั้ง ซึ่งสามารถสกัดลิพิดได้ราว 95% ในขั้นตอนแรก ถ้าตัวอย่างมีน้ำมาก จำเป็นต้องเริ่มจาก chloroform: methanol 1:2 (v/v) ให้เกิดเฟสเดียว แล้วจึงเติมน้ำหรือสารละลาย KCl 0.08% เพื่อแยกเฟส เก็บเฟสล่างที่อุดมด้วยไขมัน (Akoh, 2017)

วิธีของ Bligh & Dyer เน้นบทบาทของ “น้ำ” ในการกระจายเฟสและทำให้การแยกลิพิดบริสุทธิ์ขึ้น โดยเริ่มจาก chloroform: methanol 1:1 (v/v) แล้วปรับอัตราส่วนให้เป็น 2:1 (v/v) ในขั้นตอนต่อมาเพื่อให้ลิพิดรวมอยู่ในเฟสอินทรีย์ ) อย่างไรก็ดี วิธี Folch และ Bligh & Dyer ในรูปดั้งเดิมออกแบบมาสำหรับตัวอย่างขนาดใหญ่ (40–100 กรัม) และใช้ตัวทำละลายจำนวนมาก จึงมีการดัดแปลงให้ใช้ตัวอย่างและตัวทำละลายน้อยลงในงานวิเคราะห์ทั่วไป เช่น วิธีของ Lee และคณะที่ใช้อัตราส่วน chloroform: methanol แตกต่างกันตามปริมาณไขมันคาดการณ์ คือ 2:1 (v/v) สำหรับตัวอย่างไขมันมากกว่า 10% 1:1 (v/v) สำหรับไขมัน 2–5% และ 1:2 (v/v) สำหรับตัวอย่างไขมันต่ำกว่า 2% เพื่อลดปริมาณตัวทำละลายและเพิ่มความเหมาะสมในห้องปฏิบัติการ เพื่อลดการใช้ตัวทำละลายที่มีคลอรีนอย่าง chloroform มีการพัฒนาส่วนผสมตัวทำละลายใหม่ที่เป็น “alkane–alcohol–water” เช่น ระบบ water: isopropanol: cyclohexane 11:8:10 (v/v/v) ของ Smedes ซึ่งแทนที่ methanol ด้วย isopropanol และแทน chloroform ด้วย cyclohexane ในระบบนี้ ไขมันจะถูกรวมอยู่ในเฟสบนร่วมกับ cyclohexane ทำให้หลีกเลี่ยงการใช้คลอโรฟอร์มได้ นอกจากนี้ ยังมีส่วนผสมอื่น เช่น hexane: isopropanol 3:2 (v/v), heptane: ethanol: water: sodium dodecyl sulfate 1:1:1:0.05 (v/v/v/w), methylene chloride: methanol 2:1 (v/v) และ

hexane: acetone 1:1 (v/v) ที่ใช้สกัดไขมันจากวัสดุชีวภาพหลากหลาย เช่น เนื้อเยื่อพืช เมล็ดพืช และผลิตภัณฑ์อาหาร Azeotrope ของ isopropanol ยังถูกใช้สกัดไขมันจากเมล็ดพืชเพื่อทดแทน hexane ส่วน n-butanol ที่อิมัตว์ด้วยน้ำมีประสิทธิภาพสูงในการสกัดไขมันจากธัญพืชที่มีแป้งสูง แต่ต้องใช้ hydrolysis ด้วยกรดก่อนเพื่อให้เหลือเฉพาะลิพิดและสารเชิงซ้อนของลิพิด (Akoh, 2017)

การสกัด phospholipids และลิพิดมีขั้วสูง เช่น lysophospholipids และ phosphoinositides บางครั้งต้องใช้สภาวะที่เป็นกรดหรือมีเกลืออนินทรีย์ร่วมด้วย เนื่องจากวิธีของ Folch และ Bligh & Dyer อาจไม่สามารถดึงลิพิดมีขั้วทั้งหมดเข้าสู่เฟสอินทรีย์ได้ มีรายงานว่า การสกัดในสภาวะมี  $\text{CaCl}_2$  ช่วยการสกัด lysophospholipids ได้ดีขึ้น และในกรณีที่ lysophospholipids เป็นองค์ประกอบหลัก ควรเติมกรดหรือเกลืออนินทรีย์ระหว่างการสกัดด้วย chloroform-methanol หรือ n-butanol ที่อิมัตว์ด้วยน้ำ งานของ Lessig และ Fuchs ใช้ chloroform: methanol: 12 M HCl 2:4:0.1 (v/v/v) เพื่อสกัด phospholipids ที่เป็นกรด เช่น phosphatidylserine และ phosphoinositides และพบว่าสามารถทำให้เกิด hydrolysis ของ plasmalogens ได้อย่างสมบูรณ์ (Akoh, 2017)

เทคนิคคลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasound-assisted extraction; UAE) ถูกใช้ร่วมกับตัวทำละลายหลายชนิด เช่น ethanol, chloroform: methanol, n-hexane และ hexane: isopropanol เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดไขมัน กลไกของ UAE คือการเกิดฟองอากาศขนาดเล็ก (cavitation) ระหว่างช่วงความดันลบและความดันบวกของคลื่นเสียง เมื่อฟองยุบตัวใกล้ผนังเซลล์จะเกิดแรงเฉือนและแรงกระแทก ทำลายผนังเซลล์ ช่วยให้สารสำคัญรวมถึงไขมันแพร่ออกมาในตัวทำละลายได้ง่ายขึ้น วิธีนี้ช่วยให้ตัวทำละลายสัมผัสกับตัวอย่างได้ดีขึ้น เพิ่มอัตราการสกัด ลดเวลาและปริมาณตัวทำละลายจึงถือเป็นเทคนิคสีเขียวที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้กับวัตถุดิบหลากหลายชนิด (Akoh, 2017)

เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิค Soxhlet extraction ซึ่งเป็นวิธีดั้งเดิมในการสกัดไขมันจากตัวอย่างที่ต้องการให้ตัวทำละลายไหลเวียนผ่านตัวอย่างอย่างต่อเนื่อง พบว่าการเลือกตัวทำละลายมีผลสำคัญต่อผลผลิตไขมัน เช่น งานของ Ramluckan et al. (2014) ที่สกัดไขมันจากสาหร่าย *Chlorella sp.* เพื่อนำไปผลิตไบโอดีเซล โดยใช้ทั้งตัวทำละลายเดี่ยวและตัวทำละลายผสมสองชนิด ผลการศึกษาแสดงว่า ethanol, chloroform และ hexane เป็นตัวทำละลายเดี่ยวที่ให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงสุด ให้ผลผลิตไขมันมากกว่า 10% โดยเวลาสกัดที่เหมาะสมคือ 3 ชั่วโมง สำหรับตัวทำละลายผสม พบว่าส่วนผสม chloroform: ethanol อัตราส่วน 1:1 ให้ผลผลิตไขมันสูงสุดราว 11.46% ขณะที่ chloroform เดี่ยวให้ราว 10.78% แสดงให้เห็นว่าการผสมตัวทำละลายมีขั้วและไม่ มีขั้วช่วยเพิ่มความสามารถในการสกัดลิพิดได้ดีกว่าตัวทำละลายเดี่ยวในหลายระบบ (Ramluckan et al., 2014)

## 2.5 การวิเคราะห์สารประกอบไฟโตลิพิดและลิพิดชนิดต่าง ๆ

จากงานวิจัยการตรวจสอบสารไขมัน และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนในสาหร่ายเศรษฐกิจของ ดร. ธนพรรณ เสียงแจ่ม ปีพ.ศ. 2561 จากการนำสาหร่ายผักกาดทะเล สาหร่ายโพรง สาหร่ายพวงองุ่น สาหร่ายลันมังกร มาสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ ในอัตราส่วนที่ต่างกัน แล้วนำไปวิเคราะห์กรดไขมันโดยเทคนิค Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS การวิเคราะห์องค์ประกอบคาร์บอนของกรดไขมันจะวิเคราะห์คาร์บอนในรูปของกรดไขมัน Fatty acid methyl ester (FAME) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของคาร์บอนตั้งแต่ C12-C22 การเตรียมกราฟมาตรฐาน Fatty acid methyl ester (FAME) การชั่งสารมาตรฐาน Fatty acid methyl ester C12-C22 ลงในขวดเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ GC เตรียมสารมาตรฐานความเข้มข้น 0.1 1.0 1.5 5.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้คลอโรฟอร์มเป็นตัวทำละลาย ฉีดสารมาตรฐานครั้งละ 1 ไมโครลิตร ภายใต้สภาวะในตารางที่ 2.1

### ตารางที่ 2.1 สภาวะของเครื่อง Gas chromatography

สภาวะของเครื่อง Gas chromatography	
Column type	Capillary column ชนิด HP-INNOWAX ขนาด 30 เมตร x 0.32 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร
Detector	Flame Ionization Detector (FID)
Injector temp.	260 องศาเซลเซียส
Column temp.	80 องศาเซลเซียส คงที่นาน 2 นาที และเพิ่มอุณหภูมิถึง 260 องศาเซลเซียส ในอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงอุณหภูมิคงที่ไว้ 5 นาที
Detector temp.	260 องศาเซลเซียส
Spilt ratio	40 ต่อ 1
Carrier gas	ก๊าซฮีเลียม
Injection volume	1 ไมโครลิตร

เตรียมสารตัวอย่างสำหรับ methylation นำสารสกัดไขมันจากสาหร่ายแต่ละชนิดที่ทำให้แห้ง แล้วมาใส่หลอดทดลองสำหรับทำปฏิกิริยา ทำ methylation ของกรดไขมัน เติม toluene 1 มิลลิลิตร ลงในสารสกัดแต่ละตัวอย่างเดิม 1% sulfuric acid 2 มิลลิลิตร (ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา esterification) เติม arachidic acid (C20:0) 2.5 ไมโครลิตร ใช้เป็น internal standard ในการคำนวณปริมาณกรดไขมัน นำหลอดตัวอย่างไปบ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้

กรดไขมันในไขมันเกิดปฏิกิริยา esterification เป็น fatty acid methyl esters (FAME) เมื่อครบเวลา นำหลอดออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็น แล้วเติมสารละลาย 2%  $\text{KHCO}_3$  ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เพื่อให้ระบบเป็นกลาง ลดกรดส่วนเกิน (เป็นการทำให้เป็นกลางและสกัด FAME) เติมตัวทำละลายผสม hexane: diethyl ether ปริมาตรรวม 5 มิลลิลิตร พร้อมเติม 0.1% BHT (butylated hydroxytoluene) เพื่อป้องกันการออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เขย่าจนเกิดการแยกชั้น เลือกเก็บเฉพาะชั้นบน (เฟสอินทรีย์ที่มี FAME) แล้วทำซ้ำขั้นตอนการสกัดชั้นบนนี้รวม 3 ครั้ง เพื่อดึง FAME ออกมาให้มากที่สุด แล้วทำการเตรียมตัวอย่างไขมันสำหรับวิเคราะห์ นำตัวอย่างไขมันจากการสกัดมาการชั่งน้ำหนักแล้ว เติม Chloroform และ methanol ใน sulfuric acid 15% อย่างละ 2 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อน 90 -100 องศาเซลเซียสด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ ระยะเวลา 2.5 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติมน้ำ DI 1 มิลลิลิตร แล้วนำไป vortex เพื่อให้เกิดการแยกชั้นของสารนำส่วนที่อยู่ล่างสุดมาถ่ายใส่ขวดสำหรับเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ GC ทำการปิดฝาขวดแล้วพันพาราฟิล์ม และเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมัน C12-C22 ในไขมันที่สกัดได้ ผลการวิเคราะห์กรดไขมันปรากฏว่าได้กรดไขมันดังนี้ Pentadecanoic acid, Palmitic acid, Linoleic acid, Oleic acid, Stearic acid, Myristic acid, Dodecenoic acid, Tetradeconoic acid (ธนพรรณ เสียงแจ่ม, 2564)

จากวารสาร Journal of Applied Zoology เรื่อง GC-MS and HPLC Supported Phytochemical Analysis of *Tridax procumbens* Linn ได้เขียนวิธีการวิเคราะห์ GCMS โดยการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ GCMS สารสกัดแต่ละตัวอย่าง 0.5 กรัม ถูกนำไปแช่ใน chloroform 10 มิลลิลิตร และเติม sodium sulphate anhydrous 2 กรัม แล้วเขย่า การเตรียมตัวอย่างสำหรับ GC/MS ซึ่งสารสกัดแต่ละชนิด อย่างละ 50 มิลลิกรัม ละลายใน 1.5 % Sulfuric acid ใน methanol 2 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงเติมน้ำ 2 มิลลิลิตร และเติม Hexane 5 มิลลิลิตร ลงไป แล้วเขย่าด้วยเครื่อง vortexed. ด้านบนสุดถูกทำให้แห้งด้วย sodium sulfate anhydrous แล้วฉีดเข้า GC/MS เพื่อตรวจหา Methyl ester ของกรดไขมัน การวิเคราะห์ GC-MS การกำหนดคุณภาพและปริมาณขององค์ประกอบหลักและองค์ประกอบอื่น ๆ ของน้ำมันพืชทำได้โดยใช้ gas chromatography. GC /MS apparatus and conditions; การวิเคราะห์ GC/MS โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี HP 5890 Series II, เครื่อง Mass Selective Detector HP 5972 และตัวเก็บตัวอย่างอัตโนมัติ Agilent 6890 Series ใช้คอลัมน์แคปิลลารี Supelco MDN-5S ขนาด 30 ม. x 0.25 มิลลิเมตร ที่มีความหนาฟิล์ม 0.5 ไมโครเมตร โดยมี helium เป็นก๊าซตัวพาหะ ที่อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิเตาอบ GC ถูกตั้งโปรแกรมที่อุณหภูมิเริ่มต้น 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นให้ความร้อนจนถึง 300 องศาเซลเซียส ที่ 5 องศาเซลเซียส/นาที และคงไว้ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

อุณหภูมิของหัวฉีดและเครื่องตรวจจับถูกตั้งไว้ที่ 250 องศาเซลเซียส ทำการตรวจวัดมวลสารในอิเล็กทรอนิกส์ impact (EI) at 70 eV. การระบุองค์ประกอบทางเคมีกำหนดโดย GC retention times การตีความสเปกตรัมมวล และยืนยันด้วย mass spectral library search using the National Institute of Standards and Technology (NIST) database ความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์สำหรับการตรวจจับกรดไขมันนั้นได้รับการรับรองซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของมาตรฐาน FAME 37 มาตรฐาน ได้แก่ มาตรฐานไตรกลีเซอไรด์ มาตรฐานกรดไขมันอิสระ GC retention times และ มาตรฐานกลีเซอรอล กรดไขมันเฉพาะนั้นแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของผลรวมของกรดไขมันทั้งหมดที่วิเคราะห์ (Shams et al., 2015)

จากงานวิจัย Extraction and GC-MS Analysis of Oil Extracted from Pineapple (Ananas comosus) Peels การสกัดและการวิเคราะห์ GC-MS ของน้ำมันที่สกัดจากเปลือกสับปะรด (Ananas comosus) นำไปวิเคราะห์โดยใช้ GC-MS ได้สารประกอบน้ำมันจากเปลือกสับปะรด Palmitic acid 5.38%, limonene 76.34%, n-decanol 0.95%, 1-cyclohexane-1-carboxaldehyde 4.27%. Limonene เป็นองค์ประกอบของน้ำมันที่พบมากที่สุดจากการสกัดจากเปลือกของสับปะรดพบมากกว่า 75% ของน้ำมันทั้งหมด (Orodu & Akpedi, 2021)

ในการศึกษาการวิเคราะห์ GC-MS และ HPLC-DAD ของกรดไขมันและพฤษเคมีที่ใช้งานได้ในน้ำมันพืชสกัดเย็น 50 ชนิดในประเทศไทย วิเคราะห์ GC-MS สำหรับองค์ประกอบของกรดไขมันที่สกัดได้ พบว่ามีกรดไขมันกรดปาล์มติก กรดสเตอริก กรดโอเลอิก กรดไลโนเลอิก กรดไลโนเลนิก และ การศึกษาการประเมินโปรไฟล์กรดไขมันของน้ำมันหรือไขมันโดย GC-MS ผ่านสองวิธีการหาปริมาณ (Evaluation of fatty acid profile of oils/fats by GC-MS through two quantification approaches) ของ Mihai et al. (2019) เมื่อทำการวิเคราะห์กรดไขมันด้วย GCMS แล้วได้สารประกอบไขมันออกมา คือ C12:0 lauric acid, C14:0 myristic acid, C16:0 palmitic acid, C18:0 stearic acid, C18:1n9t elaidic acid, C18:1n9 oleic acid, C18:2n6t linoleic acid, C18:2n6 linoleic acid (LA), C18:3n3  $\alpha$ -linolenic acid (ALA), C20:0 arachidic acid (Yuenyong et al., 2021)

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและวิเคราะห์กรดไขมันจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงด้วยเทคนิค GC-FID ได้ทำการสกัดกรดไขมันจากตัวอย่างเนื้อในเมล็ดมะม่วง และทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatography-flame ionization detector พบกรดไขมัน Myristic acid (C14:0), Palmitic acid (C16:0), Hexadecatrienoic acid (C16:3n4), Stearic acid (C18:0), Oleic acid (C18:1n9), Linoleic acid (C18:2n6), Octadecatrienoic acid (C18:3n4),  $\alpha$ -Linolenic acid (C18:3n3), Eicosenoic acid (C20:1n9) (ศิริรัตน์ ชาญไวยวิทย์ และคณะ, 2557)

จากการศึกษาเรื่องการทดสอบหาชนิดของกรดไขมันในน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี ทดสอบโดยใช้เทคนิค GC-MS แบบอิเล็กทรอนิกส์ ไอออนเซชัน พบว่าลักษณะของแมสสเปกตรัม ที่ได้จากกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัว กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวมี พันธะคู่ 1 ตำแหน่ง กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ 2 ตำแหน่ง กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ 3 ตำแหน่ง ของวัดสัดส่วนกรดไขมัน 5 ชนิด ในตัวอย่างน้ำมันพืช ดังนี้ Palmitic acid (C16:0), Stearic acid (C18:0), Oleic acid (C18:1), Linoleic acid (C18:2), Linolenic acid (C18:3) พบชนิดของกรดไขมันสอดคล้องกับงานวิจัยเหล่านี้ (วารสาร รัศมีพระกาย, 2563)

การศึกษาการสกัดด้วยอัลตราโซนิคช่วยของน้ำมันเมล็ดราสเบอร์รี่และการประเมินคุณสมบัติทางเคมีกายภาพองค์ประกอบของกรดไขมันและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ น้ำมันเมล็ดราสเบอร์รี่ยังมี Linoleic acid และ linolenic acid ที่กินได้ในปริมาณมาก ซึ่งบ่งชี้ว่าเมล็ดราสเบอร์รี่อาจเป็นแหล่งผลิตภัณฑ์  $\gamma$ -Linolenic acid ธรรมชาติที่กินได้ที่มีคุณค่า รายงานว่าเมล็ดราสเบอร์รี่คิดเป็น 9-12% ของน้ำหนักของผลราสเบอร์รี่ และได้ไขมันสูง 10-23% จากเมล็ดราสเบอร์รี่ น้ำมันเมล็ดราสเบอร์รี่มีสารประกอบที่ใช้งานได้หลายชนิด เช่น Phytosterols Linoleic,  $\alpha$ -linoleic, Oleic Palmitic acid, Stearic acid, Myristic acid, and Lauric acid นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำมันเมล็ดราสเบอร์รี่มีโทคอลในระดับที่สูง ซึ่งมีผลต่อฤทธิ์ต้านการอักเสบและต้านอนุมูลอิสระที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์น้ำมันอื่น ๆ เช่น เมล็ดองุ่น ดอกคำฝอย จมูกข้าวสาลี และน้ำมันอะโวคาโด ซึ่งชนิดของไขมันที่พบในการศึกษาน้ำมันเมล็ดราสเบอร์รี่พบชนิดของน้ำมันที่มีประโยชน์เหมือนกับการศึกษานี้ (Teng et al., 2016)

## 2.6 วิธีหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของลิปิต

การเตรียมตัวอย่างสารสกัด ดัดแปลงวิธีของ ปฏิวิทย์ ลอยพิมาย และคณะ (2563) ซึ่งตัวอย่างสารสกัดน้ำมัน 1.0 กรัม เติมสารละลายผสมระหว่าง methanol และ Hexane (อัตราส่วน 3: 3) จำนวน 5 มิลลิลิตร นำไปสกัดด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ (Vibra cell, 130 วัตต์, 20 กิโลเฮิร์ตซ์) นาน 5 นาที เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity ดัดแปลงมาจากวิธี ของ Dasgupta and De (2004) โดยชั่งสาร 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) มา 0.01 กรัม ละลายด้วยตัวทำละลาย methanol 250 มิลลิลิตร (ปริมาณความเข้มข้น 0.004%) ระวังอย่าให้ถูกแสง เนื่องจากเป็นสารที่ไวต่อแสงมาก นำสารสกัดที่ได้ มา 0.1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร เขย่าให้

เข้ากันแล้วไปตั้งไว้ให้ เกิดปฏิกิริยาในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Thermo scientific, GENESYS 10 Series) แล้วนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณเปอร์เซ็นต์ของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดังสมการ

$$\text{ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์)} = [(1 - Ae) / Ac] \times 100$$

Ac = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่เติมสารสกัดน้ำมัน

Ae = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่เติมสารสกัดน้ำมัน

วิธี Total antioxidant capacity ดัดแปลงจากวิธีของ Dasgupta and De (2004) โดยนำตัวอย่างที่สกัดได้มา 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) เข้มข้น 0.6 โมลลาร์ สารละลายโซเดียมฟอสเฟต (sodium phosphate) เข้มข้น 28 มิลลิโมลลาร์ และสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate) เข้มข้น 4.0 มิลลิโมลลาร์ จำนวนอย่างละ 1.0 มิลลิลิตร ปริมาตรรวม 3.0 มิลลิลิตร แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 695 นาโนเมตร เปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระกับสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (วิตามินอีและสารบิวทิลเลตไฮดรอกซีโทลูอีน (Butylated hydroxytoluene, BHT))

วิธี Ferric reducing / antioxidant power (FRAP) ดัดแปลงวิธีของ Moyer et al. (2002) ดูดสารสกัดตัวอย่างมา 60 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารผสมของ FRAP reagent (Acetate buffer: TPTZ: FeCl<sub>3</sub> ในอัตราส่วน 10: 1: 1) ปริมาตร 1.8 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดการเกิดกลิ่นหืน (rancidity) ของอาหารที่เกิดจากการไฮโดรไลต์ของไตรกลีเซอไรด์ด้วยเอนไซม์ไลเปส โดยมีน้ำกับไขมันในรำข้าวเป็นตัวเสริมให้เกิดปฏิกิริยา (Frega et al., 1999; ปฏิกิริยาลอยพิมาย และคณะ, 2563) พบว่า ชนิดของน้ำมันพืชที่ใช้ในการสกัดรำข้าวไม่ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระ ( $p > 0.05$ ) ซึ่งทุกตัวอย่างสารสกัดน้ำมันมีค่าอยู่ในช่วง  $3.11 \pm 0.01$  ถึง  $3.34 \pm 0.06\%$

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) ผลการวิเคราะห์หาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity, Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และวิธี total antioxidant capacity ของของสารสกัดน้ำมันจากรำข้าวที่สกัดด้วยน้ำมันพืชชนิดต่างๆ พบว่าชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดรำข้าวส่งผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธีอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) โดยรำข้าวที่สกัดด้วยน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน มีค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $47.19 \pm 7.18$  และ  $39.08 \pm 3.33\%$  (DPPH assay)  $11.64 \pm 1.42$  และ  $12.27 \pm 0.87$  mg FeSO<sub>4</sub>/g (FRAP assay) และ  $0.43 \pm 0.05$  และ  $0.47 \pm 0.04$   $\mu\text{g}$  BHTe./g (total antioxidant capacity) ตามลำดับ ใน

ขณะเดียวกันพบว่ารำข้าวที่สกัดด้วยน้ำมันมะพร้าว มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $11.78 \pm 6.01$  % (DPPH assay)  $2.92 \pm 0.62$  mg FeSO<sub>4</sub>/g (FRAP assay) และ  $0.09 \pm 0.01$   $\mu$ g BHTE. /g (total antioxidant capacity) ตามลำดับ (ปฏิวิทย์ ลอยพิมาย และคณะ, 2563)

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสับประรดส่วนแกนและเปลือก (Potential of Industrial Pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merrill) By-Products as Aromatic and Antioxidant Sources) มีวิธีที่ใช้ในการทดสอบดังนี้ The methods applied were Folin and Ciocalteu reducing capacity (FRC) 300 ไมโครลิตร ของสารสกัด methanolic 100 ไมโครลิตร ของสารละลาย Folin and Ciocalteu phenol reagent (2 N) และผสมกับ 500 ไมโครลิตร ของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 7% ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดย vortex นาน 10 วินาที แล้วบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง 90 นาที หลังจากนั้นให้เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิเมตร ลงในแต่ละหลอดแล้ววัดค่าดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานที่ ค่าดูดกลืนแสง 760 นาโนเมตร ในเครื่องวัด spectrophotometer โดยใช้ deionized water เป็นค่าเปล่า ผลลัพธ์แสดงเป็น mg gallic acid equivalents (GAE) per 100 gm ของสับประรด 100 gm (Valdés García et al., 2021)

**ตารางที่ 2.2** ผลที่ได้จากการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ  $156 \pm 19$   $\mu$ mol TE 100 g<sup>-1</sup>

Pineapple	TPC	DPPH	ABTS	FRAP
Sample	mg GAE 100g <sup>-1</sup>	$\mu$ mol TE 100g <sup>-1</sup>	$\mu$ mol TE 100g <sup>-1</sup>	$\mu$ mol TE 100g <sup>-1</sup>
Core S1	66 $\pm$ 5 <sup>c</sup>	183 $\pm$ 10 <sup>b</sup>	153 $\pm$ 3 <sup>b</sup>	127 $\pm$ 11 <sup>b</sup>
Core S2	54 $\pm$ 4 <sup>b</sup>	156 $\pm$ 19 <sup>a</sup>	126 $\pm$ 9 <sup>a</sup>	131 $\pm$ 6 <sup>b</sup>
Core S3	22 $\pm$ 2 <sup>a</sup>	166 $\pm$ 15 <sup>b</sup>	124 $\pm$ 8 <sup>a</sup>	112 $\pm$ 5 <sup>a</sup>
Peel S1	15 $\pm$ 1 <sup>a</sup>	138 $\pm$ 14 <sup>a</sup>	124 $\pm$ 8 <sup>a</sup>	115 $\pm$ 7 <sup>a</sup>
Peel S2	41 $\pm$ 9 <sup>b</sup>	243 $\pm$ 17 <sup>b</sup>	158 $\pm$ 8 <sup>b</sup>	138 $\pm$ 3 <sup>b</sup>
Peel S3	18 $\pm$ 4 <sup>a</sup>	163 $\pm$ 27 <sup>b</sup>	125 $\pm$ 6 <sup>a</sup>	108 $\pm$ 9 <sup>a</sup>

**หมายเหตุ** Values are mean  $\pm$  standard deviation per 100 g FW ( $n = 3$ ). GAE (gallic acid equivalents) and  $\mu$ mol TE 100 g<sup>-1</sup> ( $\mu$ mol TROLOX equivalent 100 g<sup>-1</sup> FW). Values for core or peel samples within the same column with a different superscript letter are significantly different from the other at a  $p < 0.05$ .

จากตารางแสดงผลที่ได้จากการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระหลังจากใช้ FCR แล้วปริมาณของ TPC ในแกนสับประรดโดยเฉลี่ยมากกว่าเปลือกเล็กน้อย (Valdés García, A. et al., 2021) ทดลองการกำจัดสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH การทดลองนี้อิงตามวิธี on a previously described

method (Tessema et al., 2017), Which used 1-diphenyl-2-picrylhydrazine (DPPH) radical of furfuryl Cers from rice husks, With slight modifications. ตัวอย่างถูกละลายใน MASS methanol 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเจือจางเป็น gradients ต่าง ๆ 0.2–1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำสารตัวอย่าง 3 มิลลิลิตร มาละลายใน DPPH 1 มิลลิลิตร ที่เตรียมใหม่ (0.2 mm of 95% ethanol solution) เขย่าให้เข้ากัน ส่วนผสมเก็บให้พ้นแสงนาน 30 นาที หลังจากนั้นวัดการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องมือวัด Thermo Arioskan Flash automatic Microplate instrument (Thermo Corporation, Waltham, MA, USA). โดยมีวิตามินซีเป็น positive control สารละลายมาตรฐานถูก calibrated เทียบในช่วงเดียวกันกับชุดตัวอย่าง ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ คำนวณได้จาก

$$\text{DPPH free radical scavenging activity (\%)} = \left(1 - \frac{A_1}{A_0}\right) \times 100\%$$

โดยที่  $A_0$  คือค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุม และ  $A_1$  คือค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างทดลอง

Antioxidant Activity Analysis In Vitro จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเฮราไมด์ ในหลอดทดลอง กับการกำจัดอนุมูลอิสระแบบ DPPH radical และ hydroxyl radical scavenging activities เมื่อความเข้มข้นค่อยๆลดลงจากการเจือจาง อัตราการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของวิตามินซีและผลิตภัณฑ์เฮราไมด์ที่ผ่านการสกัดบริสุทธิ์ อยู่ในช่วง 94% และ 79% ตามลำดับ โดยความยาวที่เปลี่ยนแปลงแสดงให้เห็นว่าการทดสอบการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH แสดงให้เห็นถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี (Wang et al., 2022)

งานของ Prieto et al. (1999) ในงานวิจัย Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E พัฒนาวิธี spectrophotometric เพื่อตรวจวัด “ความสามารถต้านอนุมูลอิสระรวม” โดยอาศัยการเกิดสารประกอบฟอสโฟรีโมลิบดีนัมสีเขียวในสภาวะกรด วิธีนี้อิงการรีดิวซ์ Mo(VI) เป็น Mo(V) โดยสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่าง แล้วเกิดคอมเพล็กซ์ phosphate/Mo(V) ที่มีการดูดกลืนแสงสูงที่ความยาวคลื่น 695 นาโนเมตร วิธีดังกล่าวได้รับการปรับสภาวะให้เหมาะสมในด้านช่วงเส้นตรง ความสามารถทำซ้ำ ความคงที่ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโมลาร์ สามารถใช้วัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารหลายกลุ่ม รวมถึงวิตามินอี โดยเฉพาะเมื่อนำมาประยุกต์ร่วมกับการสกัดเฟสเดียวด้วยเฮกเซนเพื่อวัดวิตามินอีในเมล็ด ค่าการดูดกลืนที่ 695 นาโนเมตรสำหรับตัวอย่างที่ทดสอบอยู่ในช่วงประมาณ 0.15–0.85 หน่วยแสดงให้เห็นความไวของวิธีต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างอาหารและพืช (Prieto et al., 1999)

GC-MS Profiling, *In Vitro* Antioxidant, Antimicrobial, and *In Silico* NADPH Oxidase Inhibition Studies of Essential Oil of *Juniperus thurifera* Bark เป็นการศึกษา การวิเคราะห์ลักษณะด้วย GC-MS, การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านจุลชีพในหลอดทดลอง รวมทั้ง การศึกษาการยับยั้งเอนไซม์ NADPH oxidase แบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกต้นสน *Juniperus thurifera* น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกไม้ *Juniperus thurifera* ได้ทำการทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระสามแบบ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (TAC) 271 µg EAA/mg (271 mg TE/g extract) (Lafraxo et al., 2022 )

งานวิจัยการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี, ลักษณะโภชนาการ, การยืนยัน NMR ของสควาลีน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ด *Basella rubra* L. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี โภชนาการ การยืนยันโครงสร้างสควาลีนด้วย NMR และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ด *Basella rubra* L. โดยพบว่าสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารมีบทบาทสำคัญในการรักษาคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันผ่านการลดการออกซิเดชันของไขมัน การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระใช้วิธี Phosphomolybdate เปรียบเทียบกับ ascorbic acid และรายงานผลเป็นกรัม ascorbic acid equivalent ต่อ 100 กรัม น้ำมัน โดยสารสกัดเมทานอลในน้ำ 80% มีฤทธิ์สูงกว่าสารสกัดเมทานอลในน้ำ 70% ที่มีกรด ให้ค่าต้านอนุมูลอิสระประมาณ 0.11 g AAEq/100 g oil บ่งชี้ว่ามีน้ำมันเมล็ด *B. rubra* เป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี การวัด total antioxidant capacity โดย Phosphomolybdate ให้ค่าประมาณ  $0.21 \pm 0.10$  ( $0.11 \pm 0.06$ ) g AAEq/100 g แสดงศักยภาพด้านโภชนาการของน้ำมันเมล็ดชนิดนี้ (Kumar et al., 2020)

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืชที่เลือกเพื่อความเสถียรของน้ำมันปาล์มผ่านการศึกษารูปแบบเร่งและทอด (Antioxidant activity of selected plants extract for palm oil stability via accelerated and deep frying study) ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเมล็ด *Lepidium sativum* และ *Aframomum corrorima* ต่อความเสถียรของน้ำมันปาล์มระหว่างการทอดอย่างต่อเนื่องที่ 180 องศาเซลเซียส นาน 6 วัน โดยเติมสารสกัด *L. sativum* 0.2 % w/v และ *A. corrorima* 0.3% w/v ลงในน้ำมัน พบว่าสารสกัดจากพืชทั้งสองช่วยรักษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันในระหว่างทอด โดย *L. sativum* ให้ความเสถียรของน้ำมันดีกว่า *A. corrorima* และเมื่อทดสอบ total antioxidant capacity ด้วยวิธี Phosphomolybdate พบว่าความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัด ที่ความเข้มข้น 125 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร สารสกัด *L. sativum* มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ  $60.30 \pm 0.151$  ไมโครกรัม/มิลลิลิตร สูงกว่า *A. corrorima* ซึ่งมีค่า  $44.72 \pm 0.362$  ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และการลด Mo(VI) ของสารสกัดเอทานอล *L. sativum* ใกล้เคียงกับ BHA ( $79.39 \pm 0.69$  ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) แสดงว่าเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพ (Kedir et al., 2023)

บทความของ Patel et al. (2021) กล่าวถึงการใช้ตัวทำละลายยูเทคติกจากธรรมชาติ (NADES) เพื่อสกัดสารฟีนอลิกจากกากองุ่นแดงในกรอบแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและการสกัดสีเขียว โดยใช้เบทาอินผสมกับกรดอินทรีย์ ยูเรีย หรืออีทิลีนไกลคอล (เช่น B-CA) พบว่าส่วนผสม B-CA ให้การซึมผ่านฟลาโวนอยด์และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุดใน keratinocytes ของมนุษย์ จึงมีศักยภาพเป็นส่วนผสมเวชสำอางต่อต้านความเครียดออกซิเดชันและการอักเสบ ซึ่งเป็นปัจจัยร่วมของการเกิดริ้วรอยผิว สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดคือกำลังไมโครเวฟ 436.45 W เวลา 19.66 นาที และอัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง 59.82 มิลลิลิตร/กรัม ภายใต้สภาวะนี้ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 56.17 mg GAE/g dw ค่า FRAP 683.27  $\mu\text{mol AAE/g dw}$  และการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ประมาณ 82.64% สะท้อนว่าการใช้ NADES ร่วมกับเทคนิคช่วยสกัดสามารถเพิ่มทั้งผลผลิตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีนัยสำคัญ (Patel et al., 2021)

จากงานวิจัยของ Alghoul and Alwardat (2024) เรื่องน้ำมันหอมระเหยจากตัวอย่างอบแห้งของ *C. cardunculus* มีค่า  $IC_{50}$  ต่อ DPPH ต่ำกว่าตัวอย่างสด แสดงให้เห็นฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าเล็กน้อย งานวิจัยนี้ใช้สารละลาย DPPH เพื่อตรวจสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยจาก *C. cardunculus* ทั้งตัวอย่างสดและตัวอย่างอบแห้ง โดยเตรียมสารละลายน้ำมันหอมระเหยในเมทานอลในช่วงความเข้มข้นประมาณ  $10^4$ - $10^6$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แล้ววัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง DPPH เพื่อคำนวณค่า  $IC_{50}$  เปรียบเทียบกับกรดแอสคอร์บิกซึ่งใช้เป็นสารมาตรฐาน ผลการทดสอบพบว่า น้ำมันหอมระเหยจากตัวอย่างอบแห้งให้ค่า  $IC_{50}$   $1.02 \times 10^2$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนตัวอย่างสดให้ค่า  $IC_{50}$   $3.91 \times 10^2$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร น้ำมันหอมระเหยของตัวอย่างอบแห้งมีค่า  $IC_{50}$  ต่ำกว่าตัวอย่างสด ซึ่งหมายความว่าน้ำมันจากตัวอย่างอบแห้งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่อ DPPH ดีกว่าหรือแรงกว่าตัวอย่างสดเล็กน้อย (Alghoul & Alwardat, 2024)

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสับปะรดส่วนแกนและเปลือก (Potential of Industrial Pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merrill) By-Products as Aromatic and Antioxidant Sources) ของ Valdés García et al. (2021) นำสารสกัดสับปะรดที่ได้จากส่วนเปลือกและแกนมาทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH assay เมื่อดูฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ตัวอย่าง Core S2 และ Peel S2 ที่ให้ค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ต่างกัน  $0.39 \pm 0.05$  mg TE/g และ  $0.61 \pm 0.04$  mg TE/g ตามลำดับ จะเห็นว่าสารสกัดจากเปลือกสับปะรดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าสารสกัดจากแกนสับปะรด จากผลการศึกษาข้างต้นการใช้ตัวทำละลายเดียวกันมาสกัดพืชต่างชนิดกันหรือสกัดส่วนของพืชคนละส่วนกันก็ให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ต่างกัน (Valdés García et al., 2021)

จากงานวิจัยการสกัดรำข้าวด้วยน้ำมันพีชบริโภาคได้เพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำมัน ของปฏิกิริยา ลอยพิมาย และคณะ (2563) เป็นการศึกษาการสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยน้ำมันพีชว่าตัวทำละลายมีผลต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพ ปริมาณ สารออกฤทธิ์ชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำมันที่ได้หรือไม่ ซึ่งผลการวิเคราะห์หาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity จากน้ำมันรำข้าวที่สกัดด้วยน้ำมันชนิดต่าง ๆ พบว่า ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ใน การสกัดรำข้าวส่งผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยรำข้าวที่สกัดด้วยน้ำมันถั่วเหลืองและ น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน มีค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $47.19 \pm 7.18$  และ  $39.08 \pm 3.33$  % ในขณะที่เดียวกันพบว่ารำข้าวที่สกัดด้วยน้ำมันมะพร้าว มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )  $11.78 \pm 6.01$  % (ปฏิกิริยา ลอยพิมาย และคณะ, 2563)

จากการศึกษาการประเมินองค์ประกอบไฟโตเคมีคอล คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ และศักยภาพการต้านแบคทีเรียของ *Coptis teeta* Walls ของ Bora et al. (2022) ศักยภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารสกัดจาก *C. teeta* ถูกประเมินโดยใช้การทดสอบ DPPH ในบรรดาสารสกัดทั้งหมด ค่า  $IC_{50}$  ซึ่งแทนความเข้มข้นที่ยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50% อยู่ที่ 12.3 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับสารสกัดด้วยน้ำ 16.011 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับ Methanol 7.739 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับ Acetone 30.14 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับ Chloroform และ 76.11 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับ n-hexane สำหรับ Ascorbic acid ค่า  $IC_{50}$  คือ 3.530 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ลำดับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระดังนี้: Ascorbic acid > Acetone > Water > Methanol > Chloroform > n-hexane (Bora et al., 2022)

จากงานวิจัย Chemical Profile and Antioxidant Properties of Extracts and Essential Oils from Citrus x limon (L.) Burm. cv. Femminello Comune ในงานนี้ใช้เปลือกและใบสดและแห้งถูกสกัดโดยการกลั่นด้วยน้ำ สกัดแบบของเหลววิกฤตยิ่งยวด (SFE) และวิธี Soxhlet วิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS) การสกัดใบด้วยวิธี Soxhlet มีสารที่พบมากกว่า คือ Limonene,  $\gamma$ -terpinene, and  $\beta$ -pinene แล้วนำทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH, ABTS, FRAP ในการทดสอบ DPPH น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นด้วยน้ำจากเปลือกสดมี มีค่า  $IC_{50}$  1.17 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ใบที่สกัดโดย SFE ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ  $\beta$ -carotene bleaching test มีค่า DPPH  $IC_{50}$  ค่า 2.20 และ 6.66 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ (Loizzo et al., 2016)

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

##### 3.1.1 เครื่องมือที่ใช้

3.1.1.1 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ: Precisa ประเทศผู้ผลิต: Switzerland

3.1.1.2 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ: METTLER TOLEDO ประเทศผู้ผลิต: Switzerland

3.1.1.3 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ยี่ห้อ: Memmet ประเทศผู้ผลิต: Germany

3.1.1.4 เครื่องเขย่าคลื่นความถี่สูง (Sonicator) ยี่ห้อ: GREST ประเทศผู้ผลิต: Malaysia

3.1.1.5 เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary Evaporator) ยี่ห้อ: EYELA: CCA-1110 ประเทศผู้ผลิต: Japan

3.1.1.6 เครื่องผสมสาร (Vortex mixer) ยี่ห้อ: OHAUS ประเทศผู้ผลิต: USA

3.1.1.7 เครื่องดูดยาสารละลายอัตโนมัติ ยี่ห้อ: GILSON ประเทศผู้ผลิต: FRANCE. ขนาด 2-20 ไมโครลิตร จำนวน 1 เครื่อง, 10-100 จำนวน 1 เครื่อง, 20-200 จำนวน 1 เครื่อง, 100-1000 จำนวน 1 เครื่อง, 500-5000 ไมโครลิตร จำนวน 1 เครื่อง

3.1.1.8 ตู้เย็น ยี่ห้อ Haier รุ่น SC-1400PCSZ-LS V4 ประเทศผู้ผลิต ไทย

3.1.1.9 เครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลท (Microplate reader) ยี่ห้อ: BMG Labtech Model: FLUOstar OMEGA ประเทศผู้ผลิต: Germany

3.1.1.10 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงช่วง UV-Visible ยี่ห้อ: Thermo Scientific Model: GENESYS 10S UV-VIS ประเทศผู้ผลิต: USA

3.1.1.11 Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) รุ่น Thermo Fisher Scientific Trace 1300/ISQ QD ประเทศผู้ผลิต: USA

3.1.1.12 ระบบทำน้ำ DI (ชุดทำน้ำบริสุทธิ์) เครื่องทำน้ำ DI ยี่ห้อ: TKA Model: 08.2063 ประเทศผู้ผลิต: Germany

3.1.1.13 เครื่องปั่น ยี่ห้อ Samsung รุ่น Super Grinder HGR-2000 ประเทศผู้ผลิต: Korea.

3.1.1.14 FILTER PAPERS No.1 90mm ยี่ห้อ: whatman ประเทศผู้ผลิต: England

3.1.1.15 เซตอุปกรณ์ separation funnel ยี่ห้อ: JSGW ประเทศผู้ผลิต: India

3.1.2 สารเคมี และวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.2.1 สับประรดสายพันธุ์ปัตตาเวียจากตลาดสี่มุมเมือง

3.1.2.2 di-sodium hydrogen phosphate anhydrous for analysis ยี่ห้อ Merk ประเทศผู้ผลิต Germany.

3.1.2.3 Sodium dihydrogen phosphate dihydrate for analysis ยี่ห้อ Merk ประเทศผู้ผลิต Germany

3.1.2.4 Ammonium molybdate 95% ยี่ห้อ AK Scientific ประเทศผู้ผลิต USA.

3.1.2.5 96% Sulfuric acid for analysis ยี่ห้อ CARLO ERBA ประเทศผู้ผลิต France.

3.1.2.6 Petroleum Ether ยี่ห้อ Chem-Supply ประเทศผู้ผลิต Australia.

3.1.2.7 Petroleum Ether ยี่ห้อ Qrec ประเทศผู้ผลิต New Zealand.

3.1.2.8 n-Hexane ยี่ห้อ CARLO ERBA ประเทศผู้ผลิต USA.

3.1.2.9 2,2 Diphenyl-1-picrylhydrazyl [DPPH] ยี่ห้อ Sigma-Aldrich ประเทศผู้ผลิต USA.

3.1.2.10 ( $\pm$ )-6-Hydroxy-2,5,7,8-Tetra-methylchromane-2-Carboxylic acid [Trolox] ยี่ห้อ Sigma-Aldrich ประเทศผู้ผลิต USA.

3.1.2.11 95% Ethanol ยี่ห้อ Spread Busines ประเทศผู้ผลิต Thailand

3.1.2.12 Dimethylsulphoxide RPE ยี่ห้อ CARLO ERBA ประเทศผู้ผลิต USA.

3.1.2.13 Methanol ยี่ห้อ MERCK ประเทศผู้ผลิต Germany.

## 3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.2.1 เตรียมตัวอย่างและสารสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกสับประรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย นำส่วนเปลือกและจุกของสับประรดที่เหลือทิ้งของสายพันธุ์ปัตตาเวีย มาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ นำมาอบแห้ง ด้วยเครื่อง Hot Air Oven ยี่ห้อ: Memmet โดยใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อบนาน 7 วัน แล้วนำไปบดละเอียด หลังจากนั้นเก็บที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส นำสับประรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย ในส่วนต่าง ๆ ที่บดหยาบแล้ว ไปแช่ในสารละลายที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 95% Ethanol: Hexane ในอัตราส่วน 100: 0, 95:5, 90:10, 80:20 (v/v) นาน 30 นาที แล้วนำไปสกัดโดยใช้เครื่อง Ultrasonic ที่ 360 วัตต์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที เมื่อได้สารสกัดแล้ว นำมาพักไว้ 5 นาที แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองด้วยเครื่อง Rotary evaporator นำสารละลายที่กรองแล้วมา

Evaporator เพื่อระเหยเอาสารละลาย (95% Ethanol: Hexane ในอัตราส่วน 100: 0, 95:5, 90:10, 80:20 v/v) ออกไปบางส่วน ประมาณ 50% ของสารสกัดที่กรองได้ ตามวิธีของ Wang et al. (2022)

จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มา Evaporator เพื่อระเหยเอาตัวทำละลายออกไปบางส่วนแล้ว มาทำการ separation โดยเติม Petroleum ether ลงไปประมาณ 2 เท่าของสารสกัด ในกรวยแยก (Separatory funnel) ซึ่งสารสกัดที่ไม่มีขี้หรือขี้ดำจะละลายใน Petroleum ether จะแยกชั้นอยู่ข้างบน funnel ดังในภาพที่ 3.1 ส่วนสารที่มีขี้จะอยู่ด้านล่างของ funnel แล้วไขแยก 2 ส่วน โดยเก็บส่วนที่ละลายใน Petroleum ether ไว้ ส่วนนี้จะมีส่วนของไฟโตลิปิดละลายอยู่ แล้วนำสารละลายที่อยู่ด้านล่าง funnel มาทำการเติม Petroleum ether ซ้ำๆ เพื่อให้ได้สารละลายไขมันออกมามากที่สุด



สารสกัดเปลือกส้มแปดปีตาเวีย+ Petroleum ether    สารสกัดจุกส้มแปดปีตาเวีย+ Petroleum ether  
**ภาพที่ 3.1** การแยกชั้นของสารสกัดไฟโตลิปิดจากเปลือกและจุกของส้มแปดปีตาเวีย หลังทำการเติม Petroleum ether เพื่อแยกไขมันออกมา

นำสารสกัดที่ละลายใน Petroleum ether ไประเหยเพื่อเอา Petroleum ether ออก ให้เหลือแต่สารสกัดไฟโตลิปิด



สารสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกสับประรดปดตาเวีย ที่  
ระเหยเอา Petroleum ether ออกแล้ว



สารสกัดไฟโตลิพิดจากหัวจุกสับประรดปดตาเวีย ที่  
ระเหยเอา Petroleum ether ออกแล้ว

**ภาพที่ 3.2** สารสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกของสับประรดสายพันธุ์ปดตาเวีย หลังทำระเหยเอา  
Petroleum ether ออก

3.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันด้วยเทคนิค GC-MS นำสารสกัดที่ได้จากการสกัด  
ด้วย 95% Ethanol: Hexane ในอัตราส่วนต่างๆ 100:0, 95:5, 90:10, 80:20 (v/v) ทั้งส่วนของจุก  
และเปลือกของสับประรดปดตาเวีย มาหาปริมาณสารสำคัญคือสารกลุ่มไฟโตลิพิด ด้วยวิธี โดยวิธี Gas  
chromatography-mass spectrometry (GC-MS) แล้วนำมาเปรียบเทียบว่าส่วนไหนของสับประรด  
ให้ปริมาณไฟโตลิพิดมากที่สุด โดยใช้สารละลายในการสกัดในอัตราส่วนที่ต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบดู  
ว่าสารละลายความเข้มข้นไหน ที่สามารถสกัดไฟโตลิพิดออกมาได้มากที่สุด และสารละลายที่ความ  
เข้มข้นต่าง ๆ ให้ไฟโตลิพิดชนิดไหนออกมาบ้าง

### 3.2.3 การคำนวณร้อยละผลผลิต (%Yield)

การคำนวณหาร้อยละผลผลิต (%Yield) ของสารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายที่  
ต่างกัน (95% Ethanol: Hexane ในอัตราส่วนต่าง ๆ 100:0, 95:5, 90:10, 80:20 (v/v)) คำนวณได้  
ตามสมการข้างล่าง

$$\%Yield = (\text{น้ำหนักสารสกัดที่ได้} / \text{น้ำหนักของเปลือกหรือหัวจุกของสับประรดอบแห้ง}) \times 100$$

## 3.3 นำสารสกัดไฟโตลิพิดจากสับประรดที่ได้ มาหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

3.3.1 การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (DPPH scavenging activity)  
จากการศึกษาการสกัดรำข้าวด้วยน้ำมันพืชบริเวณได้เพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพและฤทธิ์การ  
ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำมันของ ปลูกวิทย์ ลอยพิมาย และคณะ (2563) ซึ่งการวิเคราะห์ฤทธิ์

การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity ดัดแปลงมาจากวิธี ของ Dasgupta and De (2004)

3.3.1.1 โดยซังสาร 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) มา 0.1 มิลลิโมลาร์ โดยซัง DPPH 1.97 มิลลิกรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วย 95% Ethanol ให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

3.3.1.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเข้มข้น โดยใช้ Trolox 5 มิลลิกรัม ละลายแล้วปรับปริมาตรด้วย 95% Ethanol ให้ได้ 10 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

3.3.1.3 การเตรียมสารมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ ของ Trolox ที่ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้ปิเปตดูดสารละลายมาตรฐาน Trolox ลงใน 96-Well Microplate ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 5,10,15,20,25,30,50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 95% Ethanol ให้ครบ 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

3.3.1.4 การเตรียมสารสกัดสับปะรดโดยใช้ความเข้มข้นที่ 7 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทั้งส่วนที่เป็นสารสกัดจากเปลือกและจากจุกสับปะรด ซังสารสกัดของแต่ละตัวอย่างมา 7 มิลลิกรัม มาละลายด้วย DMSO 1 มิลลิลิตร แล้วปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 10,15,20,25,30,35,40 ไมโครกรัม ลงใน 96-Well Microplate แล้วปรับปริมาตรด้วย 95% Ethanol ให้ครบ 40 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

3.3.1.5 นำสารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่าง ที่ปรับปริมาตรด้วย 95% Ethanol จนครบปริมาตรที่ต้องการแล้ว ใน 96-Well Microplate มาเติมสารละลาย DPPH ที่เราเตรียมไว้แล้วจากข้อ 3.4.1.1 ลงใน 96-Well Microplate ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ส่วน bank จะเป็น 95% Ethanol 240 ไมโครลิตร control จะเป็น 95% Ethanol 40 ไมโครลิตร กับ DPPH 200 ไมโครลิตร

3.3.1.6 ผสมสารทุกหลุมให้เข้ากัน โดยใช้ไมโครปิเปตดูดขึ้นลง นำไปบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที

3.3.1.7 นำ 96-Well Microplate วางลงในเครื่อง Microplate Reader วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร (Thermo scientific, GENESYS 10 Series) แล้วนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณ % Inhibition สำหรับการทดสอบ DPPH คือ

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

% Inhibition: เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ (Percent Inhibition)

A0 (A control): ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่มีสารตัวอย่าง (ชุดควบคุม).

A1 (A sample): ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่มีสารสกัดตัวอย่าง.

ใช้เพื่อวัดความสามารถของสารตัวอย่างในการรีดิวซ์ (ลด) อนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งสังเกตได้จาก การลดลงของค่าการดูดกลืนแสง (สีม่วงของ DPPH จางลง)

และนำค่าที่ได้จาก % Inhibition มาพล็อตกราฟ แล้วนำสมการในกราฟมาคำนวณหาค่า IC50 จากสมการ  $y = mx + c$

y คือ ค่า % Inhibition

x คือ ค่าความเข้มข้น

m คือ ค่าความชัน (slope)

c คือ ค่าจุดตัดแกน y (y-intercept)

แก้สมการเพื่อหาค่า x ซึ่งค่า x ที่ได้ก็คือค่า IC<sub>50</sub>

$$[50 = mx + c]$$

$$x = (50 - c) / m$$

$$IC_{50} = (50 - \text{จุดตัดแกน Y}) / \text{ความชัน}$$

3.3.2 วิธีการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Total antioxidant capacity จากการศึกษาการสกัดรำข้าวด้วยน้ำมันพีชบริโภาคได้เพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำมันของ ปฏิวิทย์ ลอยพิมาย และคณะ (2563) ซึ่งการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Total antioxidant capacity ดัดแปลงมาจากวิธี ของ Dasgupta and De (2004) มีรายละเอียดดังนี้ วัสดุและสารละลายที่ใช้ สารละลายกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) ความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ (M) สารละลายโซเดียมฟอสเฟต (Sodium phosphate) ความเข้มข้น 28 มิลลิโมลาร์ (mM) สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate) ความเข้มข้น 4.0 มิลลิโมลาร์ (mM) ตัวอย่างสารสกัดที่ต้องการทดสอบ (เช่น สารสกัด lipid)

ขั้นตอนการทดลอง สารละลายมาตรฐานเตรียม โดยชั่ง Trolox 3 มิลลิกรัม ละลายใน 95% Ethanol 1 มิลลิลิตร ได้ความเข้มข้น Trolox 3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร การเตรียมสารละลายตัวอย่าง นำสารสกัดสับประรดส่วนเปลือก 10 มิลลิกรัม มาละลายใน DMSO 1 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ส่วนจุกใช้สารสกัด 8 มิลลิกรัม มาละลายใน DMSO 1 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) โดยแบ่งใส่หลอดทดลอง เป็นความเข้มข้น 10, 15, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300 ไมโครลิตร แล้วเจือจางด้วย 95% Ethanol เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ (รวมแล้วจะได้ 300 ไมโครลิตรต่อหลอด) blank control ใช้ 95% Ethanol 300 ไมโครลิตร

จากนั้นเติมสารละลาย reagent สารละลายกรดซัลฟิวริก 0.6 โมลาร์ (M) จำนวน 1.0 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมฟอสเฟต 28 มิลลิโมลาร์ (mM) จำนวน 1.0 มิลลิลิตร เติมสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 4.0 มิลลิโมลาร์ (mM) จำนวน 1.0 มิลลิลิตร ผสมสารละลายทั้งหมดให้เข้ากันดี แล้วนำหลอดทดลองไปบ่มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา

(การบ่มที่อุณหภูมิสูงและเวลานานช่วยให้เกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์ที่เสถียรซึ่งสะท้อนความสามารถต้านอนุมูลอิสระรวม) เมื่อครบเวลา 90 นาที นำหลอดทดลองออกจาก water bath และทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 695 นาโนเมตร ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

การคำนวณผล เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างกับสารมาตรฐานต้านอนุมูลอิสระคือ Trolox ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงขึ้นแสดงถึงความสามารถต้านอนุมูลอิสระรวมที่สูงขึ้น (วิธีนี้เหมาะสำหรับการวัดความสามารถต้านอนุมูลอิสระรวมของสารสกัดจากพืชและสารประกอบในไขมัน) วิธีนี้ใช้หลักการวัดการเปลี่ยนแปลงสีของสารประกอบโมลิบดีนัมในสภาวะกรดและความร้อน ซึ่งจะเกิดสารสีที่มีการดูดกลืนแสงที่ 695 นาโนเมตร โดยปริมาณสารสีนี้สัมพันธ์กับความสามารถต้านอนุมูลอิสระรวมของตัวอย่าง เพื่อดูฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ส่วนไหนของสับปะรดปัตตาเวีย (จุกและเปลือก) ที่ให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ดีที่สุด

### 3.4 การวิเคราะห์ไขมันด้วยวิธีทาง Gas Chromatography

การเตรียมตัวอย่างสำหรับ GC/MS ซึ่งสารสกัดจากสับปะรดแต่ละส่วนแต่ละตัวอย่าง มาตัวอย่างละ 50 มิลลิกรัม ละลายในสารละลาย 1.5% Sulfuric acid ใน methanol 2 มล. แล้วเอาไปบ่มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้ว นำมาเติมน้ำ 2 มิลลิลิตร และเติม Hexane 5 มิลลิลิตร ลงไป แล้วเขย่าด้วยเครื่อง vortexed. แล้วแยกชั้นด้านบนสุดที่เป็น Hexane ออกมา แล้วเติม sodium sulfate anhydrous เพื่อเอาน้ำออก ให้เหลือแต่ ชั้น Hexane ที่มีไขมันอยู่ในชั้นนี้ ดูดชั้นนี้มาทำการกรองผ่าน เข็มฉีดยาที่มีหัวกรอง ใส่ลงขวด GC แล้วฉีดเข้า GC/MS เพื่อตรวจหา Methyl ester ของกรดไขมัน

การวิเคราะห์ GC-MS: การกำหนดคุณภาพและปริมาณขององค์ประกอบหลักและองค์ประกอบอื่น ๆ ของน้ำมันพืชทำได้โดยใช้ gas chromatography. GC /MS apparatus and conditions; การวิเคราะห์ GC/MS โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี HP 5890 Series II, เครื่อง Mass Selective Detector HP 5972 และตัวเก็บตัวอย่างอัตโนมัติ Agilent 6890 Series ใช้คอลัมน์ แคปิลลารี Supelco MDN-5S ขนาด 30 ม. x 0.25 มม. ที่มีความหนาฟิล์ม 0.5 ไมโครเมตร โดยมี helium เป็นก๊าซตัวพาหะ ที่อัตราการไหล 1.0 มล./นาที อุณหภูมิเตาอบ GC ถูกตั้งโปรแกรมที่อุณหภูมิเริ่มต้น 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นให้ความร้อนจนถึง 300 องศาเซลเซียส ที่ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงไว้ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที อุณหภูมิของหัวฉีดและเครื่องตรวจจับถูกตั้งไว้ที่ 250 องศาเซลเซียส ทำการตรวจวัดมวลสารในอิเล็กตรอน impact (EI) at 70 eV.การระบุองค์ประกอบทางเคมีกำหนดโดย GC retention times การตีความ

สเปกตรัมมวล และยืนยันด้วย mass spectral library search using the National Institute of Standards and Technology (NIST) database. ความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์สำหรับการตรวจจ้งกรดไขมันนั้นได้รับการรับรองซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของมาตรฐาน FAME 37 มาตรฐาน ได้แก่ มาตรฐานไตรกลีเซอไรด์ มาตรฐานกรดไขมันอิสระ GC retention times และมาตรฐานกลีเซอรอล เนื้อหาของกรดไขมันเฉพาะนั้นแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของผลรวมของกรดไขมันทั้งหมดที่วิเคราะห์ ตามวิธีของ Shams et al. (2015)

### 3.5 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ทำการทดลองทั้ง 8 ตัวอย่างของสารสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกของสับปะรด สายพันธุ์ปัตตาเวีย โดยทุกการทดลองต้องมีการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แสดงข้อมูลที่ได้ในรูปค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (mean  $\pm$  SD) ของการทดลองอย่างน้อย 3 ครั้งที่เป็นอิสระต่อกัน โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistic 21 ในการคำนวณค่าและประมวลผลเพื่อหาค่าทางสถิติของปริมาณร้อยละผลผลิต ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ IC<sub>50</sub>-DPPH และ Total antioxidant Capacity (TAC) ของสารสกัดจากเปลือกและจุกของสับปะรดทั้ง 8 ตัวอย่าง ว่าแตกต่างกันหรือไม่อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาทดสอบโดยใช้วิธี Independent t-test และ One Way ANOVA กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (P-values < 0.05)

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

#### 4.1 การสกัดไฟโตลิพิดด้วย Ultrasonic-assisted Extraction โดยใช้ตัวทำละลายที่ต่างกัน และความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ต่างกัน



จุกและเปลือกหลังจากสกัดด้วย Ultrasonic-assisted แล้ว สารสกัดที่ได้หลังจากการกรองแล้ว ของจุกและเปลือก

ภาพที่ 4.1 แสดงจุกและเปลือกหลังจากสกัดด้วย Ultrasonic-assisted extraction



สารสกัดจุกสับปรดที่แห้งแล้ว

สารสกัดเปลือกสับปรดที่แห้งแล้ว

ภาพที่ 4.2 แสดงจุกและเปลือกหลังทำให้แห้งแล้ว

ตารางที่ 4.1 แสดงผลร้อยละผลผลิต  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารสกัดเปลือกและจุกสับประรด  
 ปัตตาเวียจากตัวทำละลายต่าง ๆ

ความเข้มข้นตัวทำละลาย 95%Ethanol: Hexane	ร้อยละของน้ำหนักสารสกัดต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้งผลผลิต	
	เปลือกของสับประรดปัตตาเวีย	จุกของสับประรดปัตตาเวีย
100: 0	1.01 $\pm$ 0.49 <sup>CA</sup>	1.74 $\pm$ 0.30 <sup>aA</sup>
95: 5	6.23 $\pm$ 0.72 <sup>aA</sup>	2.30 $\pm$ 0.44 <sup>aB</sup>
90: 10	3.73 $\pm$ 1.10 <sup>bA</sup>	1.86 $\pm$ 0.26 <sup>aB</sup>
80: 20	4.12 $\pm$ 0.81 <sup>abA</sup>	2.15 $\pm$ 0.19 <sup>aB</sup>

**หมายเหตุ** ด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก แสดงการเปรียบเทียบส่วนของพืชส่วนเดียวกัน (ในเปลือกหรือจุกเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง) แต่แตกต่างกันที่ความเข้มข้นของตัวทำละลาย ในการสกัด ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p < 0.05$  ส่วนด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ แสดงความแตกต่างกันของสารสกัดจากส่วนของพืชคนละส่วนกัน (ในเปลือกหรือจุก) ที่สกัดด้วยความเข้มข้นของตัวทำละลายเดียวกัน ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p < 0.05$

จากการสกัดด้วยวิธี Ultrasonic-assisted extraction ด้วยตัวทำละลายที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน 95%Ethanol: Hexane สัดส่วน 100:0, 95:5, 90:10, 80:20 ของสับประรดส่วนเปลือกปัตตาเวีย ร้อยละผลผลิตที่ได้ (%yield) ที่ได้จากเปลือกที่สกัดด้วย Hexane 5% ให้ค่าร้อยละผลผลิตสูงสุด 6.23 $\pm$ 0.72 รองลงมาเป็นเปลือกที่สกัดด้วย Hexane 20% ได้ร้อยละผลผลิตที่ 4.12 $\pm$ 0.81 เปลือกที่สกัดด้วย Hexane 10% ได้ร้อยละผลผลิต 3.73 $\pm$ 1.10 ส่วนเปลือกที่สกัดด้วย 95% Ethanol เดี่ยว ๆ ได้ร้อยละผลผลิตที่ 1.01 $\pm$ 0.49 ซึ่งได้ค่าร้อยละผลผลิตต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบทั้งในเปลือกด้วยกัน และในจุก จุกที่สกัดด้วย Hexane 5% ให้ค่าร้อยละผลผลิตสูงสุดในจุกด้วยตนเองแต่น้อยกว่าเปลือก 2.30 $\pm$ 0.44 รองลงมาเป็นจุกที่สกัดด้วย Hexane 20% ให้ค่าร้อยละผลผลิต 2.15 $\pm$ 0.19 จุกที่สกัดด้วย Hexane 10% ให้ค่าร้อยละผลผลิต 1.86 $\pm$ 0.26 และจุกที่สกัดด้วย 95% Ethanol เดี่ยว ๆ ให้ค่าร้อยละผลผลิตอยู่ที่ 1.74 $\pm$ 0.30 ซึ่งน้อยที่สุดในกลุ่มจุก โดยใช้ SPSS ในการวิเคราะห์เชิงสถิติและระดับความเชื่อมั่น  $p < 0.05$  พบว่าการสกัดสับประรดสายพันธุ์ปัตตาเวียที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 95% Ethanol : Hexane ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันคือ 95%Ethanol: Hexane อัตราส่วน 100:0, 95:5, 90:10, 80:20 (v/v) มีผลทำให้ได้สารสกัดหยาบในปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับความเชื่อมั่น  $p < 0.05$  และเมื่อเปรียบเทียบเปลือกและจุกที่สกัดด้วยตัวทำละลายเดียวกันที่สกัดด้วย 95% Ethanol อย่างเดียว ให้ร้อยละผลผลิต 1.01 $\pm$ 0.49<sup>CA</sup> และ 1.74 $\pm$ 0.30<sup>aA</sup> ตามลำดับ

เปลือกและจุกที่สกัดด้วย Hexane 5% ให้ร้อยละผลผลิต  $6.23 \pm 0.72^{aA}$  และ  $2.30 \pm 0.44^{aB}$  ตามลำดับ เปลือกและจุกที่สกัดด้วย Hexane 10% ให้ร้อยละผลผลิต  $3.73 \pm 1.10^{bA}$  และ  $1.86 \pm 0.26^{aB}$  ตามลำดับ เปลือกและจุกที่สกัดด้วย Hexane 20% ให้ร้อยละผลผลิต  $4.12 \pm 0.81^{abA}$  และ  $2.15 \pm 0.19^{aB}$  เมื่อเปรียบเทียบในตัวทำละลายเดียวกัน เปลือกและจุกที่สกัดด้วย Hexane 5% ให้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุดทั้งในเปลือกและในจุกคือ  $6.23 \pm 0.72^{aA}$  และ  $2.30 \pm 0.44^{aB}$  ส่วนตัวทำละลายที่ให้ร้อยละผลผลิตต่ำที่สุดทั้งในเปลือกและจุกคือ 95% Ethanol อย่างเดียว ให้ร้อยละผลผลิตอยู่ที่  $1.01 \pm 0.49^{cA}$  และ  $1.74 \pm 0.30^{aA}$  ตามลำดับ และพบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบเปลือกและจุกของสับปะรดด้วยตัวทำละลายเดียวกันโดยกลุ่มเปลือกจะให้ร้อยละผลผลิต (%Yield) สูงกว่ากลุ่มจุก ในการสกัดที่ใช้สารละลายเดียวกัน จากงานวิจัยการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยและการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเปลือกส้มหวาน (*Citrus sinensis*) เพื่อนำมาใช้เป็นลิปบาล์ม ของ Humaryanto et al. (2023) ผลที่ได้มาของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มหวาน ตัวอย่างเปลือกส้มหวานที่ใช้มีน้ำหนัก 2500 กรัม โดยทำการกลั่นด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ-น้ำทั้งหมดห้าครั้ง ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยเท่ากับ 2.767 กรัม, 2.72 กรัม, 2.812 กรัม, 2.514 กรัม และ 2.876 กรัม รวมทั้งหมดได้ 13.689 กรัม โดยคิดเป็นปริมาณร้อยละโดยมวล (% b/b) เท่ากับ 0.54756 ของปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากตัวอย่าง จากการทดลองนี้เมื่อเปรียบเทียบการสกัดไฟโตลิพิดจากสับปะรด สารสกัดไฟโตลิพิดจะได้ร้อยละผลผลิตที่เยอะกว่าร้อยละผลผลิตน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกหวาน แต่เนื่องจากสารสกัดของเราเป็นสารไฟโตลิพิดทำให้ได้ปริมาณร้อยละผลผลิตมากกว่าน้ำมันหอมระเหยจะเป็นน้ำมันที่บริสุทธิ์กว่า และจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี, ลักษณะโกลนาการ, การยืนยัน NMR ของสควาลีนและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ด *Basella rubra* L. ของ Kumar et al. (2020) พบว่า ผลของไฟโตสเตอรอลทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าน้ำมันเมล็ด *B. rubra* 2.26 กรัมต่อ 100 กรัม ค่านี้นสูงเมื่อเทียบกับน้ำมันงาที่มี 0.44 กรัมต่อ 100 กรัม จากการศึกษาชี้พบว่า ร้อยละผลผลิตของสารสกัดที่ได้จากการสกัดเปลือกและจุกของสับปะรดที่ได้ร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วง 1.01-6.23 % อยู่ในช่วงที่น่าพอใจ

#### 4.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH โดยค่า  $IC_{50}$  ของการสกัดเปลือกและจุกด้วย 95% Ethanol: Hexane (100:0, 95:5, 90:10, 80:20 (v/v)) ตามลำดับ ทั้งหมด 8 ตัวอย่าง 24 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์ค่า  $IC_{50} \pm SD$  ของสารสกัดจากส่วนเปลือกสับปะรด และส่วนจุกสับปะรด ใช้ความ

เข้มข้น 7 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้สารมาตรฐานเป็น Trolox 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปรียบเทียบการสกัดด้วยตัวทำละลายความเข้มข้นที่ต่างกัน แสดงดังนี้

**ตารางที่ 4.2** แสดงค่าผล  $IC_{50} \pm SD$  ของสารสกัดเปลือกและจุกสับประดปัดตาเวียจากตัวทำละลายต่าง ๆ

ความเข้มข้นตัวทำละลาย 95%Ethanol: Hexane	Inhibitory Concentration ( $IC_{50}$ ) $\pm$ SD (mg/ml)	
	เปลือกสับประดปัดตาเวีย	จุกสับประดปัดตาเวีย
100: 0	1.12 $\pm$ 0.19 <sup>bb</sup>	0.71 $\pm$ 0.09 <sup>aA</sup>
95: 5	0.46 $\pm$ 0.07 <sup>aA</sup>	0.67 $\pm$ 0.08 <sup>ab</sup>
90: 10	0.61 $\pm$ 0.08 <sup>aA</sup>	0.65 $\pm$ 0.14 <sup>aA</sup>
80: 20	0.73 $\pm$ 0.05 <sup>aA</sup>	0.70 $\pm$ 0.18 <sup>aA</sup>

**หมายเหตุ** ด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก แสดงการเปรียบเทียบส่วนของพืชส่วนเดียวกัน (ในเปลือกหรือจุกเพียงอย่างเดียว) แต่แตกต่างกันที่ความเข้มข้นของตัวทำละลายในการสกัด ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p < 0.05$  ส่วนด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ แสดงความแตกต่างกันของสารสกัดจากส่วนของพืชคนละส่วนกัน (ในเปลือกหรือจุก) ที่สกัดด้วยความเข้มข้นของตัวทำละลายเดียวกัน ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p < 0.05$

เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มเปลือกด้วยกันที่สกัดด้วยตัวทำละลายที่ต่างกัน 95% Ethanol เดี่ยว ๆ ให้ค่า  $IC_{50}$  อยู่ที่ 1.12<sup>bb</sup> มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีค่าสูงที่สุดในกลุ่มเปลือก เปลือกที่สกัดด้วย Hexane 5% ให้ค่า  $IC_{50}$  ที่ 0.46<sup>aA</sup> มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งเป็นค่า  $IC_{50}$  ที่ต่ำที่สุดในกลุ่มเปลือก มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด รองลงมาคือ ส่วนเปลือกที่สกัดด้วย Hexane 10% มีค่า  $IC_{50}$  0.61<sup>aA</sup> มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ส่วนเปลือกที่สกัดด้วย Hexane 20% มีค่า  $IC_{50}$  0.73<sup>ab</sup> มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบแต่ในกลุ่มเปลือกด้วยกันที่สารละลายความเข้มข้นต่าง ๆ เปลือกที่สกัดด้วย Hexane 5% มีค่า  $IC_{50}$  ต่ำที่สุด มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด ส่วนเปลือกที่สกัดด้วย 95% Ethanol เดี่ยว ๆ ให้ค่า  $IC_{50}$  สูงที่สุดในกลุ่มเปลือกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มจุกที่สกัดด้วยสารละลายความเข้มข้นต่างกันจุกที่สกัดด้วย 95% Ethanol เดี่ยว ๆ มีค่า  $IC_{50}$  0.71<sup>aA</sup> มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ส่วนจุกที่สกัดด้วย Hexane 5% มีค่า  $IC_{50}$  0.67<sup>ab</sup> มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จุกที่สกัดด้วย Hexane 10% มีค่า  $IC_{50}$  0.65<sup>aA</sup> มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จุกที่สกัดด้วย Hexane 20% มีค่า  $IC_{50}$  0.70<sup>ab</sup> มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในสารสกัดจุกมีค่า  $IC_{50}$  ไม่แตกต่างกันมากเหมือนในกลุ่มเปลือก

เมื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยตัวการสกัดที่ใช้ตัวทำละลายเดียว ในการสกัดเปลือกและจุกของสับปะรด เปลือกและจุกที่สกัดด้วย 95% Ethanol เดี่ยว ๆ มีค่า  $IC_{50}$  1.12<sup>bb</sup> มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.71<sup>aa</sup> มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ เปลือกและจุกที่สกัดด้วย Hexane 5% ให้ค่า  $IC_{50}$  0.46<sup>aa</sup> มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.67<sup>ab</sup> มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ เปลือกและจุกที่สกัดด้วย Hexane 10% ให้ค่า  $IC_{50}$  0.61<sup>aa</sup> และ 0.65<sup>aa</sup> มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ เปลือกและจุกที่สกัดด้วย Hexane 20% ให้ค่า  $IC_{50}$  0.73<sup>aa</sup> มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.70<sup>aa</sup> มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ จะเห็นว่าสารสกัดของเปลือกและจุกที่ใช้สารละลายเดียวกันก็ให้ค่า  $IC_{50}$  ที่ต่างกัน จะเห็นว่าเปลือกและจุกที่สกัดด้วย Hexane 5% ให้ค่า  $IC_{50}$  ที่ต่างกัน แต่ต่างกันไม่มาก จากการวิเคราะห์เปลือกและจุกที่สกัดด้วย Hexane 5%, 10% และ 20% มีค่า  $IC_{50}$  ไม่ค่อยต่างกันมากเมื่อเทียบกันเป็นคู่ ๆ แต่เปลือกที่สกัดด้วย 95% Ethanol เดี่ยว ๆ ให้ค่า  $IC_{50}$  1.12±0.19 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุดในการทดลองนี้ ส่วนสารสกัดจุกด้วย 95% Ethanol ให้ค่า  $IC_{50}$  0.71±0.09 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดเปลือกและจุกที่สกัดด้วย 95% Ethanol เดี่ยว ๆ ให้ค่า  $IC_{50}$  แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น  $p < 0.05$

จากงานวิจัย Chemical Profile and Antioxidant Properties of Extracts and Essential Oils from Citrus × limon (L.) Burm. cv. Femminello Comune ของ Loizzo et al. (2016) ในงานนี้ใช้เปลือกและใบสดและแห้งถูกสกัดโดยการกลั่นด้วยน้ำ สกัดแบบของเหลววิกฤตยิ่งยวด (SFE) และวิธี Soxhlet แล้วนำทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นด้วยน้ำจากเปลือกสดมี มีค่า  $IC_{50}$  1.17 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ใบที่สกัดโดย SFE ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ  $\beta$ -carotene bleaching test มีค่า DPPH  $IC_{50}$  ค่า 2.20 และ 6.66 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ จากการทดลองนี้เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยการสกัดไฟโตลิพิทจากเปลือกและจุกของสับปะรด พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเปลือกและจุกของสับปะรดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าเพราะมีค่า  $IC_{50}$  ที่ต่ำในทุกสภาวะการสกัดและจากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสับปะรดส่วนแกนและเปลือก (Potential of Industrial Pineapple ของ Valdés García et al. (2021) นำสารสกัดสับปะรดที่ได้จากส่วนเปลือกและแกนมาทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH assay เมื่อดูฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ตัวอย่าง Core S2 และ Peel S2 ที่ให้ค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ต่างกัน 0.39±0.05 mg TE/g และ 0.61±0.04 mg TE/g ตามลำดับ จะเห็นว่าสารสกัดจากเปลือกสับปะรดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าสารสกัดจากแกนสับปะรด จากผลการศึกษาข้างต้นการใช้ตัวทำละลายเดียวกันมาสกัดพืชต่างชนิดกันหรือสกัดส่วนของพืชคนละส่วนกันก็ให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ต่างกัน

### 4.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี Total Antioxidant Capacity (TAC)

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี Total antioxidant capacity ของการสกัดเปลือกและจุกสับประรด ด้วย 95%EtOH : Hexane (100:0, 95:5, 90:10, 80:20 (v/v)) ตามลำดับ ทั้งหมด 8 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ค่า Total antioxidant capacity ของสารสกัดจากส่วนเปลือกสับประรด ใช้ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และส่วนจุกสับประรด ใช้ความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใช้สารมาตรฐานเป็น Trolox 3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยเปรียบเทียบการสกัดด้วยตัวทำละลายความเข้มข้นที่ต่างกัน แสดงดังนี้

**ตารางที่ 4.3** แสดงค่าผล Total antioxidant capacity (TAC) ของสารสกัดเปลือกและจุกสับประรด บัตตาเวียจากตัวทำละลายต่าง ๆ หน่วยเป็น TAC mg Trolox equivalent/gm extract (TAC mg TE/gm extract)

ความเข้มข้นตัวทำละลาย 95%Ethanol: Hexane	TAC±SD (TAC mg Trolox equivalent/gm extract)	
	เปลือกสับประรดบัตตาเวีย	จุกสับประรดบัตตาเวีย
100: 0	1669.79±82.62 <sup>bA</sup>	1323.53±22.97 <sup>abB</sup>
95: 5	2106.95±34.11 <sup>aA</sup>	1124.67±133.52 <sup>bB</sup>
90: 10	1669.79±82.62 <sup>bA</sup>	1388.70±130.35 <sup>aB</sup>
80: 20	1987.97±109.50 <sup>aA</sup>	685.16±36.27 <sup>cB</sup>

**หมายเหตุ** ด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก แสดงการเปรียบเทียบส่วนของพืชส่วนเดียวกัน (ในเปลือกหรือจุกเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง) แต่แตกต่างกันที่ความเข้มข้นของตัวทำละลายในการสกัด ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p < 0.05$  ส่วนด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ แสดงความแตกต่างกันของสารสกัดจากส่วนของพืชคนละส่วนกัน (ในเปลือกหรือจุก) ที่สกัดด้วยความเข้มข้นของตัวทำละลายเดียวกัน ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p < 0.05$

เมื่อเปรียบเทียบในเปลือกหรือจุกที่สกัดด้วยสภาวะสารละลายที่ความเข้มข้นต่างกัน 95%Ethanol : Hexane ในสัดส่วน 100: 0, 95: 5, 90:10, 80: 20 ในกลุ่มเปลือกที่สกัดด้วย 95%Ethanol เดี่ยว ๆ ให้ค่า TAC 1669.79<sup>bA</sup> TAC mg TE/gm extract เปลือกที่สกัดด้วย Hexane 5% ให้ค่า TAC 2106.95<sup>aA</sup> TAC mg TE/gm extract เปลือกที่สกัดด้วย Hexane 10% ให้ค่า TAC 1669.79<sup>bA</sup> TAC mg TE/gm extract เปลือกที่สกัดด้วย Hexane 20% ให้ค่า TAC 1987.97<sup>aA</sup> จะเห็นว่าจุกที่สกัดด้วย Hexane 5% ให้ค่า TAC สูงที่สุดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดในกลุ่มเปลือก

ส่วนในกลุ่มจุกที่สกัดด้วย 95%Ethanol เดี่ยว ๆ ให้ค่า TAC 1323.53<sup>abB</sup> TAC mg TE/gm extract จุกที่สกัดด้วย Hexane 5% ให้ค่า TAC 1124.67<sup>bB</sup> TAC mg TE/gm extract จุกที่สกัดด้วย Hexane 10% ให้ค่า TAC 1388.70<sup>aB</sup> TAC mg TE/gm extract จุกที่สกัดด้วย Hexane 20% ให้ค่า TAC 685.16<sup>CB</sup> TAC mg TE/gm extract ในกลุ่มจุกจุกที่สกัดด้วย Hexane 10% ให้ค่า TAC สูงที่สุดแต่เมื่อเทียบกับจุกที่สกัดด้วยตัวทำละลายอัตราส่วนต่างกันได้ไม่มีความแตกต่างกันมาก

เมื่อเปรียบเทียบเปลือกและจุกที่สกัดด้วยสภาวะเดียวกัน คือตัวทำละลายที่ความเข้มข้นเดียวกัน เปลือกและจุกที่สกัดด้วย 95%Ethanol เดี่ยว ๆ มีค่า TAC 1669.79<sup>bA</sup> และ 1323.53<sup>abB</sup> TAC mg TE/gm extract ตามลำดับ เปลือกและจุกที่สกัดด้วย Hexane 5% มีค่า TAC 2106.95<sup>aA</sup> และ 1124.67<sup>bB</sup> TAC mg TE/gm extract ตามลำดับ เปลือกและจุกที่สกัดด้วย Hexane 10% มีค่า TAC 1669.79<sup>bA</sup> และ 1388.70<sup>aB</sup> TAC mg TE/gm extract ตามลำดับ เปลือกและจุกที่สกัดด้วย Hexane 20% มีค่า TAC 1987.97<sup>aA</sup> และ 685.16<sup>CB</sup> TAC mg TE/gm extract ตามลำดับ ถ้าเปรียบเทียบในกลุ่มเปลือกและจุกที่สกัดด้วย Hexane 5% เปลือกจะให้ค่า TAC สูงกว่าจุกเยอะมาก ในทุกสภาวะการสกัดซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

GC-MS Profiling, *In Vitro* Antioxidant, Antimicrobial, and *In Silico* NADPH Oxidase Inhibition Studies of Essential Oil of *Juniperus thurifera* Bark เป็นการศึกษา การวิเคราะห์ลักษณะด้วย GC-MS, การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านจุลชีพในหลอดทดลอง รวมทั้ง การศึกษาการยับยั้งเอนไซม์ NADPH oxidase แบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกต้นสน *Juniperus thurifera* ของ Lafraxo et al. (2022) น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกไม้ *Juniperus thurifera* เราได้ทำการทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระสามแบบ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (TAC) 271  $\mu\text{g}$  EAA/mg (271 mg TE/g extract) ซึ่งถือว่าต่ำกว่าสารสกัดไฟโตลิพิทจากสับปะรด เพราะสารไฟโตลิพิทจากสับปะรดเป็นสารสกัด ไม่ได้เป็นน้ำมันล้วนเลยทำให้มีสารอื่นๆที่สามารถละลายในความแตกต่างของขั้วละลายออกมาได้ ทำให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า และจากงานวิจัยการสกัดรำข้าวด้วยน้ำมันพืช (น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว น้ำมันคาโนลา น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันปาล์ม เป็นตัวทำละลาย) บริโภคได้เพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำมัน ของปฎิวิทย์ ลอยพิมาย และคณะ (2563) งานวิจัยนี้ใช้วิธี total antioxidant capacity ในการหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยน้ำมันรำข้าวที่สกัดด้วยน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน มีค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ total antioxidant capacity สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $0.43 \pm 0.05$  และ  $0.47 \pm 0.04$   $\mu\text{g}$  BHTE./g ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันพบว่ารำข้าวที่สกัดด้วยน้ำมันมะพร้าว มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ total antioxidant capacity ต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )  $0.09 \pm 0.01$   $\mu\text{g}$  BHTE./g ในงานวิจัยข้างต้นจะเห็นว่าชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดรำข้าวส่งต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) สอดคล้องกับงานวิจัยของผู้วิจัยปัจจุบัน พบว่าชนิดของตัวทำละลายมีผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ total antioxidant capacity จะเห็นว่า เปลือกที่สกัดด้วยสารละลาย 95% Ethanol : Hexane ในสัดส่วน 95: 5 ให้ค่า TAC สูงที่สุด มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด และเปลือกที่สกัดด้วย 95% Ethanol : Hexane 100: 0, 90: 10, 80: 20 มีค่า TAC ต่ำลงรองลงมา



ตารางที่ 4.4 ผลสารประกอบไขมันที่ตรวจพบในจุกและเปลือกสับปะรดที่สกัดด้วยสารละลายชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธี GCMS

compound	Crown pure 95 %EtOH		Crown Hexane 5%		Crown Hexane 10%		Crown Hexane 20%		Peel pure 95 %EtOH		Peel Hexane 5%		Peel Hexane 10%		Peel Hexane 20%	
	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD
	area	area	area	area	area	area	area	SD area	area	area	area	area	area	area	area	area
	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct
2-Ethyl-oxetane	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4654	0.1749
6-Octadecenoic acid	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8462	0.2682	-	-	-	-
9,12,15- Octadecatrienoic acid, (Z, Z, Z)-	6.2605	1.5392	1.6680	0.4380	5.4812	33.9005	7.2581	2.2338	4.3530	0.3219	3.4069	1.6864	4.4348	2.4645	5.5673	2.9979
9,12,15- Octadecatrienoic acid, ethyl ester, (Z, Z, Z)-	2.4466	1.1470	1.8890	0.3080	2.5571	0.3010	3.3118	0.4216	6.4234	2.8306	9.1788	1.1735	7.7832	1.2355	7.1224	1.3105
9,12,15- Octadecatrienoic acid, methyl ester	-	-	1.7657	0.5185	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7966	0.0549
9,12-Octadecadienoic acid (Z, Z)-	11.4534	7.6783	3.9697	2.2240	16.2329	7.2875	17.9513	5.2101	8.0610	2.7862	7.1132	1.4610	8.8175	5.4314	7.6118	3.9483
9,12-Octadecadienoic acid (Z, Z)-, methyl ester	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4376	0.0795	0.5176	0.0687
9-Octadecenoic acid (Z)-, ethyl ester	-	-	2.8067	0.2926	-	-	4.1351	0.4329	-	-	-	-	-	-	-	-
9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	-	-	2.7771	0.6979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4778	0.0353

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

compound	Crown pure 95 %EtOH		Crown Hexane 5%		Crown Hexane 10%		Crown Hexane 20%		Peel pure 95 %EtOH		Peel Hexane 5%		Peel Hexane 10%		Peel Hexane 20%	
	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD
	area	area	area	area	area	area	area	area	area	area	area	area	area	area	area	area
	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct
Dodecanoic acid	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7984	0.3465	0.4830	0.0554
Eicosanoic acid, ethyl ester	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8374	0.0803	-	-
Ethyl Oleate	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8807	0.8770	3.2935	1.3589	-	-
Heptadecanoic acid, ethyl ester	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4469	0.0569
Heptadecanoic acid, methyl ester	-	-	0.5601	0.0604	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6481	1.1389	-	-
Hexadecanoic acid, ethyl ester	-	-	5.7218	1.7969	4.7409	0.8398	4.5439	0.2029	9.3177	4.0455	10.8981	2.8951	10.2776	2.6414	8.7499	1.3655
Isopropyl myristate	-	-	0.6756	0.1221	-	-	-	-	0.7568	0.0284	-	-	0.5366	0.0250	-	-
Levulinic acid, ethyl ester	-	-	1.0415	0.4996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linoleic acid ethyl ester	-	-	4.2330	0.5274	6.5077	1.5645	7.0397	0.1149	9.6642	3.6637	11.8762	1.7026	10.0991	1.3503	7.8956	1.2048
Methyl stearate	-	-	0.9221	0.2160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Neophytadiene	-	-	1.4314	0.8741	-	-	-	-	-	-	1.6293	1.3134	0.9487	0.3579	0.6712	0.2760
n-Hexadecanoic acid	22.9163	5.1654	13.6173	1.9232	22.8772	2.2535	1.5441	0.0374	13.4673	2.9019	15.2477	4.8266	16.1704	2.2775	16.4780	2.0844

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

compound	Crown pure 95 %EtOH		Crown Hexane 5%		Crown Hexane 10%		Crown Hexane 20%		Peel pure 95 %EtOH		Peel Hexane 5%		Peel Hexane 10%		Peel Hexane 20%	
	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD
	area	area	area	area	area	area	area	area	area	area	area	area	area	area	area	area
	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct	pct
Octadecanoic acid	-	-	1.2544	0.1178	2.0998	0.0189	1.8679	0.3923	1.7363	0.0880	-	-	2.0759	0.3091	1.8681	0.1686
Octadecanoic acid, ethyl ester	-	-	0.7157	0.2614	-	-	-	-	2.1293	0.6990	2.0436	0.5420	2.0169	0.5431	1.7033	0.4119
Oleic Acid	8.7307	0.9578	3.2635	0.5231	8.9493	0.8653	9.4151	2.2542	6.7109	0.7756	-	-	3.5765	0.7268	6.1067	0.7408
Pentadecanoic acid	0.7501	0.1356	0.3373	0.0950	-	-	0.7875	0.0117	-	-	-	-	0.4457	0.0306	0.4984	0.0608
Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2450	2.5850	-	-	3.9659	4.1011
Pentanoic acid, 4-oxo- , methyl ester	-	-	1.1928	0.7369	-	-	16.9983	11.7693	-	-	-	-	-	-	0.9768	0.5444
Phytol	1.7449	0.0004	-	-	2.9824	0.6493	-	-	-	-	-	-	0.7783	0.0293	0.5461	0.0174
Tetradecanoic acid	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6242	0.1760	-	-

#### 4.4 การวิเคราะห์สารประกอบไขมันในการสกัดไฟโตลิพิดจากสับปะรดด้วยวิธี GCMS

จากการวิเคราะห์ผล GCMS ในตารางที่ 4.4 พบสารกลุ่มไขมันทั้งหมด 28 ตัว และไม่ใช่น้ำมัน 1 ตัว คือ 2-Ethyl-oxetane การแยกและวิเคราะห์สารสกัดจากเปลือกและจุกของสับปะรด สารสกัดจากสับปะรดที่ใส่ตัวทำละลาย 95% Ethanol: hexane สัดส่วน 100:0, 95:5, 90:10, 80:20

กรดไขมันสายตรง C18:3  $\Delta$ 9,12,15 (omega-3) ที่ตรวจพบ ได้แก่ alpha-linolenic acid (ALA), ethyl linolenate และ methyl linolenate ซึ่งเป็น PUFA สายตรงแบบ cis ทำให้จุดหลอมเหลวต่ำ ไม่ชอบน้ำ และไวต่อการเกิด autoxidation (Frankel et al., 1961; Kumarathasan et al., 1992) ALA อยู่ในรูปกรดอิสระจึงเข้าสู่เมตาบอลิซึมกรดไขมันได้โดยตรง ขณะที่ ethyl/methyl linolenate ต้องถูกไฮโดรไลซ์และมีสมบัติฟิสิกส์แตกต่างกันเรื่องมวล โมเลกุล การระเหย และการละลายในตัวทำละลาย (Cymit Quimica, 2019; Sigma Aldrich, 2024) ALA พบมากในน้ำมันพืชหลายชนิดและจัดเป็นกรดไขมันจำเป็นที่สัมพันธ์กับการลดความเสี่ยงโรคหัวใจขาดเลือด ลดการอักเสบ และปรับสมดุลไขมันในเลือด แม้หลักฐานเรื่องมะเร็งจะยังไม่แน่ชัด (Brouwer et al., 2014; de Goede et al., 2014; Giosuè et al., 2021) ในอาหาร ethyl linolenate ใช้เป็น flavoring agent และแหล่งโอเมก้า-3 เสริม ส่วน methyl linolenate ใช้เป็นมาตรฐาน FAME C18:3 ในงานวิเคราะห์มากกว่าจะใช้เป็น nutraceutical เพราะข้อจำกัดด้านความปลอดภัยของเมทานอล (Central Laboratory of Thai FDA, 2015; Cymit Quimica, 2019) สำหรับการใช้อย่างนอก ALA จากน้ำมันพืชที่มีปริมาณสูงถูกใช้เป็น emollient และ skin-conditioning ช่วยเสริม skin barrier ลดการสูญเสียน้ำและการอักเสบจาก oxidative stress ส่วน ethyl linolenate ทำหน้าที่ emollient เบาละดับตัวพาสารออกฤทธิ์ ขณะที่ methyl linolenate ใช้เป็นโมเดล PUFA ศึกษาการเกิด lipid peroxidation เพื่อออกแบบระบบสารต้านอนุมูลอิสระและป้องกันการหืนของน้ำมัน (Boukhari et al., 2022; Kumarathasan et al., 1992; Wang et al., 2024)

กรดไขมัน C18:2 ประกอบด้วย linoleic acid และอนุพันธ์เมทิล/เอทิลเอสเทอร์ ซึ่งมีโครงสร้างสายตรง C18:2 cis-9,12 ทำให้โมเลกุลโค้ง จุดหลอมเหลวต่ำ และไวต่อ lipid peroxidation จึงถูกใช้เป็นโมเดลสำคัญในการศึกษากลไก autoxidation และบทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระในระบบน้ำมัน (Khan, 1954; Kumarathasan et al., 1992) Linoleic acid เป็นกรดไขมันจำเป็นโอเมก้า-6 พบมากในน้ำมันดอกทานตะวัน ดอกคำฝอย และข้าวโพด มีบทบาทต่อเยื่อหุ้มเซลล์ ระบบหัวใจและหลอดเลือด และความสมบูรณ์ของผิว และเมื่อใช้แทนกรดไขมันอิ่มตัวในอาหาร จะช่วยลดโคเลสเตอรอลรวมและ LDL พร้อมลดความเสี่ยงโรคหัวใจถ้าอยู่ในสมดุลที่เหมาะสมกับโอเมก้า-3 (Wang et al., 2024) ในเครื่องสำอาง linoleic acid เป็น emollient และ moisturizing

agent สำคัญ ช่วยเสริม skin barrier ลดการสูญเสียน้ำ เหมาะกับผิวมัน/เป็นสิวง่ายและช่วยปรับสมดุล sebum ส่วน ethyl linoleate ถูกพัฒนาเป็น active ในสูตรรักษาสิวและ whitening ที่มีฤทธิ์ antibacterial, anti-inflammatory และลด melanogenesis ขณะที่ methyl linoleate ใช้เป็นโมเดล lipid สำหรับทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการใช้เป็นสาร active เดียว (Curology, 2023; Kim et al., 2017; Kumarathasan et al., 1992; Sytheon, 2024)

กรดไขมัน C18:1 รวม oleic acid, ethyl oleate, methyl elaidate และ petroselinic acid ซึ่งล้วนเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่งที่ต่างกันในตำแหน่งและ cis/trans configuration ของพันธะคู่และหมู่ฟังก์ชันปลายสาย ส่งผลให้สมบัติและการใช้งานแตกต่างกัน (Brunet, 2023; Hajib et al., 2023) Oleic acid ซึ่งเป็น C18:1  $\omega$ -9 cis-9 เป็นกรดไขมันหลักในน้ำมันมะกอกและน้ำมันคาโนลา มีหลักฐานว่าการแทนกรดไขมันอิ่มตัวด้วย oleic-rich Mediterranean diet ช่วยลด LDL-cholesterol ลด lipid oxidation และลดความเสี่ยงโรคหัวใจ (Estruch et al., 2014; Toledo et al., 2017) Ethyl oleate เป็นเอสเทอร์ที่ละลายในลิพิดดี ใช้เป็นตัวพาไขมันในอาหาร ยา และ nutraceuticals รวมถึงเป็น emollient บางเบาในผลิตภัณฑ์ผิวและผม ในขณะที่ methyl elaidate ใช้เป็นมาตรฐาน trans-fatty ester และในอุตสาหกรรมไบโอดีเซลเนื่องจากข้อกังวลด้านสุขภาพของ trans fat ส่วน petroselinic acid จากน้ำมันเมล็ดผักชีถูกพัฒนาเป็น active lipid ที่มีศักยภาพด้านด้านการอักเสบและปรับเมตาบอลิซึมไขมันในอาหารและ nutricosmetics (Hajib et al., 2023; Mayo Clinic, 2023; Nutraceutical Business Review, 2021; Xenex Labs, 2024)

กรดไขมัน C18:0 ประกอบด้วย stearic acid และ ethyl/methyl stearate ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวสายตรง C18 และเอสเทอร์ที่มีหมู่ปลายต่างกันแต่ยังคงโครง C18 อิ่มตัวเต็ม ทำให้จุดหลอมเหลวสูง เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องและทนต่อ autoxidation สูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว (EFSA ANS Panel, 2017) Stearic acid พบในเนยโกโก้ ไขมันสัตว์ และน้ำมันปาล์ม ได้รับอนุญาตเป็นวัตถุเจือปนอาหาร (E570) ทำหน้าที่ stabilizer, emulsifier และ anticaking agent และจากการประเมินใหม่ของ EFSA ถือว่าไม่มีข้อกังวลด้านความปลอดภัยในระดับการใช้ปัจจุบันและมีผลค่อนข้างเป็นกลางต่อระดับโคเลสเตอรอลเมื่อเทียบกับกรดไขมันอิ่มตัวอื่น (EFSA ANS Panel, 2017; Medical News Today, 2023) ในเภสัชภัณฑ์ stearic acid และเกลือ stearate เช่น magnesium stearate ใช้เป็นสารหล่อลื่นแม่พิมพ์และสารช่วยการอัดเม็ดยา ขณะที่ ethyl/methyl stearate ใช้เป็น flavoring agent ระดับต่ำหรือเป็น FAME standard และ feedstock สำหรับไบโอดีเซล (ChemicalBook, 2025; PishroChem, 2025) ในเครื่องสำอาง stearic acid ทำหน้าที่เป็น thickener, emulsifier และ emollient ในครีม โลชั่น สบู่ และโฟมโกนหนวด ส่วนเกลือ stearate เป็นโครงสร้างหลักของสบู่ก้อน และเอสเทอร์ของ stearic เป็น emollient/solvent ในผลิตภัณฑ์ผิว

และผสม (Cosmetic Ingredient Review Expert Panel, 2018; Musim Mas, 2025; Rustic Strength, 2024)

กรดไขมัน C17:0 ประกอบด้วย heptadecanoic acid และเมทิล/เอทิลเอสเทอร์ ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวสายตรง C17 และอนุพันธ์ FAME/FAEE ที่ใช้เป็นมาตรฐานและ internal standard ในการวิเคราะห์กรดไขมันด้วย GC-FID/GC-MS (Christie & Han, 2018; Shimadzu Corporation, 2016; Wishart et al., 2018) Heptadecanoic acid (C17:0) ถูกใช้เป็น biomarker ของการบริโภคไขมันนม โดยระดับ C17:0 ในเลือดและเนื้อเยื่อไขมันสัมพันธ์กับการบริโภคผลิตภัณฑ์นมและสัมพันธ์เชิงผกผันกับความเสี่ยงโรคหัวใจและเมตาบอลิกในหลาย cohort แม้จะมีข้อเสนองว่าควรตีความอย่างระมัดระวังเนื่องจากอาจมีปัจจัยร่วมอื่น (Astrup et al., 2014; Pranger et al., 2019; Yakoob et al., 2017; Zheng et al., 2021) ในเชิงเทคนิค methyl heptadecanoate ใช้แพร่หลายเป็น internal standard ในตัวอย่างไขมันสัตว์ น้ำมันพืช ไบโอดีเซล และตัวอย่างชีวภาพ ขณะที่ ethyl heptadecanoate จะปรากฏเป็น flavor component รองที่ให้โทนกลิ่นมันหรือผลไม้และทำหน้าที่ emollient/fragrance component รองในสูตรครีมและโลชั่นบางชนิด (European Commission-COSING, 2023; The Good Scents Company, 2018; Sigma Aldrich, 2024)

กรดไขมัน C16:0 รวม palmitic acid และ ethyl palmitate ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวสายตรง C16 และเอทิลเอสเทอร์ที่มีแกนอิ่มตัวเหมือนกัน ให้สมบัติไม่ชอบน้ำสูง ละลายในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี และเสถียรต่อ autoxidation มากกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว (Belsito et al., 2017; Masoodi et al., 2015) Palmitic acid เป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากที่สุดในสัตว์ พืช และจุลินทรีย์ รวมถึงเป็นกรดไขมันหลักบนผิวมนุษย์จากต่อมไขมัน และถูกใช้เป็น emulsifier, stabilizer และ texturizer ในอาหาร แม้การบริโภคมากอาจสัมพันธ์กับความเสี่ยงเมตาบอลิกบางประการแต่ในระดับปกติถือเป็นส่วนหนึ่งของไขมันอาหารทั่วไป (de Souza et al., 2015; Fattore & Fanelli, 2010; Masoodi et al., 2015) Ethyl palmitate ได้ ขึ้นทะเบียน FEMA เป็น flavoring agent/adjuvant ใช้ในระดับต่ำให้โน้ตมัน-นม-หวานในอาหารและเครื่องดื่ม และพบเป็นองค์ประกอบกลิ่นรองในผลไม้และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์บางชนิด (Burdock et al., 2010; The Good Scents Company, 2024) ในเครื่องสำอาง palmitic acid และเกลือ palmitate ใช้เป็น emulsifier/co-surfactant/structuring agent และ emollient ในครีม โลชั่น สบู่ และคลีนเซอร์ ขณะที่ ethyl palmitate ทำหน้าที่เป็น hair and skin conditioning agent และ emollient บางเบาที่ช่วยกระจายสารหอมและสาร lipophilic ในสูตรสกินแคร์และผลิตภัณฑ์ผม (Belsito et al., 2017; Cosmetic Ingredient Review, 2019)

กรดไขมัน C15:0 ประกอบด้วย pentadecanoic acid (กรดไขมันสายตรง C15:0) และ 14-methylpentadecanoic acid methyl ester ซึ่งเป็น FAME ของกรดไขมันสายกิ่ง iso-C16:0

(Christie & Han, 2011; Ciesielski et al., 2024) Pentadecanoic acid เดิมใช้เป็นเพียง biomarker ของการบริโภคไขมันนม แต่หลักฐานระบาดวิทยาและการทดลองชี้ว่าระดับ C15:0 ในเลือดสัมพันธ์เชิงผกผันกับความเสี่ยงโรคหัวใจ เบาหวานชนิดที่ 2 และโรคไขมันพอกตับที่ไม่ได้เกิดจากแอลกอฮอล์ และอาจมีคุณสมบัติคล้ายกรดไขมันจำเป็น โดยมีฤทธิ์ลดการอักเสบ ปรับเมตาบอลิซึมไขมัน/กลูโคส ป้องกันตับ และเกี่ยวข้องกับการยับยั้ง mTOR/กระตุ้น AMPK (Ciesielski et al., 2024; Pranger et al., 2019; Santaren et al., 2014; Venn-Watson et al., 2020; Venn-Watson & Schork, 2023) ดังนั้น C15:0 จึงเริ่มถูกพัฒนาเป็นอาหารเสริมและ nutricosmetic เชิง anti-aging และ cardiometabolic support ขณะที่ 14-methylpentadecanoic acid methyl ester ใช้หลักเป็น FAME standard ในการวิเคราะห์ branched-chain fatty acids และเป็น marker ของแหล่งไขมันจากจุลินทรีย์หรือทะเล มากกว่าการใช้เป็น active เชิงโภชนาการหรือสกินแคร์โดยตรง (Henry et al., 2016; Christie et al., 2011; Ciesielski et al., 2024)

กรดไขมัน C14:0 รวม myristic acid และ isopropyl myristate (IPM) ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวสายตรง C14 และเอสเทอร์ที่ใช้กว้างขวางในอาหารและเครื่องสำอาง (Ataman Chemical, 2009a, b, c; Johnson & Cosmetic Ingredient Review Expert Panel, 2010) Myristic acid พบในไขมันนม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันเมล็ดปาล์ม ได้รับการอนุมัติจาก FDA, JECFA และ FEMA ให้ใช้เป็น food ingredient และ flavor adjuvant เช่น เคลือบผิวผลไม้รสเปรี้ยว แม้การบริโภคกรดไขมันอิ่มตัวมากเกินไปอาจเพิ่มความเสี่ยงเมตาบอลิก (Burdock & Carabin, 2007; ChemicalBook, 2025) ในเครื่องสำอาง myristic acid ใช้เป็น emulsifier, surfactant และ emollient ในผลิตภัณฑ์ล้างหน้า แชมพู และครีมต่าง ๆ และเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอสเทอร์ myristate หลายชนิด (CIR Expert Panel, 2018; Johnson & Cosmetic Ingredient Review Expert Panel, 2010) IPM เป็น emollient กระจายตัวเร็วที่ให้สัมผัสบางเบาไม่เหนอะหนะ ใช้เป็น penetration enhancer เพิ่มการซึมผ่านของสารออกฤทธิ์ในสูตรทาผิวและแผ่นแปะ transdermal รวมถึงได้รับสถานะ FEMA GRAS เป็น flavoring agent ในระดับต่ำมากในอาหาร (Ataman Chemical, 2009 a, b, c; FDA, 2012; FEMA Expert Panel, 1999; Williams & Barry, 2012)

กรดไขมัน C12:0 ได้แก่ lauric acid ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวสายตรง C12 จัดเป็น medium-chain fatty acid ที่มีการดูดซึมและเมตาบอลิซึมแตกต่างจากกรดไขมันสายยาว (Masue et al., 2019; McCarty & DiNicolantonio, 2016) Lauric acid เป็นกรดไขมันหลักในน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเมล็ดปาล์ม คิดเป็น 40–50% ของกรดไขมันทั้งหมด มีความเสถียรต่อออกซิเดชันปานกลางและละลายในน้ำมันได้ดี (Ataman Chemical, 2024a, b, c; Masue et al., 2019) ในโภชนเภสัช lauric acid ในน้ำมันมะพร้าว/MCT oil ถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานที่ดูดซึมเร็ว ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานและคีโตนในตับ มากกว่าถูกสะสมเป็นไตรกลีเซอไรด์ และอาจช่วยปรับปรุงเมตา

บอริซิมและการทำงานของสมองเมื่อใช้ในปริมาณเหมาะสม (Ciriminna et al., 2022; McCarty & DiNicolantonio, 2016; Cao et al., 2025) Lauric acid และอนุพันธ์อย่าง lauric arginate ถูกใช้เป็น emulsifier/surfactant และสารกันเสียในอาหารหลายชนิด โดย lauric arginate ได้รับการประเมินความปลอดภัยและ ADI เพียงพอจาก JECFA/FSANZ และมีสถานะ GRAS จากฤทธิ์ต้านจุลชีพกว้างขวาง (Food Standards Australia New Zealand [FSANZ], 2018; Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive, 2008) ในเครื่องสำอาง lauric acid/soaps (sodium/potassium laurate) เป็น surfactant และ foaming agent หลักในสบู่และผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด และมีฤทธิ์ต้านจุลชีพต่อแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับสิวและเชื้อก่อโรคอื่น จึงถูกใช้ในผลิตภัณฑ์สำหรับผิวมัน/เป็นสิวและผลิตภัณฑ์หนังศีรษะที่ต้องการต้านจุลชีพร่วมกับการทำความสะอาด (Ataman Chemical, 2024a, b, c; CIR Expert Panel, 2018; Matsue et al., 2019; Nakatsuji et al., 2009)

กรดไขมัน C5 นี้เป็นอนุพันธ์ levulinic acid ได้แก่ methyl levulinate และ ethyl levulinate ซึ่งเป็น  $\gamma$ -keto esters C5 ที่ให้กลิ่นหวาน-ผลไม้ และถูกใช้เป็น flavoring agents และ green solvents จากชีวมวล (Smith et al., 2009; Tiong et al., 2018) Levulinic acid เป็น platform chemical สำคัญจากการสลายเซลลูโลสและชีวมวล และเมื่อทำเป็น alkyl levulinates จะได้ของเหลวไม่ชอบน้ำที่ระเหยได้และเหมาะสมใช้เป็นตัวทำละลายและตัวพากลิ่นในระบบอินทรีย์ (Hayes & Becer, 2020; PubChem, 2025a,b,c; The Good Scents Company, 2018) Ethyl levulinate ให้น้ตกลิ่น sweet-fruity-floral และใช้ในเครื่องดื่ม เบียร์เกอร์ และลูกกวาดในระดับต่ำมาก ขณะที่ methyl levulinate ให้กลิ่นหวาน-คาราเมลอ่อนและใช้เป็น flavor & fragrance intermediate (Smith et al., 2009; The Good Scents Company, 2018; Jeanmard et al., 2025) ในเครื่องสำอาง ethyl levulinate นิยมใช้เป็น fragrance ingredient และ solvent ในผลิตภัณฑ์น้ำหอมและอาบน้ำ รวมถึง levulinic acid/esters ถูกใช้เป็น antimicrobial, skin-conditioning agent และ pH regulator ในสูตร natural/organic cosmetics โดยการประเมิน RIFM ระบุว่า ethyl levulinate ไม่มีข้อกังวลด้าน genotoxicity, phototoxicity หรือ skin sensitization ในระดับการใช้ปัจจุบัน (Api et al., 2015, 2019; Tiong et al., 2018)

กรดไขมัน C20:0 ที่ตรวจพบ คือ ethyl eicosanoate (ethyl arachidate) ซึ่งเป็นเอทิลเอสเทอร์ของ eicosanoic/arachidic acid (กรดไขมันอิ่มตัว C20:0) มีคุณสมบัติเป็น long-chain saturated FAEE ที่ไม่ชอบน้ำ มีความหนืดปานกลาง ทนต่อออกซิเดชันสูง และให้กลิ่น fruity-waxy คล้ายไวน์หรือผลไม้สุก (Ataman Chemical, 2009a, b, c; Molnova, 2023) Ethyl eicosanoate เป็นองค์ประกอบรองในน้ำมันถั่วลิสง ข้าวโพด ถั่วเหลือง และโกโก้บัตเตอร์ และใช้เป็น flavoring agent ให้น้ตกลิ่น fruity-waxy ในเบียร์เกอร์ ลูกกวาด และเครื่องดื่มบางชนิดในระดับต่ำมาก โดย

บทบาททางโภชนเภสัชของไขมันจำกัดอยู่ที่การเป็นตัวพาลีพิดหรือองค์ประกอบรองใน FAEE มากกว่าจะเป็น nutraceutical แบบ EPA/DHA (Ataman Chemical, 2009a, b, c; Polymer Books, 2022; PubChem, 2025a,b,c) ในเครื่องสำอาง ethyl eicosanoate ทำหน้าที่เป็น fatty ester emollient และ oily vehicle ในครีมและโลชั่น ช่วยให้เนื้อผลิตภัณฑ์มันลื่น เคลือบง่าย และใช้เป็น fragrance ingredient/solvent สำหรับโน้ต fruity-waxy ในผลิตภัณฑ์น้ำหอมและดูแลส่วนบุคคล รวมถึงใช้เป็น standard ของ FAEE C20:0 ในการวิเคราะห์กรดไขมันด้วย GC-FID/GC-MS (Chemimpex, 2024)

กลุ่มไอโซพรีนอยด์ประกอบด้วย phytol และ neophytadiene ซึ่งเป็น diterpenoids C20 ที่มีโครงสร้าง isoprenoid ไม่ชอบน้ำ ละลายในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ เป็นองค์ประกอบสำคัญของสารสกัดจากพืชและสาหร่ายหลายชนิด (Durrett et al., 2021; Islam et al., 2018) Phytol เป็น acyclic diterpene alcohol ที่เป็นหางของคลอโรฟิลล์และ side chain ของ tocopherols/vitamin K1 จึงใช้เป็นสารตั้งต้นสังเคราะห์วิตามิน E และ K1 ในอุตสาหกรรมอาหารเสริมและอาหารฟังก์ชัน (Durrett et al., 2021; Fieser et al., 1939) ทั้ง phytol และ neophytadiene มีรายงานฤทธิ์ต้านจุลชีพ ต้านการอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระ และต้านมะเร็งในการทดลองก่อนคลินิก รวมถึง neophytadiene ที่มีฤทธิ์ neuroprotective ผ่านเส้นทาง TLR4 และ PI3K/Akt (González-Rivera et al., 2023; Prasathkumar et al., 2022; Rajeswaran & Rajan, 2025) ในเครื่องสำอาง phytol ใช้เป็น fragrance ingredient ให้กลิ่นเขียว-พลอร์ลและเป็น fragrance solvent โดยมีข้อมูล toxicology ยืนยันความปลอดภัยในระดับการใช้ปัจจุบัน และงานวิจัยล่าสุดเสนอศักยภาพของ phytol เป็น active cosmeceutical ที่ต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้ง tyrosinase และเอนไซม์ทำลายเมทริกซ์ผิว จึงเหมาะต่อผลิตภัณฑ์ anti-aging และ whitening (Carvalho et al., 2020; Duraisamy et al., 2024; Islam et al., 2018) ส่วน neophytadiene มักปรากฏเป็นส่วนผสมรองใน essential oils ที่ใช้ในสกินแคร์และสปา มากกว่าจะใช้เป็น INCI เดี่ยว เนื่องจากข้อมูลความปลอดภัยผิวโดยตรงยังมีจำกัด (González-Rivera et al., 2023; Rajeswaran & Rajan, 2025)

การสกัดจุกและเปลือกสับปะรดด้วยเอทานอล 95% เพียงตัวเดียวให้กรดไขมัน 7 และ 10 ชนิดตามลำดับ โดยมีกรดไขมันร่วมกัน 5 ชนิด ได้แก่ Alpha Linolenic Acid (C18:3), linoleic acid (C18:2,  $\omega$  6), oleic acid (C18:1,  $\omega$  9) และ palmitic acid (C16:0) ซึ่งเป็นกรดไขมันสำคัญที่พบทั่วไปในน้ำมันพืชและไขมันธรรมชาติ (Ataman Chemical, 2009a, b, c; Carta et al., 2017) นอกจากนี้ จุกพบ pentadecanoic acid และ phytol เพิ่มเติม ส่วนเปลือกพบ ethyl linoleate, stearic acid/ethyl stearate, ethyl palmitate และ isopropyl myristate

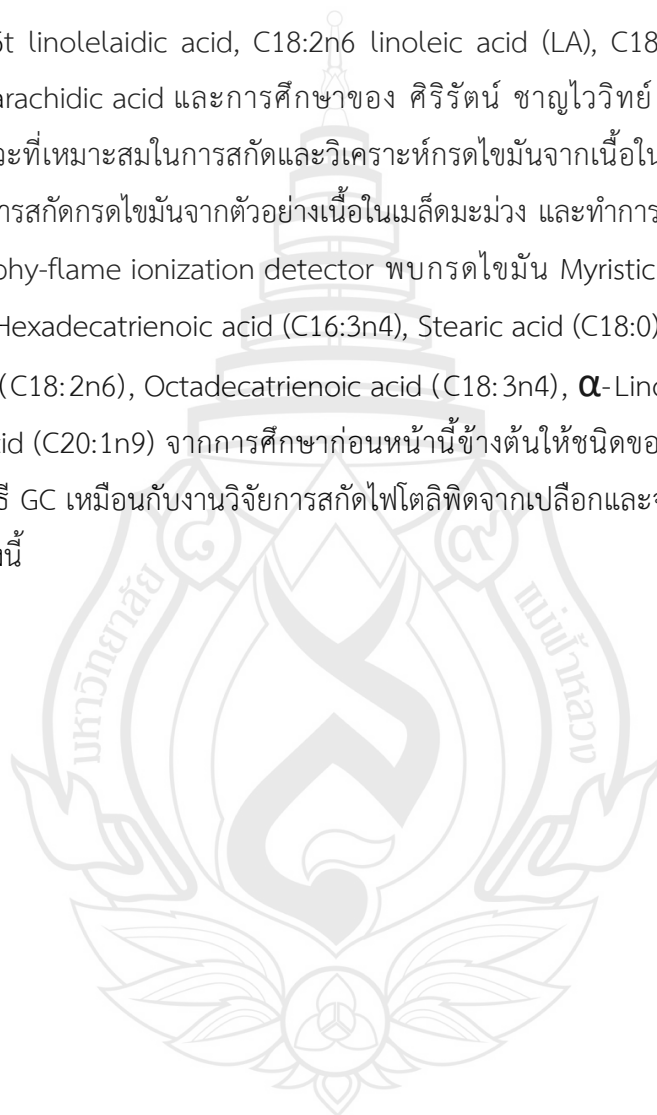
การสกัดจุกและเปลือกสับปะรดด้วย Hexane 5% จำนวนสารประกอบไขมันจากจุกเพิ่มเป็น 19 ชนิด และจากเปลือก 11 ชนิด โดยมีกรดไขมันรวม 8 ชนิด ได้แก่ Alpha Linolenic Acid (ALA) (C18:3), linoleic/ethyl linoleate (C18:2), palmitic/ethyl palmitate (C16:0), ethyl stearate (C18:0) และ neophytadiene แสดงว่าสภาวะนี้ดึงสารทั้ง PUFA, SFA และไอโซพรีนอยด์ได้ดี (Christie & Han, 2018; Durrett et al., 2021) จุกยังมีเมทิลเอสเทอร์ของ ALA, oleic series, methyl stearate, heptadecanoate, pentadecanoate, isopropyl myristate และ levulinate series ส่วนเปลือกมี ethyl oleate และ branched C15:0 เพิ่ม ซึ่งสอดคล้องกับรายงาน FA profile ที่พบ SFA, MUFA, PUFA และอนุพันธ์เอสเทอร์หลากหลายเมื่อใช้ตัวทำละลายผสม (Mihai et al., 2019; Pranger et al., 2019)

การสกัดจุกและเปลือกสับปะรดด้วย Hexane 10% ทำให้จุกให้กรดไขมัน 9 ชนิด ในขณะที่เปลือกให้ 19 ชนิด โดยมีกรดไขมันรวม 9 ชนิด ได้แก่ Alpha Linolenic Acid, linoleic/ethyl linoleate, oleic acid, stearic acid, palmitic/ethyl palmitate และ phytol สะท้อนว่าเมื่อเพิ่มเฮกเซนขึ้นอีก เปลือกสับปะรดดึงลิพิดได้หลากหลายกว่า เปลือกยังมีเมทิลเอสเทอร์ของ linoleic/ALA, ethyl oleate, heptadecanoate, pentadecanoate, tetradecanoate, lauric acid, ethyl eicosanoate และ neophytadiene

การสกัดจุกและเปลือกด้วย Hexane 20% ทำให้จุกมีกรดไขมัน 11 ชนิด ส่วนเปลือก 19 ชนิด โดยมีกรดไขมันรวม 10 ชนิด ครอบคลุม Alpha Linolenic Acid, linoleic/ethyl linoleate, oleic, stearic, palmitic/ethyl palmitate, pentadecanoate และ levulinate methyl ester แสดงว่าเฮกเซนสูงช่วยดึงทั้งกรดไขมันอิสระ เอสเทอร์ และอนุพันธ์เลวูลินิกได้พร้อมกัน เปลือกมีเมทิลเอสเทอร์ของ ALA/linoleic, methyl oleate, ethyl stearate, ethyl heptadecanoate, branched C15:0, lauric acid และทั้ง neophytadiene phytol บ่งชี้บทบาทของเปลือกเป็นแหล่งลิพิดเชิงหน้าที่และสารหอมระเหย

จากงานวิจัยโครงการ การตรวจสอบสารไขมัน และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนในสาหร่ายเศรษฐกิจของ ธนพรรณ เสี่ยงแจ่ม (2564) จากการนำสาหร่ายผักกาดทะเล สาหร่ายโพรง สาหร่ายพวงองุ่น สาหร่ายลิ้นมังกร มาสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ ในอัตราส่วนที่ต่างกัน แล้วนำไปการวิเคราะห์กรดไขมันโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแก๊ส-แมสสเปกโตรเมตรี (Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) ปรากฏว่าได้กรดไขมันที่เหมือนกันดังนี้ Pentadecanoic acid, Palmitic acid, Linoleic acid, Oleic acid, Stearic acid, Myristic acid, Dodecenoic acid, Tetradecanoic acid ในการศึกษาการวิเคราะห์ GC-MS และ HPLC-DAD ของกรดไขมันและพฤษเคมีที่ใช้งานได้ในน้ำมันพืชสกัดเย็น 50 ชนิดในประเทศไทย โดย Yuenyong et al. (2021) วิเคราะห์ GC-MS สำหรับองค์ประกอบของกรดไขมันที่สกัดได้ พบว่ามีกรดไขมันกรดปาล์มติก กรดสเตอริก

กรดโอเลอิก กรดไลโนเลอิก กรดไลโนเลนิก และการศึกษาการประเมินโปรไฟล์กรดไขมันของน้ำมันหรือไขมันโดย GC-MS ผ่านสองวิธีการหาปริมาณ (Evaluation of fatty acid profile of oils/fats by GC-MS through two quantification approaches) ของ Mihai et al. (2019) เมื่อทำการวิเคราะห์กรดไขมันด้วย GCMS แล้วได้สารประกอบไขมันออกมาคือ C12:0 lauric acid, C14:0 myristic acid, C16:0 palmitic acid, C18:0 stearic acid, C18:1n9t elaidic acid, C18:1n9 oleic acid, C18:2n6t linolelaidic acid, C18:2n6 linoleic acid (LA), C18:3n3  $\alpha$ -linolenic acid (ALA), C20:0 arachidic acid และการศึกษาของ ศิริรัตน์ ชาญไววิทย์ และคณะ (2557) เรื่อง การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดและวิเคราะห์กรดไขมันจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงด้วยเทคนิค GC-FID ได้ทำการสกัดกรดไขมันจากตัวอย่างเนื้อในเมล็ดมะม่วง และทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatography-flame ionization detector พบกรดไขมัน Myristic acid (C14:0), Palmitic acid (C16:0), Hexadecatrienoic acid (C16:3n4), Stearic acid (C18:0), Oleic acid (C18:1n9), Linoleic acid (C18:2n6), Octadecatrienoic acid (C18:3n4),  $\alpha$ -Linolenic acid (C18:3n3), Eicosenoic acid (C20:1n9) จากการศึกษาก่อนหน้านี้ข้างต้นให้ชนิดของกรดไขมันที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี GC เหมือนกับงานวิจัยการสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกของสับปะรดสับปะรดปัตตาเวียในครั้งนี้



## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาสรุปได้ว่าการสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกของสับประรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย ที่สกัดด้วย 95% Ethanol : hexane อัตราส่วน 95 : 5 ให้ร้อยละผลผลิตสูงสุด ให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยค่า  $IC_{50-DPPH}$  และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระรวม Total antioxidant capacity ดีที่สุดในเปลือกและจุกของสับประรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย Hexane 5% ให้ผลดีที่สุด เนื่องจากเรื่องความมีไขมันน้อยของสารสกัด การเติม Hexane 5% ลงไปใน 95% Ethanol เป็นการลดความมีไขมันสูงของ 95% Ethanol ให้ต่ำลง ทำให้สารที่มีไขมันสูงถึงไขมันกลางละลายละลายออกมาได้ดีมากขึ้น เช่น สารกลุ่มฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ ที่มีผลทำให้สารสกัดที่สกัดด้วย Hexane 5% มีค่าต้านอนุมูลอิสระทั้งในวิธี DPPH และ Total antioxidant capacity (TAC) มีค่าต้านอนุมูลอิสระที่สูงที่สุดในบรรดาสภาวะการสกัดทั้งหมด และในเปลือกสับประรดจะมีค่าร้อยละผลผลิตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าจุกเพราะ สารอาหารจากจุกเช่น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เอนไซม์ ต่าง ๆ จะไปเลี้ยงผลของสับประรดเพื่อให้ผลของสับประรดเติบโตทำให้สารอาหารที่เคยมีมากในจุกกระจายไปอยู่ตามส่วนของผลสับประรดทั้ง ตา เปลือก เนื้อ แกนของสับประรด

การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS พบสารประกอบไขมันสำคัญที่พบมากที่สุดและพบในทุกสภาวะของการสกัด คือ n-Hexadecanoic acid ซึ่งเป็นไขมันกลุ่มกรดปาล์มิติก (Palmitic acid) พบทั้งในเปลือกและจุกมี average area pct อยู่ในช่วง อยู่ในช่วง 1.5441-22.9163 พบปริมาณสูงที่สุดในจุกที่สกัดด้วย 95% EtOH pure และจุกที่สกัดด้วย Hexane 10% พบน้อยที่สุดในจุกที่สกัดด้วย Hexane 20% สารประกอบไขมันที่พบรองลงมาคือ 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)- (linoleic acid :  $C_{18}H_{32}O_2$ ) เป็นกลุ่มไขมันลิโนเลอิก (linoleic acid) เป็นกลุ่มไขมันไม่อิ่มตัว มีพันธะคู่ 2 ตำแหน่ง เป็นกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมก้า 6 ที่พบมากในน้ำมันพืช พบทั้งในเปลือกและจุกมี average area pct อยู่ในช่วง 3.9697-17.9513 โดยพบในจุกที่สกัดด้วย Hexane 20% มากที่สุด รองลงมาพบในจุกที่สกัดด้วย Hexane 10% และพบน้อยที่สุดในจุกที่สกัดด้วย Hexane 5%. สารประกอบไขมันที่พบรองลงมาเป็นอันดับ 3 คือ 9,12,15-Octadecatrienoic acid, ethyl ester, (Z,Z,Z)- (ethyl  $\alpha$ -linolenate หรือ linolenic acid ethyl ester) เป็นไขมันไม่อิ่มตัว มีพันธะคู่ 3 ตำแหน่ง เป็นไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนแบบโอเมก้า 3 พบทั้งในเปลือกและจุกมี average area pct อยู่

ในช่วง 1.8890- 9.1788 โดยพบมากในเปลือกที่สกัดด้วย Hexane 5% และพบรองลงมาในเปลือกที่สกัดด้วย Hexane 10% พบน้อยที่สุดในจุกที่สกัดด้วย Hexane 5% สารประกอบไขมันอันดับที่ 4 ที่พบอีกตัวในการสกัดทุกสภาวะและพบทั้งในจุกและเปลือก คือ 9,12,15-Octadecatrienoic acid, (Z,Z,Z)- หรือเรียกว่า Alpha linolenic acid (ALA) มี average area pct อยู่ในช่วง 1.6680 - 7.2581 โดยพบมากในจุกที่สกัดด้วย Hexane 20% และพบรองลงมาในเปลือกที่สกัดด้วย Hexane 20% พบน้อยในจุกที่สกัดด้วย Hexane 5% จากสารประกอบกรดไขมันที่ได้เราได้จากสารสกัดเปลือกและจุกสับปะรด กลุ่มกรดไขมันไม่อิ่มตัวเช่นโอเมก้า 3,6,9 สามารถใช้เป็นสารออกฤทธิ์ในผลิตภัณฑ์อื่นได้ และเครื่องสำอางได้โดยใช้เป็น Active ในเครื่องสำอางได้เช่น นำมาใส่ในครีมบำรุงมาส์กหน้าเพื่อช่วยลดอักเสบของผิวหนัง ช่วยให้ผิวกระจ่างใส เสริม skin barrier ลดการสูญเสียน้ำทำให้ผิวแข็งแรง ลดการเป็นผื่นแพ้ผิวหนังจากผิวหนังอักเสบได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการเก็บเกี่ยวตัวอย่างมาทำการศึกษาอาจจะต้องคำนึงถึงแหล่งที่ใช้ในการเพาะปลูก สภาพอากาศ ดิน น้ำ ที่ใช้ในการปลูก ฤดูกาลหรือช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว เพราะพืชที่ปลูกในแหล่งที่ต่างกันไป เก็บเกี่ยวในเวลาต่างกัน อาจจะส่งผลต่อชนิด ปริมาณของสารประกอบต่าง ๆ รวมถึงสารประกอบไขมันในพืชนั้นได้

5.2.2 การศึกษาในครั้งนี้ใช้เทคนิคการสกัดด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกและใช้ตัวทำละลาย 95%เอทานอลกับ Hexane ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ซึ่งยังสามารถใช้เทคนิคการสกัดอื่น ๆ เลือกใช้ตัวทำละลายชนิดอื่น ๆ ที่แตกต่างกันไป หรือความเข้มข้นอื่น ๆ ในการศึกษาเพิ่มเติมได้

5.2.3 จากการวิเคราะห์สารประกอบไขมันด้วยวิธี GC/MS จากการศึกษาในครั้งนี้จะได้ชนิดของไขมันออกมา แต่ไม่ทราบปริมาณไขมันที่แน่นอน ซึ่งอาจไม่เพียงพอที่จะอธิบายผลที่ได้จากการศึกษา

## รายการอ้างอิง

- ดวงเพ็ญ ปัทมดิลก. (2566). กระบวนการเตรียมสารสกัดสมุนไพร. *วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก*, 21(3), 688-702.
- ไทยเซ็นทรัลเคมี. (2566). ทำความรู้จักกับสับปรดในประเทศไทย “พืชเศรษฐกิจที่หลายคนมองข้าม. <https://kasettemsood.com>
- ชนพรรณ เสียงแจ่ม. (2564). *โครงการ การตรวจสอบสารไขมัน และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนในสาหร่ายเศรษฐกิจ (Screening for lipids and polyunsaturated fatty acids from the economic seaweed). โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 (หน้า 10-39).* มหาวิทยาลัยบูรพา.
- บริษัท ไวส์พลัสโกร จำกัด. (2 สิงหาคม 2567). *เผยความลับพลิกผิวคล้ำ เสียสู่วิวชาวกระจ่างใสด้วยสารสกัดจากสับปรดที่หลายคนไม่เคยรู้มาก่อน.* <https://wiseplusgrow.com/blog>
- ปฎิวิทย์ ลอยพิมาย, ทิพรัักษ์ วงชาติ และแพรว จงรวมกลาง. (2563). การสกัดรำข้าวด้วยน้ำมันพืชบริโภคได้เพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำมัน (Rice Bran Extraction Using Edible Vegetable Oils Improves Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Oil Extracts). *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 25(3), 893-997.
- ฟาร์ม่าบิวตี้แคร์. (25 กรกฎาคม 2565). *โครงสร้างผิวหนึ่ง.* <https://www.pharmabeautycare.com/content>
- รุ่งโรจน์ ศรีภูมิ. (2558). *การประยุกต์ใช้อัลตราซาวด์ในการช่วยสกัดไขมันจากสาหร่ายและแนวทางการนำสาหร่ายหลังการสกัดมาใช้ประโยชน์ (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต).* จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรารณณ์ รัชมีเษกาย. (2563). การทดสอบหาชนิดของกรดไขมันในน้ำมันพืชและไขมันสัตว์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี. *วารสารวิชาการ ปชมท.*, 9(3), 51-62.
- ศิริรัตน์ ชาญไวยวิทย์, อภินทร์พร ทวีพรกุลพัฒน์, ปิยะวรรณ ศรีวิลาศ และสุนันทา ว่างานต์. (2557). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและวิเคราะห์กรดไขมันจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงด้วยเทคนิค GC-FID ใช้คอลัมน์ DB-225 ความยาว 20 เมตร. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6 วันที่ 20 – 21 มีนาคม พ.ศ. 2557 (หน้า 365-379).* มหาวิทยาลัยบูรพา.

สับปะรด. (19 กุมภาพันธ์ 2568). ใน *วิกิพีเดีย*.

<https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%9B%E0%B8%B0%E0%B8%A3%E0%B8%94>

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559). *สถิติการเกษตร ปี 2559*.

[http://www.agriinfo.doae.go.th/year59/plant/april59/short/pineapple.pdf?utm\\_source=perplexity](http://www.agriinfo.doae.go.th/year59/plant/april59/short/pineapple.pdf?utm_source=perplexity)

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2565). *อพงเดทมูลค้ำ ~24,000 ล้านบาท ลัดส่วนส่งออก 52.3%*.

<http://web.oae.go.th>

อัครเกียรติ พวงแสง และศุภกาญจน์ รัตนกร. (2563). การสกัดสารออกฤทธิ์ชีวภาพจากรำข้าวโดยการให้ความร้อนแบบไฮโดรเทอร์มอล ร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราซาวด์. ใน *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 21* (หน้า 1-8), วันที่ 27 มีนาคม 2563. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Ahmad, A., & Ahsan, H. (2020). Lipid-based formulations in cosmeceuticals and biopharmaceuticals. *Biomedical Dermatology*, 4(1), 12.

Aili, H. A. F., Hamzah, M. H., Che Man, H., Jamali, N. S., Siajam, S. I., & Ismail, M. H. (2021). Recent updates on the conversion of pineapple waste (*Ananas comosus*) to value-added products, future perspectives and challenges. *Agronomy*, 11(11), 2223.

Akoh, C. C. (2017). *Food lipids: chemistry, nutrition, and biotechnology*. CRC press.

Alghoul, A. M., & Alwardat, S. A. (2024). Essential oil composition and antioxidant activity of fresh and air-dried *Cynara cardunculus* L. grown wild in Jordan. *African Journal of Biomedical Research*, 27(3 Suppl.), 3194–3199.

Api, A. M., Belsito, D., Bruze, M., Cadby, P., Calow, P., Dagli, M. L., . . . Wilcox, D. K. (2015). Criteria for the Research Institute for fragrance materials, Inc.(RIFM) safety evaluation process for fragrance ingredients. *Food and Chemical Toxicology*, 82, S1-S19.

Api, A. M., Belsito, D., Botelho, D., Bruze, M., Burton Jr, G. A., Buschmann, J., . . . Tsang, S. (2019). RIFM fragrance ingredient safety assessment, ethyl levulinate, CAS Registry Number 539-88-8. *Food Chem. Toxicol*, 127, S48-S54.

- Astrup, A., Bertram, H. C., Bonjour, J.-P., de Groot, L. C. P. G. M., Ebrahim, S., Micha, R., . . . Sandøe, P. (2014). Concerns about the use of 15:0, 17:0, and trans-16:1n-7 as biomarkers of dairy fat intake in observational studies. *American Journal of Clinical Nutrition*, *100*(1), 3–5.
- Ataman Chemical. (2009a). *Eicosanoic acid (arachidic acid) – Properties and occurrence*. Ataman Kimya. [https://www.atamanchemicals.com/eicosanoic-acid\\_u32528/atamanchemicals](https://www.atamanchemicals.com/eicosanoic-acid_u32528/atamanchemicals)
- Ataman Chemical. (2009b). *C16 palmitic acid*. Ataman Kimya. [https://www.atamanchemicals.com/c16-palmitic-acid\\_u29185/](https://www.atamanchemicals.com/c16-palmitic-acid_u29185/)
- Ataman Chemical. (2009c). *Isopropyl myristate (IPM) – Properties and cosmetic uses*. Ataman Kimya. [https://www.atamanchemicals.com/isopropyl-myristate-ipm\\_u31724/](https://www.atamanchemicals.com/isopropyl-myristate-ipm_u31724/).
- Ataman Chemical. (2024). *Lauric acid – Properties and applications*. Ataman Kimya. [https://www.atamanchemicals.com/lauric-acid\\_u24807/](https://www.atamanchemicals.com/lauric-acid_u24807/)
- Belsito, D. V., Hill, R. A., Klaassen, C. D., Liebler, D., Marks, J. G., Jr., Shank, R. C., . . . Snyder, P. W. (2017). Safety assessment of alkyl esters as used in cosmetics. *International Journal of Toxicology*, *36*(Suppl. 1), 5S–16S.
- Bora, H., Kamle, M., Chopra, S., & Kumar, P. (2022). Evaluation of phytochemical composition, antioxidant properties, and antibacterial potential of *Coptis teeta* Walls. *Specialty Journal of Pharmacognosy, Phytochemistry, and Biotechnology*, *2*, 32–42. <https://doi.org/10.51847/YImZ2YycQy>
- Boukhari, M., Haftek, M., & Duplan, H. (2022).  $\alpha$ -Linolenic acid and linoleic acid modulate the lipidome and the skin barrier of a tissue-engineered skin model. *Experimental Dermatology*, *31*(3), 343–353.
- Brouwer, I. A., Wanders, A. J., & Katan, M. B. (2014). Effect of  $\alpha$ -linolenic acid on cardiovascular disease in humans: A review of the evidence. *Progress in Lipid Research*, *53*, 60–69.
- Brunet, A. (2023, May 8). *Mediterranean diet's cellular effects revealed*. Stanford Medicine News. <https://med.stanford.edu/news/all-news/2023/05/mediterranean-diet-fat.html>

- Burdock, G. A., & Carabin, I. G. (2007). Safety assessment of myristic acid as a food ingredient. *Food and Chemical Toxicology*, 45(5), 517–529.
- Burdock, G. A. (2016). *Fenaroli's handbook of flavor ingredients*. CRC press.
- Cao, Y., Kanta, J. M., Bishop, C. A., Kiens, B., Fritzen, A. M., & Kleinert, M. (2025). Dietary medium-chain triacylglycerols in metabolic regulation. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 2025.
- Carta, G., Murru, E., Banni, S., & Manca, C. (2017). Palmitic acid: Physiological role, metabolism and nutritional implications. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(6), 1234. <https://doi.org/10.3390/ijms18061234>
- Carvalho, A. M. S., Pereira, E. W. M., de Santana Souza, M. T., de Anjos, R. S., da Silva, D. G., Santana, M. B., . . . Guimarães, A. G. (2020). Phytol, a chlorophyll component, produces antihyperalgesic, anti-inflammatory, and antiarthritic effects: Possible NF- $\kappa$ B pathway involvement. *Journal of Natural Products*, 83(3), 761–772.
- Central Laboratory of Thai FDA. (2015). *Flavoring agents as food additives*. Central Laboratory and Scientific Standard Office. <https://www.centrallabthai.com/index.php/th/download/send/8-99-japan/56-flavor2003aug-e>
- ChemicalBook. (2025, January 12). *Myristic acid: Description, preparation method and main application*. <https://www.chemicalbook.com/article/myristic-acid-description-preparation-method-and-main-application.htm>
- Chemimpex. (2024, July 29). *Petroselinic acid*. <https://www.chemimpex.com/products/39042>
- Christie, W. W., & Han, X. (2011). Structural characterization of saturated branched chain fatty acid methyl esters by collisional dissociation of molecular ions. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 22(4), 655–669.
- Christie, W. W., & Han, X. (2018). *Lipid analysis: Isolation, separation, identification and lipidomic analysis* (4th ed.). Woodhead Publishing.
- Ciesielski, V., Legrand, P., Blat, S., & Rioux, V. (2024). New insights on pentadecanoic acid with special focus on its controversial essentiality: A mini-review. *Biochimie*, 227, 123-129.

- CIR Expert Panel. (2018). *Safety assessment of triglycerides and related fatty acid ingredients as used in cosmetics (includes myristic acid and esters)*. Cosmetic Ingredient Review. <https://www.cir-safety.org/sites/default/files/trygly122017FAR.pdf>.
- Ciriminna, R., Pandarus, V., & Pagliaro, M. (2022). Triglycerides of medium-chain fatty acids: A concise review. *Chemistry & Biodiversity*, 19(7), e202200098.
- Cosmetic Ingredient Review Expert Panel. (2018). *Safety assessment of fatty acids and fatty acid salts*. <https://www.cir-safety.org/sites/default/files/Fatty%20Acids.pdf>
- Cosmetic Ingredient Review. (2019). *Safety assessment of fatty acids and fatty acid salts*. <https://www.cir-safety.org/sites/default/files/Fatty%20Acids.pdf>
- Curology. (2023, October 1). *What is linoleic acid and how can it help your skin?* <https://curology.com/blog/linoleic-acid-in-skincare-the-essential-fatty-acid-you-need-for-clearer/curology>
- Cymit Quimica. (2019). *CAS 1191 41 9: Ethyl linolenate*. <https://cymitquimica.com/cas/1191-41-9/cymitquimica>
- Dasgupta, N., & De, B. (2004). Antioxidant activity of *Piper betle* L. leaf extract *in vitro*. *Food Chemistry*, 88(2), 219-224. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.031>
- de Goede, J., Geleijnse, J. M., Boer, J. M. A., Kromhout, D., & Verschuren, W. M. M. (2014). Intake of alpha-linolenic acid and risk of coronary heart disease and stroke in 20,000 middle-aged men and women in the Netherlands. *PLoS ONE*, 9(3), e91199.
- de Souza, R. J., Mente, A., Maroleanu, A., Cozma, A. I., Ha, V., Kishibe, T., . . . Anand, S. S. (2015). Intake of saturated and trans unsaturated fatty acids and risk of all cause mortality, cardiovascular disease, and type 2 diabetes: Systematic review and meta-analysis of observational studies. *BMJ (Clinical Research ed.)*, 351, h3978. <https://doi.org/10.1136/bmj.h3978>

- Duraisamy, P., Angusamy, A., Ravi, S., Krishnan, M., Martin, L. C., Manikandan, B., . . .  
Ramar, M. (2024). Phytol from *Scoparia dulcis* prevents NF- $\kappa$ B-mediated inflammatory responses during macrophage polarization. *3 Biotech*, *14*, 80.
- Durrett, T. P., Matringe, M., & Fox, B. G. (2021). The tail of chlorophyll: Fates for phytol. *Journal of Biological Chemistry*, *296*, 100123.
- EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). (2017). Re-evaluation of fatty acids (E 570) as a food additive. *EFSA Journal*, *15*(5), e04785. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4785>efsa.europa
- Estruch, R., Ros, E., Salas-Salvadó, J., Covas, M. I., Corella, D., Arós, F.,  
Martínez-González, M. A. (2014). Primary prevention of cardiovascular disease with a Mediterranean diet supplemented with extra-virgin olive oil or nuts. *New England Journal of Medicine*, *370*(15), 1277–1290.
- European Commission – COSING. (2023). *Cosmetic ingredients database (COSING): Heptadecanoic acid, ethyl ester*. European Commission.
- Fattore, E., & Fanelli, R. (2010). Palmitic acid-induced cell death in the human leukemic cell line HL-60: Protective role of albumin-bound unsaturated fatty acids. *Nutrition Research*, *30*(3), 213-219.  
<https://doi.org/10.1016/j.nutres.2010.01.004>
- FDA. (2012). *Substances added to food (EAFUS): Isopropyl myristate*. U.S. Food and Drug Administration. <https://hfpappexternal.fda.gov/scripts/fdcc/index.cfm?set=FoodSubstances&id=ISOPROPYLMYRISTATE>
- FEMA Expert Panel. (1999). *GRAS flavoring substances (Substances 3526–3596)*. Flavor and Extract Manufacturers Association. [https://www.femaflavor.org/sites/default/files/11.%20GRAS%20Substances%20\(3526-3596\).pdf](https://www.femaflavor.org/sites/default/files/11.%20GRAS%20Substances%20(3526-3596).pdf)
- Fieser, L. F., Fieser, M., & Hershberg, E. B. (1939). The synthesis of vitamin K1. *Journal of the American Chemical Society*, *61*(6), 1597–1606.
- Frankel, E. N., Evans, C. D., McConnell, D. G., Selke, E., & Dutton, H. J. (1961). Autoxidation of Methyl Linolenate. Isolation and Characterization of Hydroperoxides<sup>2</sup>. *The Journal of Organic Chemistry*, *26*(11), 4663-4669.

- Frega, N., Mozzon, M., & Bocci, F. (1999). Identification and estimation of rancid oil oxidation products by high performance liquid chromatography equipped with thin-layer chromatography-flam ionization detection. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(7), 739-744.
- FSANZ (Food Standards Australia New Zealand). (2018). *Application A1015 – Ethyl lauroyl arginate as a food additive – Approval report*. FSANZ. <https://www.foodstandards.gov.au>.
- Giosuè, A., Calabrese, I., Vitale, M., Riccardi, G., & Vaccaro, O. (2021). Dietary intake and biomarkers of alpha linolenic acid and risk of all cause, cardiovascular, and cancer mortality: Systematic review and dose-response meta-analysis of cohort studies. *BMJ*, 375, n2213.
- González-Rivera, M. L., Pérez-González, M., Cerón-Carrasco, J. P., Martínez-Galán, J. R., García-Benayas, C., Durán-Hernández, J. G., & Barcia, J. A. (2023). In vivo neuropharmacological effects of neophytadiene. *Molecules*, 28(8), 3481.
- Hajib, A., El Harkaoui, S., Choukri, H., Khouchlaa, A., Aourabi, S., El Menyiy, N., . . . Matthaeus, B. (2023). Apiaceae family an important source of petroselinic fatty acid: Abundance, biosynthesis, chemistry, and biological proprieties. *Biomolecules*, 13(11), 1675.
- Hayes, G. C., & Becer, C. R. (2020). Levulinic acid: A sustainable platform chemical for novel polymer architectures. *Polymer Chemistry*, 11(25), 4068-4077.
- Henry, P., Owopetu, O., Adisa, D., Nguyen, T., Anthony, K., Ijoni-Animadu, D., . . . Saleh, M. A. (2016). Fatty acids composition of *Caenorhabditis elegans* using accurate mass GCMS-QTOF. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 51(8), 546-552.
- Humaryanto, H., Sari, N. P., & Pratama, Y. (2023). Analisis GC-MS minyak atsiri dan uji antioksidan kulit jeruk manis (*Citrus sinensis* L.) sebagai bahan lip balm. *Journal of Pharmaceutical and Health Research*, 5(1), 45-56. <https://doi.org/10.47134/jharma.v5i1.4850>

- Islam, M. T., Ali, E. S., Uddin, S. J., Shaw, S., Islam, M. A., Ahmed, M. I., . . . Mubarak, M. S. (2018). Phytol: A review of biomedical activities. *Toxicology*, *402–403*, 1–13.
- Jeanmard, L., Rongwong, W., & Chisti, Y. (2025). Biomass-derived levulinic acid as a platform chemical for fuels and chemicals. *Bioresource Technology Reports*, *25*, 101–123.
- Johnson, W., & Cosmetic Ingredient Review Expert Panel. (2010). Final report of the amended safety assessment of myristic acid and related ingredients. *International Journal of Toxicology*, *29*(Suppl. 6), 385–775.
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. (2009). *Evaluation of certain food additives: Sixty-ninth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*. WHO Technical Report Series No. 952. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44065>
- Kedir, W. M., Geletu, A. K., Weldegirum, G. S., & Sima, M. F. (2023). Antioxidant activity of selected plants extract for palm oil stability via accelerated and deep frying study. *Heliyon*, *9*(7), e17980. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17980>.
- Khan, N. A. (1954). A new concept on the mechanism of autoxidation of methyl oleate, linoleate, and linolenate. *Canadian Journal of Chemistry*, *32*(10), 1145–1154.
- Kim, M., Park, H., & Lee, J. (2017). Ethyl linoleate inhibits  $\alpha$ -MSH-induced melanogenesis through Akt/GSK-3 $\beta$ / $\beta$ -catenin signaling in B16F10 melanoma cells. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, *27*(12), 2227–2235.
- Kumar, S. S., Manasa, V., Tumaney, A. W., BK, B., Chaudhari, S. R., & Giridhar, P. (2020). Chemical composition, nutraceuticals characterization, NMR confirmation of squalene and antioxidant activities of *Basella rubra* L. seed oil. *RSC advances*, *10*(53), 31863–31873. <https://doi.org/10.1039/d0ra06048h> PMID: 35518177; PMCID: PMC9056543.
- Kumarathasan, R., Rajkumar, A. B., Hunter, N. R., & Gesser, H. D. (1992). Autoxidation and yellowing of methyl linolenate. *Progress in lipid research*, *31*(2), 109–126.

- Lafraxo, S., El Moussaoui, A., A bin Jordan, Y., El Barnossi, A., Chebaibi, M., Baammi, S., . . . Bari, A. (2022). GC-MS profiling, in vitro antioxidant, antimicrobial, and in silico NADPH oxidase inhibition studies of essential oil of *Juniperus thurifera* bark. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022, Article 6305672.
- Loizzo, M. R., Tundis, R., Bonesi, M., Di Sanzo, G., Verardi, A., Lopresto, C. G., . . . Calabrò, V. (2016). Chemical profile and antioxidant properties of extracts and essential oils from *Citrus × limon* (L.) Burm. cv. Femminello Comune. *Chemistry & Biodiversity*, 13(5), 571–581.
- Masoodi, M., Kuda, O., Rossmeisl, M., Flachs, P., & Kopecky, J. (2015). Lipid signaling in adipose tissue: Connecting inflammation and metabolism. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1851(4), 503–518.
- Matsue, M., Mori, Y., Nagase, S., Sugiyama, Y., Hirano, R., Ogai, K., . . . Okamoto, S. (2019). Measuring the antimicrobial activity of lauric acid against various bacteria in human gut microbiota using a new method. *Cell transplantation*, 28(12), 1528-1541.
- Mayo Clinic. (2023, July 14). *Mediterranean diet for heart health*. <https://www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle/nutrition-and-healthy-eating/in-depth/mediterranean-diet/art-20047801>
- McCarty, M. F., & DiNicolantonio, J. J. (2016). Lauric acid-rich medium-chain triglycerides can substitute for other oils in cooking applications and may have limited pathogenicity. *Open heart*, 3(2).
- Medical News Today. (2023, June 12). *What is stearic acid? Benefits, side effects, and use*. <https://www.medicalnewstoday.com/articles/stearic-acidmedicalnewstoday>.
- Meena, L., Sengar, A. S., Neog, R., & Sunil, C. K. (2022). Pineapple processing waste (PPW): bioactive compounds, their extraction, and utilization. *Journal of Food Science and Technology*, 59(11), 4152–4164.

- Mihai, A. L., Negoită, M. I. O. A. R. A., & Belc, N. A. S. T. A. S. I. A. (2019). Evaluation of fatty acid profile of oils/fats by GC-MS through two quantification approaches. *Romanian Biotechnological Letters*, 24(6), 973-985. <https://doi.org/10.25083/rbl/24.6/973.985>.
- Molnova. (2023). *Ethyl icosanoate (M37493) – Product description*. <https://www.molnova.com/en/ProductsThr/M37493.html>
- Moyer, R. A., Hummer, K. E., Finn, C. E., Frey, C., & Wrolstad, R. E. (2002). Analysis of anthocyanins and other total phenolic concentrations in wild bilberry (*Vaccinium membranaceum* L.) populations on western Vancouver Island. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(14), 3886-3891. <https://doi.org/10.1021/jf011363g>
- Musim Mas. (2025, April 6). *The essential guide to stearic acid*. <https://www.musimmas.com/resources/blogs/stearic-acid-uses-benefits-safety/musimmas>
- Nakatsuji, T., Kao, M. C., Zhang, L., Zouboulis, C. C., Gallo, R. L., & Huang, C.-M. (2009). Antimicrobial property of lauric acid against *Propionibacterium acnes*: Its therapeutic potential for inflammatory acne vulgaris. *Journal of Investigative Dermatology*, 129(10), 2480–2488.
- Neopharm. (2015). Zeroid Skin Barrier. <http://zeroid.com/main/brand.asp?cate=272&Pcate=267&Mcate=269>
- Nutraceutical Business Review. (2021, December 31). *Exploring the role of coriander seed oil supplementation for skin and metabolic health*. <https://nutraceuticalbusinessreview.com/exploring-the-role-of-coriander-seed-oil-supplementation>
- Orodu, V. E., & Akpedi, I. (2021). Extraction and GC-MS analysis of oil extracted from pineapple (*Ananas comosus*) peels. *Mod. Phys. Chem. Res*, 1, 1-8.
- Orodu, V., E., & Inengite, A., K. (2018). Extraction and physicochemical analysis of oil extracted from pineapple (*Ananas comosus*) peels. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 7(18),154-166.

- Patel, N., Kalnbalkite, A., & Blumberga, D. (2021). An analysis of the extraction technologies: Fruit peel waste. *Environmental and Climate Technologies*, 25(1), 666–675.
- PishroChem. (2025, February 15). *Is stearic acid dangerous? Safety review and usage guidelines*. <https://www.pishrochem.com/blog/en/is-stearic-acid-dangerous-safety-review-and-usage-guidelines/pishrochem>
- Pngegg. (n.d.). *Lipid bilayer*. <https://www.pngegg.com/th/png-vnuge>
- Polymer Books. (2022). *Ethyl icosanoate – Flavor and fragrance application note*. <https://www.polymer-books.com/shop/chem5sk4509-ethyl-icosanoate-160424polymer-books>.
- Pradabsang, C., Saengwiman, S., Srisawat, S., & Yipong, I. (2023). Solvent Optimization of Pitang Leaves (*Gynochthodes sublancoolata* Miq.) Extraction for Bacterial Growth Inhibition. *Journal of Life Science Agriculture and Technology*, 2(1), 9–23. <https://li04.tci-thaijo.org/index.php/psj/article/view/1152>
- Pranger, Y. L., Jongejan, N. J., Muskiet, F. A. J., & van der Vegt, B. W. (2019). Potential biomarkers for fat from dairy and fish and their inverse association with blood pressure in moderately hypercholesterolemic men and women. *Nutrients*, 11(5), 1116. <https://doi.org/10.3390/nu11051116pubmed.ncbi.nlm.nih>
- Prasathkumar, M., Hayath Basha, M., Selvakumar, B., & Ramalingam, R. (2022). Anti-pathogenic, anti-diabetic, anti-inflammatory, antioxidant, and wound healing efficacy of *Datura metel* L. leaf extracts. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(9), 104104.
- Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: Specific application to the determination of vitamin E. *Analytical Biochemistry*, 269(2), 337–341. <https://doi.org/10.1006/abio.1999.4019>
- PubChem. (2025a). *Ethyl arachidate*. National Library of Medicine. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ethyl-arachidatepubchem.ncbi.nlm.nih>
- PubChem. (2025b). *Isopropyl myristate*. National Library of Medicine. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Isopropyl-Myristate>

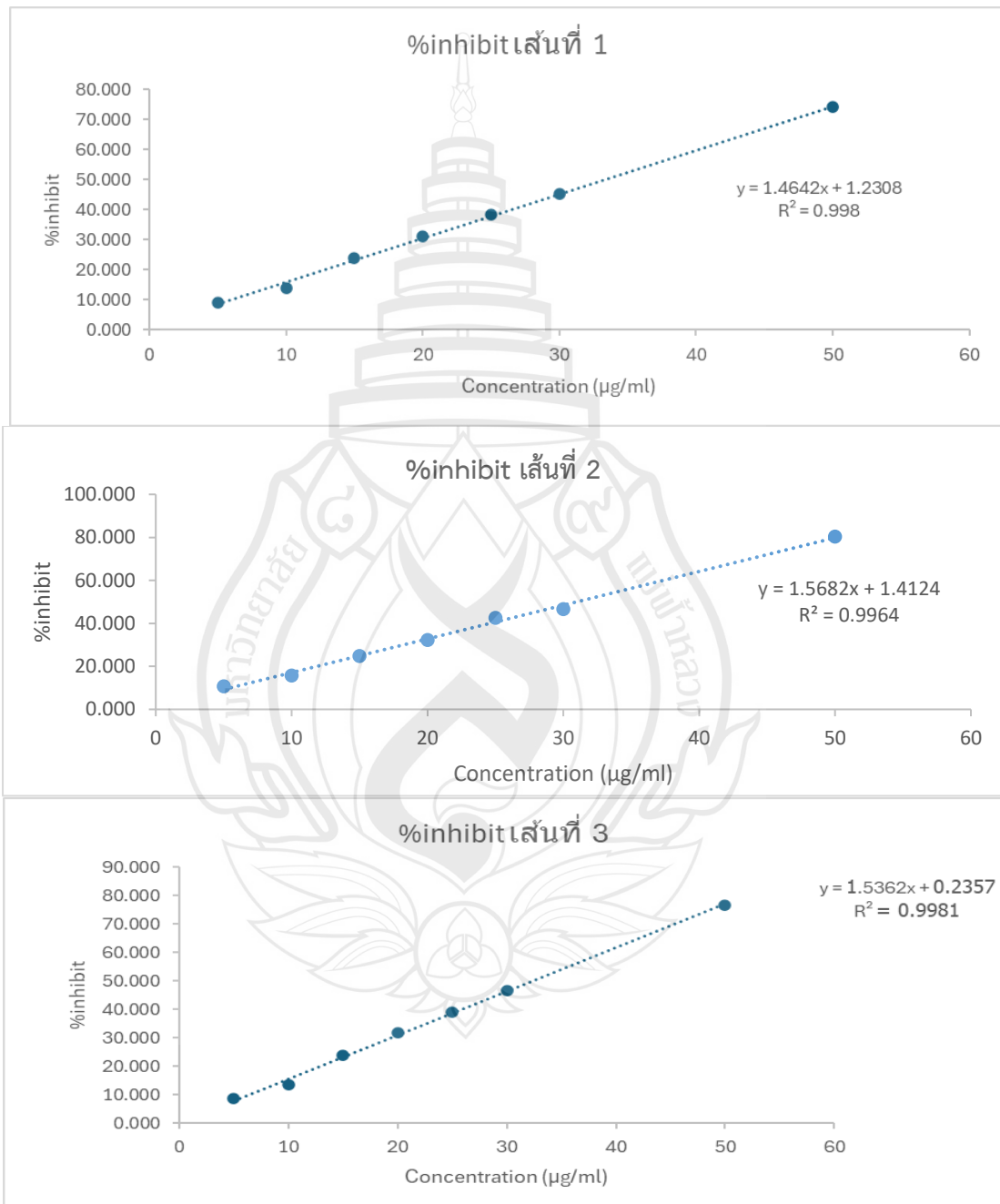
- PubChem. (2025c). *Methyl levulinate*. National Library of Medicine.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Methyl-levulinate>
- Rajeswaran, S., & Rajan, D. K. (2025). Neophytadiene: Biological activities and drug development prospects. *Phytomedicine*, *143*, 156872.
- Ramluckan, K., Moodley, K. G., & Bux, F. (2014). An evaluation of the efficacy of using selected solvents for the extraction of lipids from algal biomass by the soxhlet extraction method. *Fuel*, *116*, 103-108.
- Rustic Strength. (2024). *What is stearic acid and what does it do in products?* <https://rusticstrength.com/blogs/ingredients/what-is-stearic-acid-and-what-does-it-do-in-products>
- Santaren, I. D., Watkins, S. M., Liese, A. D., Wagenknecht, L. E., Rewers, M. J., Haffner, S. M., . . . Hanley, A. J. (2014). Serum pentadecanoic acid (15: 0), a short-term marker of dairy food intake, is inversely associated with incident type 2 diabetes and its underlying disorders. *The American journal of clinical nutrition*, *100*(6), 1532-1540.
- Shams, K. A., Abdel-Azim, N. S., Tawfik, W. A., Hassanein, H. D., Saleh, M. A., & Hammouda, F. M. (2015). Green extraction techniques: Effect of extraction method on lipid contents of three medicinal plants of Apiaceae. *J. Chem. Pharm. Res.*, *7*(4), 1080-1088.
- Shimadzu Corporation. (2016). *Determination of FAME content in palm oil biodiesel by GC-FID using methyl heptadecanoate as internal standard (Application note APC108006)*. [https://www.shimadzu.com/an/sites/shimadzu.com.an/files/pim/pim\\_document\\_file/applications/application\\_note/12570/apc108006.pdf](https://www.shimadzu.com/an/sites/shimadzu.com.an/files/pim/pim_document_file/applications/application_note/12570/apc108006.pdf)  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27111111/>
- Sigma-Aldrich. (2024, December 31). *Methyl heptadecanoate certified reference material, TraceCERT*.  
<https://www.sigmaaldrich.com/US/en/product/sial/90606clinikally>.
- Smith, R. L., Waddell, W. J., Cohen, S. M., Feron, V. J., Marnett, L. J., Portoghese, P. S., . . . Williams, M. C. (2009). Gras flavoring substances 24. *Food Technology*, *63*(6), 46-62.

- Sytheon. (2024, July 31). *Synovea EL (Ethyl linoleate)*.  
<https://sytheonltd.com/synovea-el/sytheonltd>
- Teng, H., Chen, L., Huang, Q., Wang, J., Lin, Q., Liu, M., . . . Song, H. (2016). Ultrasonic-assisted extraction of raspberry seed oil and evaluation of its physicochemical properties, fatty acid compositions and antioxidant activities. *PLoS One*, *11*(4), e0153457. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153457>
- Tessema, B. T., Desta, E. A., & Kim, H. W. (2017). Phytochemical investigation and evaluation of the in vitro antioxidant activity of Furfuryl Cers extracts from rice husks. *Journal of Food Science and Nutrition Research*, *4*(2), 123-131. <https://doi.org/10.26502/jfsnr.2642-11000023>
- The American Oil Chemists' Society (AOCS). (1992). *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS*. <https://www.aocs.org/attain-lab-services/methods/methods/search-results?method=Ca+5a-40>
- The Good Scents Company. (2018, October 8). *Methyl levulinate, 624-45-3*. <https://www.thegoodscentscompany.com/data/rw1046941.html>.
- Tiong, Y. W., Yap, C. L., Gan, S., & Yap, W. S. P. (2018). Conversion of biomass and its derivatives to levulinic acid and levulinate esters. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, *57*(20), 6959–6991.
- Toledo, E., Wang, D. D., Ruiz-Canela, M., Clish, C. B., Razquin, C., Zheng, Y., . . . Hu, F. B. (2017). Can changes in the plasma lipidome help explain the cardiovascular benefits of the Mediterranean diet? *American Journal of Clinical Nutrition*, *106*(6), 1230–1240.
- Valdés García, A., Domingo Martínez, M. I., Ponce Landete, M., Prats Moya, M. S., & Beltrán Sanahuja, A. (2021). Potential of Industrial Pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merrill) By-Products Aromatic and Antioxidant Sources. *Antioxidants (Basel)*, *10*(11), 1767.
- Venn-Watson, S., & Schork, N. J. (2023). Pentadecanoic acid (C15: 0), an essential fatty acid, shares clinically relevant cell-based activities with leading longevity-enhancing compounds. *Nutrients*, *15*(21), 4607. <https://doi.org/10.3390/nu15214712>

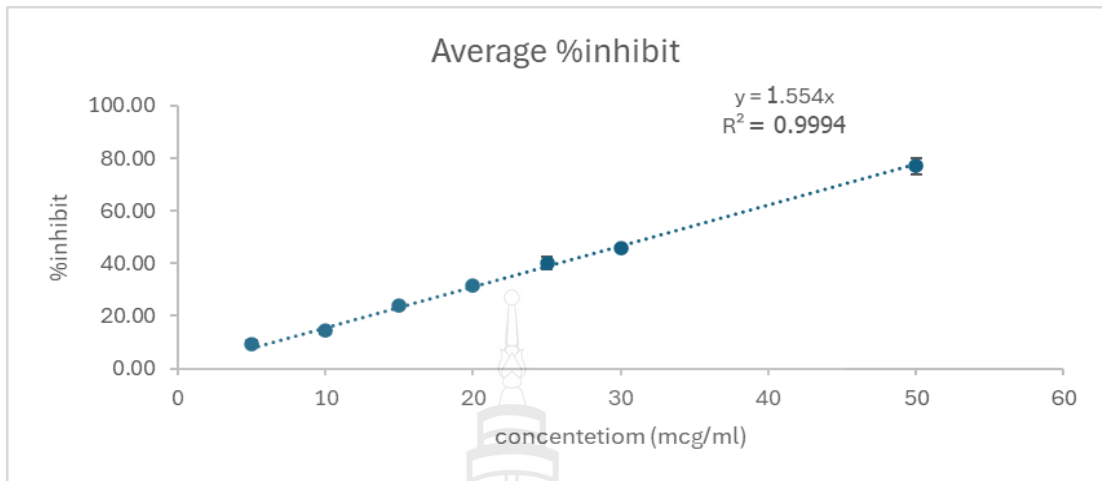
- Venn-Watson, S., Lumpkin, R., & Dennis, E. A. (2020). Efficacy of dietary odd-chain saturated fatty acid pentadecanoic acid parallels broad associated health benefits in humans: could it be essential?. *Scientific reports*, *10*(1), 8161. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64960-y>
- Wang, G., Jia, X. J., Song, B. B., Li, R., Liu, X. F., Chen, J. P., Zhong, S. Y., & Zhou, H. K. (2022). Extraction Optimization, UHPLC-Triple-TOF-MS/MS Analysis and Antioxidant Activity of Ceramides from Sea Red Rice Bran. *Foods* *2022*, *11*(10), 1399.
- Wang, X., Jia, Y., & He, H. (2024). The role of linoleic acid in skin and hair health: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, *26*(1), 246.
- Williams, A. C., & Barry, B. W. (2012). Penetration enhancers. *Advanced drug delivery reviews*, *64*, 128-137.
- Wishart, D. S., Feunang, Y. D., Marcu, A., Guo, A. C., Liang, K., Vázquez-Fresno, R., . . . Scalbert, A. (2018). HMDB 4.0: The Human Metabolome Database for 2018. *Nucleic Acids Research*, *46*(D1), D608–D617.
- Xenex Labs. (2024, September 15). *Ethyl oleate liquid FCC*. <https://www.xenexlabs.com/products/ethyl-oleate-liquid-fcc>
- Yakoob, M. Y., Shi, P., Willett, W. C., Rexrode, K. M., Campos, H., Orav, E. J., & Mozaffarian, D. (2017). Circulating biomarkers of dairy fat and risk of incident cardiovascular disease and all-cause mortality. *Current Opinion in Lipidology*, *28*(1), 30–35.
- Yuenyong, J., Pokkanta, P., Phuangsaichai, N., Kittiwachana, S., Mahatheeranont, S., & Sookwong, P. (2021). GC-MS and HPLC-DAD analysis of fatty acid profile and functional phytochemicals in fifty cold-pressed plant oils in Thailand. *Helijon*, *7*(2).
- Zheng, J.-S., Marklund, M., Wu, J. H. Y., Imamura, F., del Gobbo, L. C., Fretts, A., . . . Micha, R. (2021). Biomarkers of dairy fat intake, incident cardiovascular disease, and all-cause mortality: A meta-analysis of prospective cohort studies. *PLOS Medicine*, *18*(9), e1003763.

## ภาคผนวก ก

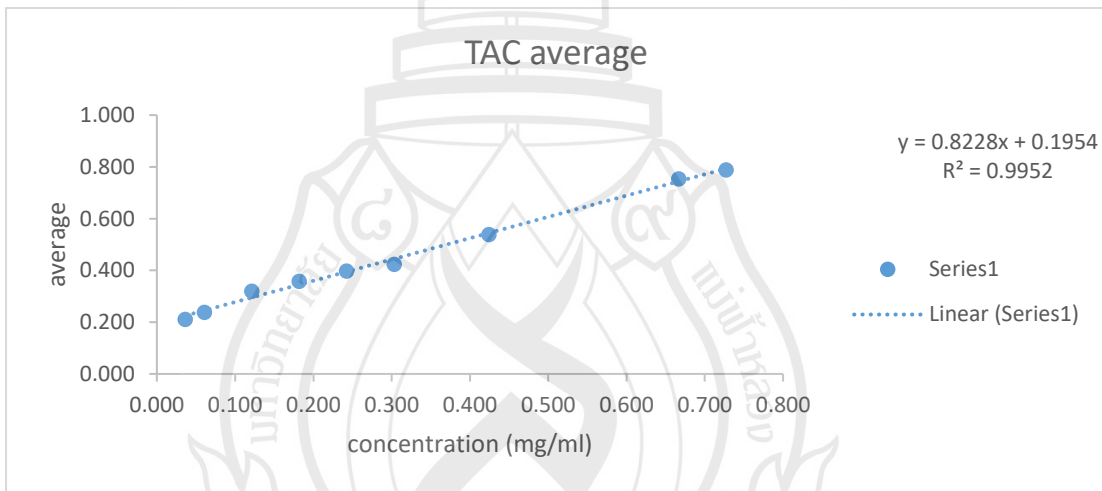
## กราฟมาตรฐานของสารมาตรฐาน



ภาพที่ ก1 กราฟมาตรฐาน DPPH



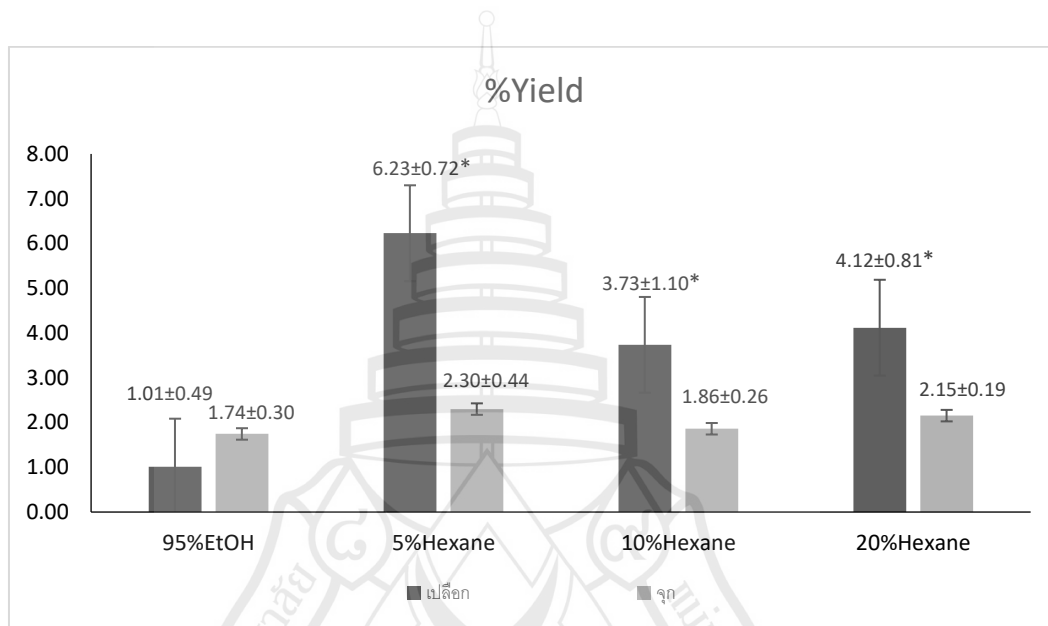
ภาพที่ ก1 (ต่อ)



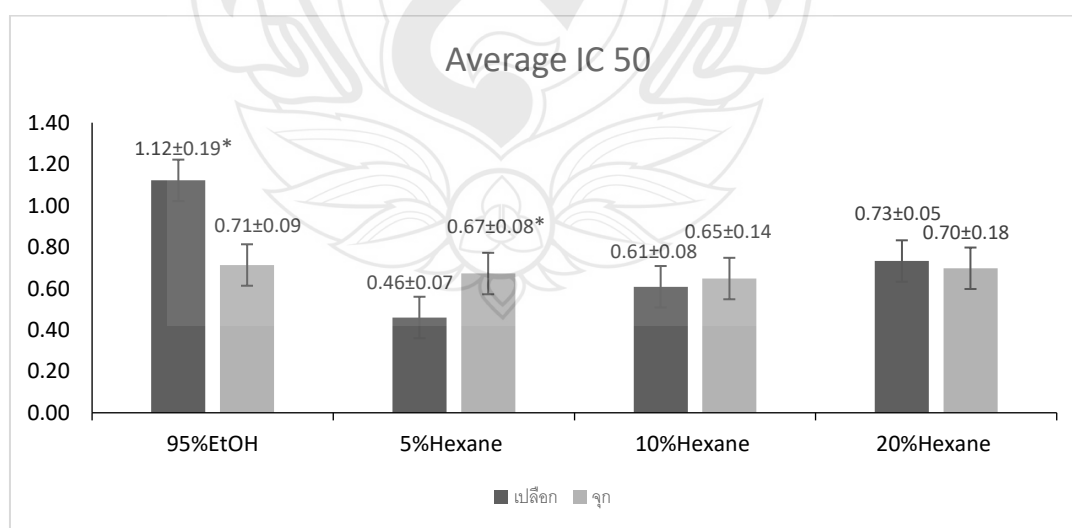
ภาพที่ ก2 กราฟมาตรฐาน Total Antioxidant Capacity

### ภาคผนวก ข

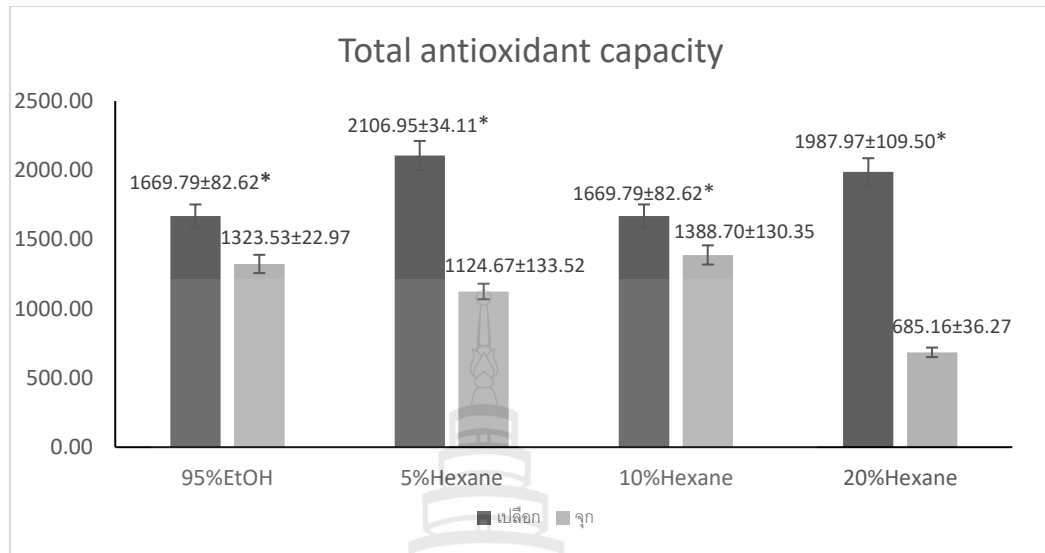
กราฟและรูปแสดงผลการวิเคราะห์หาฤทธิ์ทางชีวภาพการสกัดเปลือกและจุกของ  
สับปะรด สายพันธุ์ปัตตาเวีย



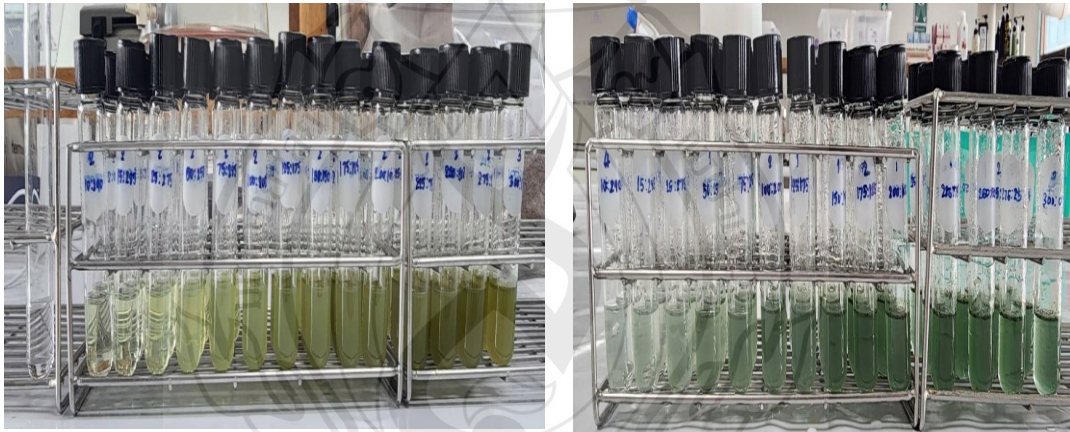
ภาพที่ ข1 กราฟแสดงค่า %yield ของสารสกัดเปลือกและจุกสับปะรดปัตตาเวียจากตัวทำละลายต่าง ๆ



ภาพที่ ข2 กราฟแสดงค่า IC<sub>50</sub> ของสารสกัดเปลือกและจุกสับปะรดปัตตาเวียจากตัวทำละลายต่าง ๆ



**ภาพที่ ข3** กราฟแสดงค่า Total antioxidant capacity (TAC) ของสารสกัดเปลือกและจุกสับประรด  
ปัดตาเวียจากตัวทำละลายต่าง ๆ



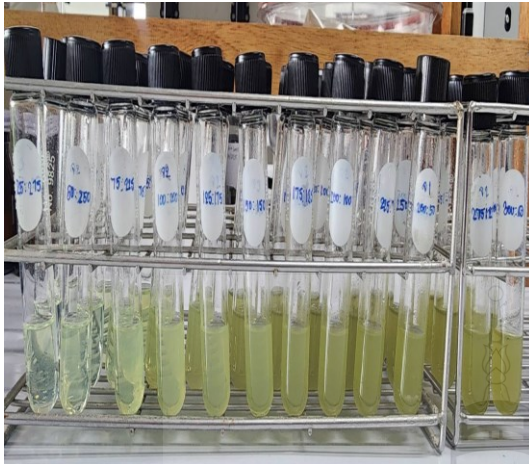
TAC จุกสับประรดก่อนนำไปต้ม

95 องศาเซลเซียส 90 นาที

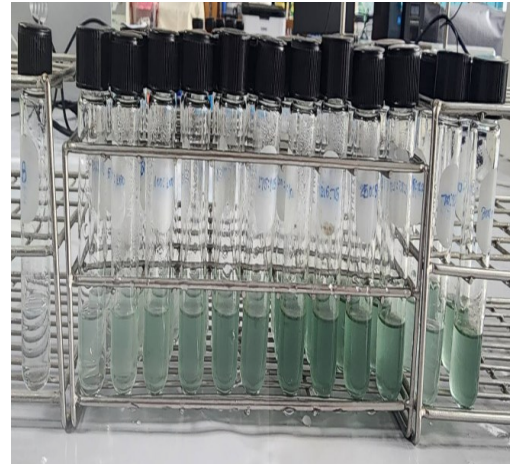
TAC จุกสับประรดหลังนำไปต้ม

95 องศาเซลเซียส 90 นาที

**ภาพที่ ข4** รูปแสดงสีของจุกสับประรดก่อนและหลังทำปฏิกิริยาต้มที่ 95 องศาเซลเซียส 90 นาที



TAC เปลือกสับปรดก่อนนำไปบ่ม 95 องศาเซลเซียส  
90 นาที



TAC เปลือกสับปรดหลังนำไปบ่ม 95 องศาเซลเซียส  
90 นาที

ภาพที่ ข5 รูปแสดงสีของเปลือกสับปรดก่อนและหลังทำปฏิกิริยาบ่มที่ 95 องศาเซลเซียส 90 นาที



## ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์หาฤทธิ์ทางชีวภาพในสารสกัดเปลือกและจุกสับประดสายพันธุ์ปัตตาเวีย  
ด้วยโปรแกรม SPSS

ตารางที่ ค1 แสดง Yield จุกและเปลือกที่เปรียบเทียบใน Solvent ต่าง ๆ

		Tukey HSD <sup>a</sup>			
Code	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
P95	3	1.0150			
J95	3	1.7450			
J10	3	1.8607			
J20	3	2.1540	2.1540		
J5	3	2.3000	2.3000		
P10	3		3.7343	3.7343	
P20	3			4.1183	
P5	3				6.2287
Sig	3	.240	.090	.993	1.000

หมายเหตุ Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

ตารางที่ ค1 แสดง Yield จุกที่เปรียบเทียบใน Solvent ต่าง ๆ

		Tukey HSD <sup>a</sup>	
Solvent	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
95% EtOH	3	1.7450	
10% Hexane	3	1.8607	
20% Hexane	3	2.1540	
5% Hexane	3	2.3000	
Sig		.212	

หมายเหตุ Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

ตารางที่ ค3 แสดง DPPH จุกและเปลือกที่เปรียบเทียบใน Solvent ต่าง ๆ

	Code	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD <sup>a</sup>	P5	3	.4600	
	P10	3	.6083	
	J10	3	.6480	
	J5	3	.6720	
	J95	3	.7130	
	P20	3	.7323	.7323
	J20	3	.8010	.8010
	P95	3		1.1217
	Sig.		.129	.061

หมายเหตุ Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ค4 แสดง DPPH เปลือกที่เปรียบเทียบใน Solvent ต่าง ๆ

Solvent	N	Tukey HSD <sup>a</sup>	
		Subset for alpha = 0.05	
		1	2
5% Hexane	3	.4600	
10% Hexane	3	.6083	
20% Hexane	3	.7323	
95% EtOH	3		1.1217
Sig		0.69	1.000

หมายเหตุ Means for groups in homogeneous subset are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ค5 แสดง DPPH จุกที่เปรียบเทียบใน Solvent ต่าง ๆ

Tukey HSD <sup>a</sup>		
Solvent	N	Subset for alpha = 0.05
		1
10% Hexane	3	.6480
5% Hexane	3	.6720
95% EtOH	3	.7130
20% Hexane	3	.8010
Sig		.688

หมายเหตุ Means for groups in homogeneous subset are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ค6 แสดง TAC จุกและเปลือกที่เปรียบเทียบใน Solvent ต่าง ๆ

Tukey HSB <sup>a</sup>						
Code	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
J20	3	685.1604				
J5	3		1124.6658			
J95	3		1323.5294	1323.5294		
J10	3			1388.7032		
P95	3				1669.7861	
P10	3				1669.7861	
P20	3					1987.9679
P5	3					2106.9519
Sig		1.000	.181	.982	1.000	.724

หมายเหตุ Means for groups in homogeneous subset are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ค7 แสดง TAC เปลือกที่เปรียบเทียบใน Solvent ต่าง ๆ

Tukey HSD <sup>a</sup>			
Solvent	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
95% EtOH	3	1669.7861	
10% Hexane	3	1669.7861	
20% Hexane	3		1987.9679
5% Hexane	3		2106.9519
Sig		1.000	.348

หมายเหตุ Means for groups in homogeneous subset are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ค8 แสดง TAC จุกที่เปรียบเทียบใน Solvent ต่าง ๆ

Tukey HSD <sup>a</sup>				
Solvent	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
20% Hexane	3	685.1604		
5% Hexane	3		1124.6658	
95% EtOH	3		1323.5294	1323.5294
10% Hexane	3			1388.7032
Sig		1.000	.126	.837

หมายเหตุ Means for groups in homogeneous subset are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ค9 Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig	t	df	Sig (2- tailed)	Mean Difference	Std Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper	
Yield	Equal variances assumed	1.307	.317	-2.177	4	.095	-.7300	.33537	-1.66114	.20114
	Equal variances not assumed			-2.177	3.321	.109	-.7300	.33537	-1.74126	.28126
DPPH	Equal variances assumed	2.104	.221	3.374	4	.028	.4867	.12112	.07239	.74494
	Equal variances not assumed			3.374	2.824	.047	.4867	.12112	.00929	.80804
TAC	Equal variances assumed	2.682	.177	6.994	4	.002	346.25668	49.50926	208.79695	483.71642
	Equal variances not assumed			6.994	2.307	.013	346.25668	49.50926	158.25271	534.26066

ตารางที่ ค9 (ต่อ)

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig	t	df	Sig (2- tailed)	Mean Difference	Std Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper	
Yield	Equal variances assumed	.789	.424	8.064	4	.001	3.92867	.48716	2.57609	5.28124
	Equal variances not assumed			8.064	3.333	.003	3.92867	.48716	2.46237	5.39496
DPPH	Equal variances assumed	.085	.785	-3.568	4	.023	-.21200	.05941	-.37695	-.04705
	Equal variances not assumed			-3.568	3.947	.024	-.21200	.05941	-.37783	-.04617
TAC	Equal variances assumed	4.377	.105	12.346	4	.000	982.28610	79.56511	761.37793	1203.19426
	Equal variances not assumed			12.346	2.260	.004	982.28610	79.56511	675.04425	1289.52794

ตารางที่ ค9 (ต่อ)

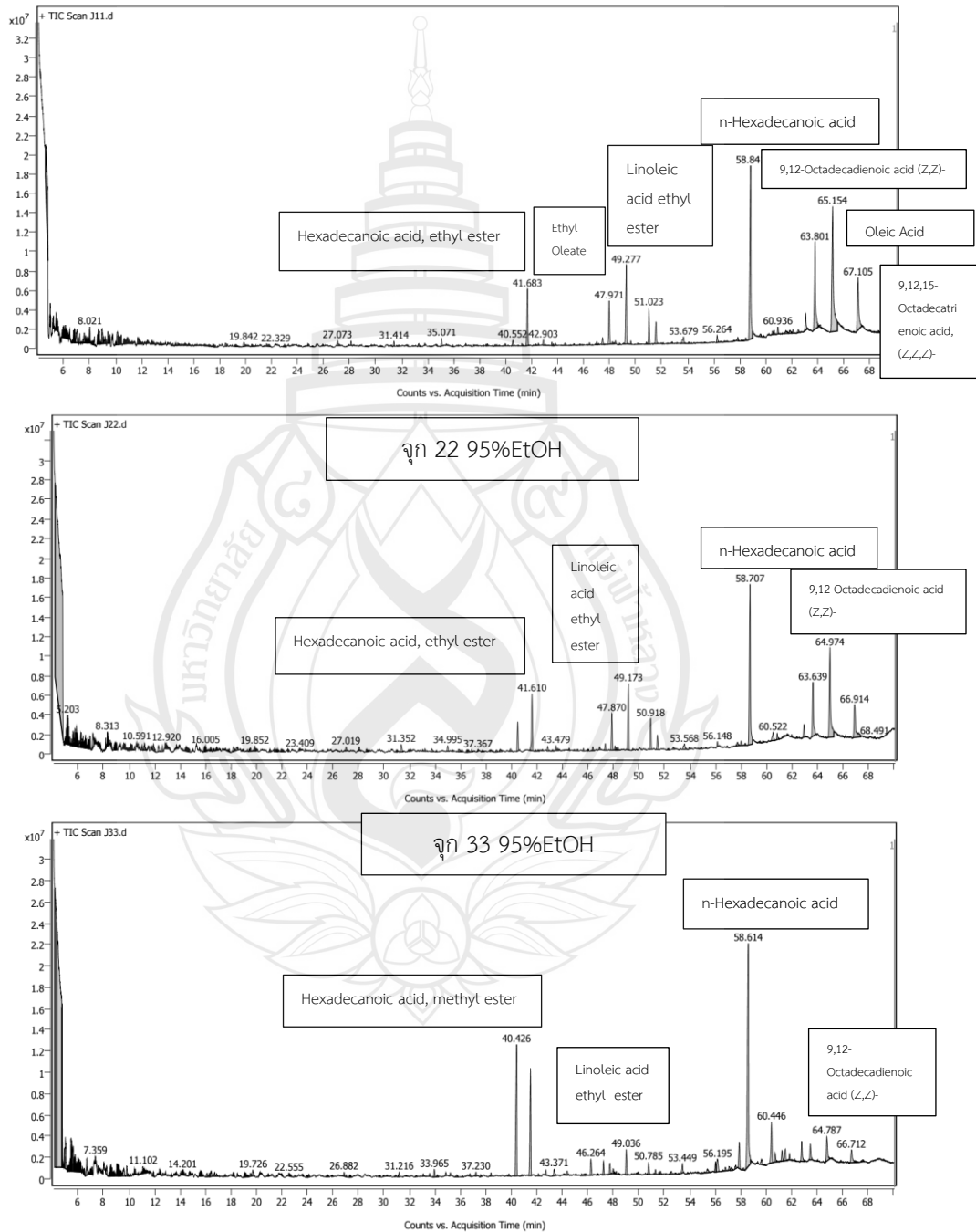
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig	t	df	Sig (2- tailed)	Mean Difference	Std Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper	
Yield	Equal variances assumed	4.507	.101	2.861	4	.046	1.87367	.65481	.05561	3.69172
	Equal variances not assumed			2.861	2.227	.092	1.87367	.65481	-.68607	4.43340
DPPH	Equal variances assumed	1.726	.259	-.426	4	.692	-.03967	.09304	-.29800	.21866
	Equal variances not assumed			-.426	3.280	.696	-.03967	.09304	-.32198	.24265
TAC	Equal variances assumed	1.453	.295	3.155	4	.034	281.08289	89.09954	33.70291	528.46287
	Equal variances not assumed			3.155	3.384	.043	281.08289	89.09954	14.87612	547.28966

ตารางที่ ค9 (ต่อ)

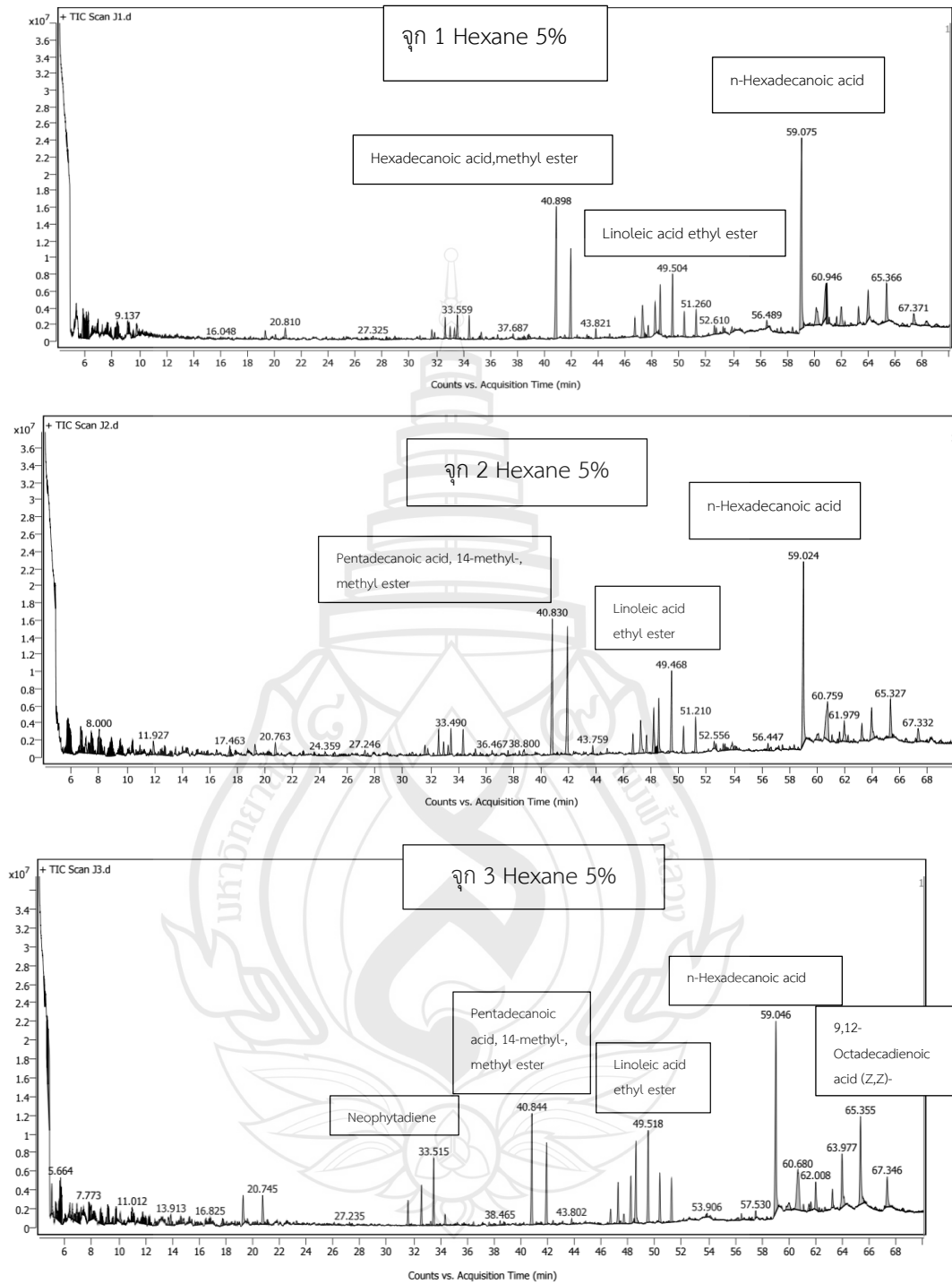
		Levene's Test for		t-test for Equality of Means						
		Equality of								
		Variances								
		F	Sig	t	df	Sig (2-tailed)	Mean Difference	Std Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Yield	Equal variances assumed	7.728	.050	4.082	4	.015	1.96433	.48120	.62830	3.30036
	Equal variances not assumed			4.082	2.215	.046	1.96433	.48120	.07506	3.85361
DPPH	Equal variances assumed	4.854	.092	-.417	4	.698	-.06867	.16463	-.52576	.38843
	Equal variances not assumed			-.417	2.123	.715	-.06867	.16463	-.73919	.60186
TAC	Equal variances assumed	2.634	.180	19.563	4	.000	1302.80749	66.59462	1117.91118	1487.70379
	Equal variances not assumed			19.563	2.434	.001	1302.80749	66.59462	1060.04436	1545.57061

## ภาคผนวก ง

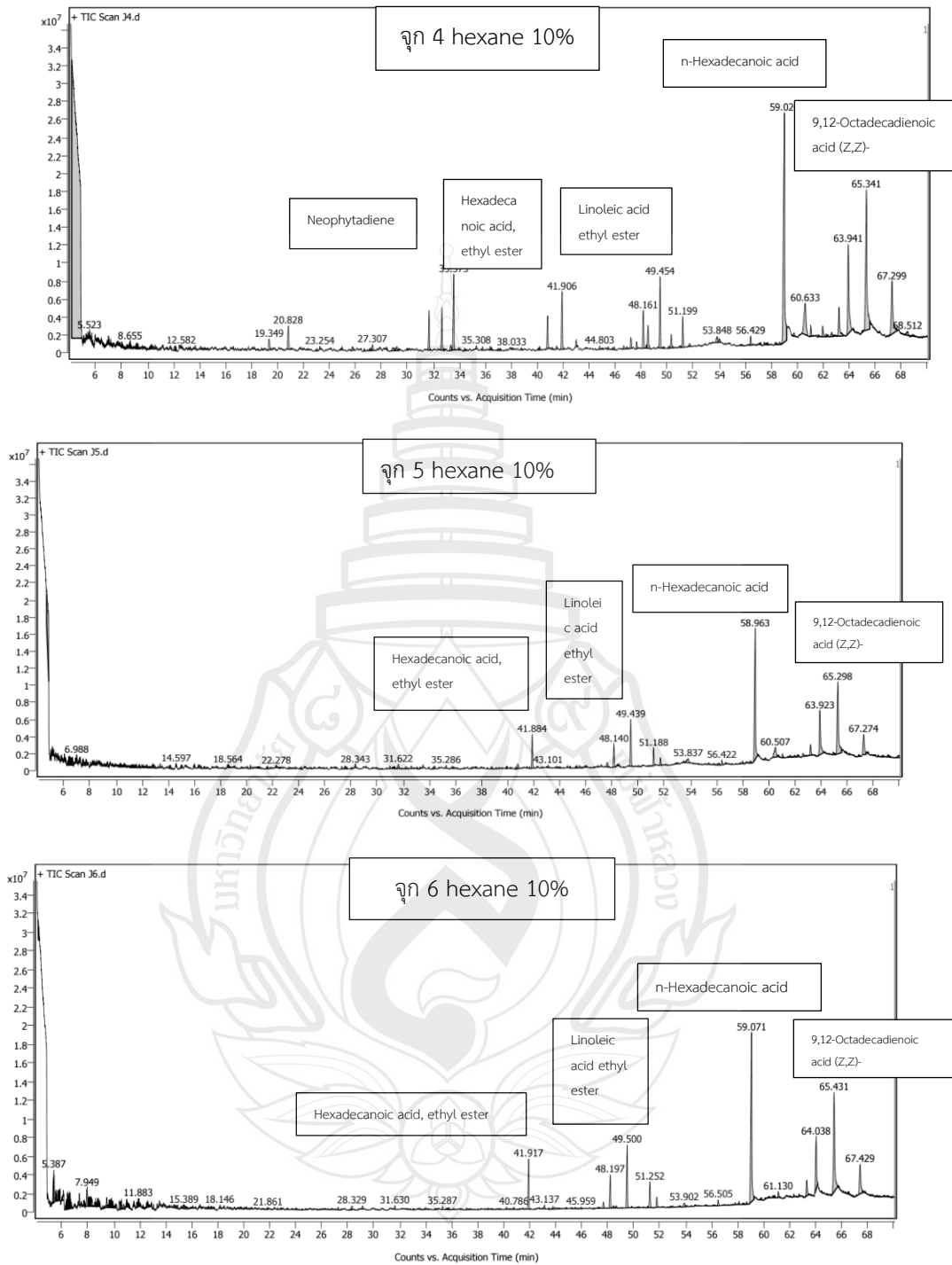
กราฟแสดง RETENTION TIME ของสารประกอบไขมันแต่ละชนิด



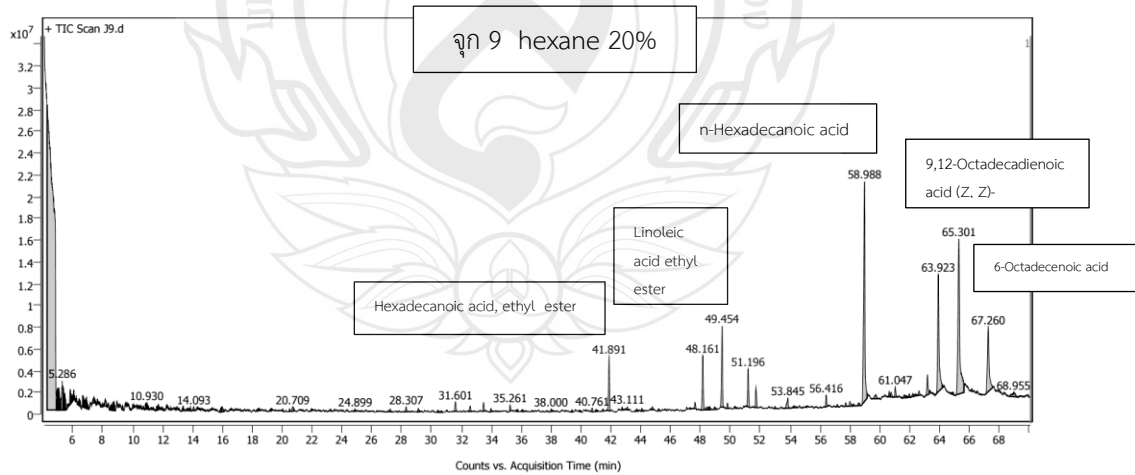
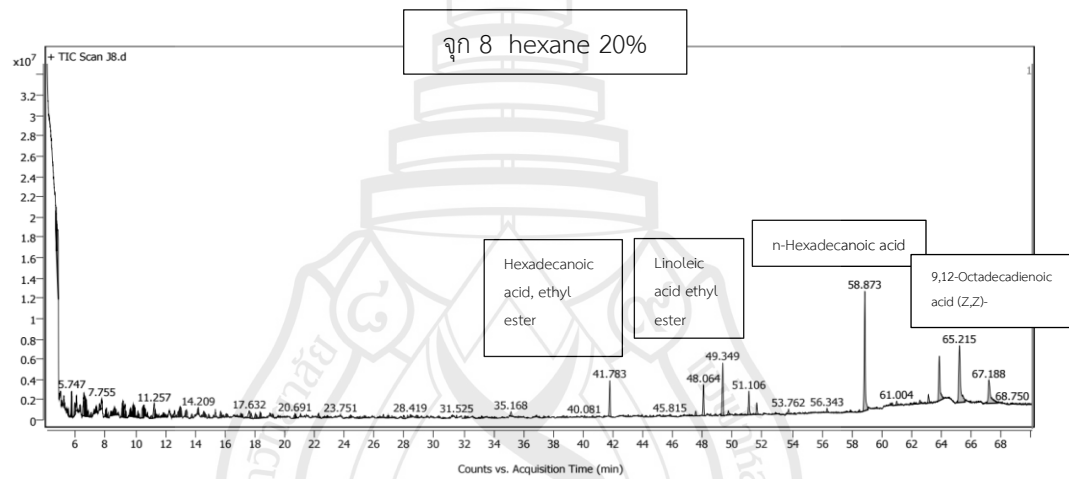
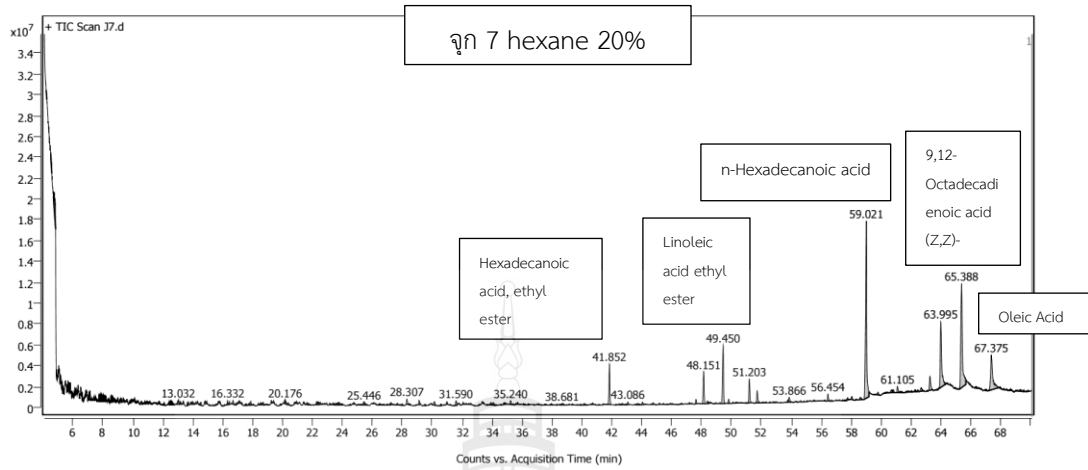
ภาพที่ ง1 กราฟแสดง Retention time ของสารประกอบไขมันแต่ละชนิด



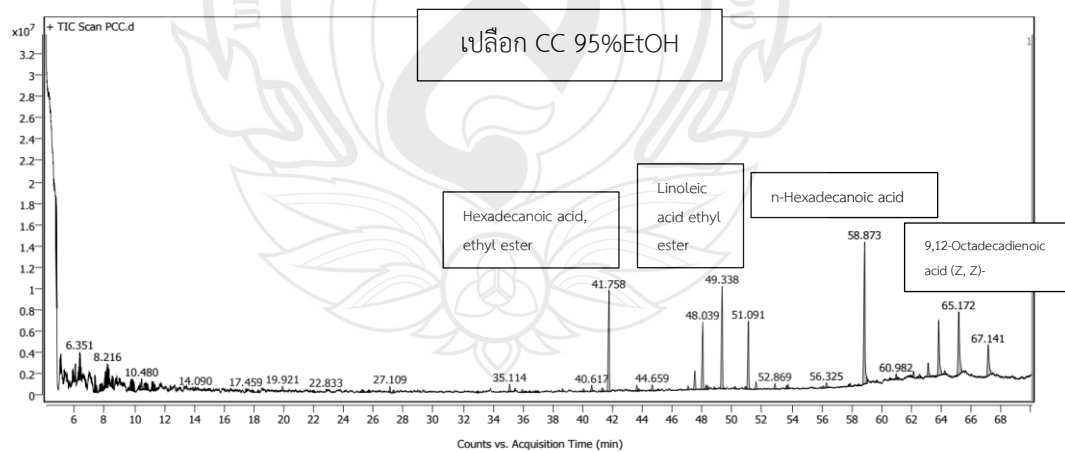
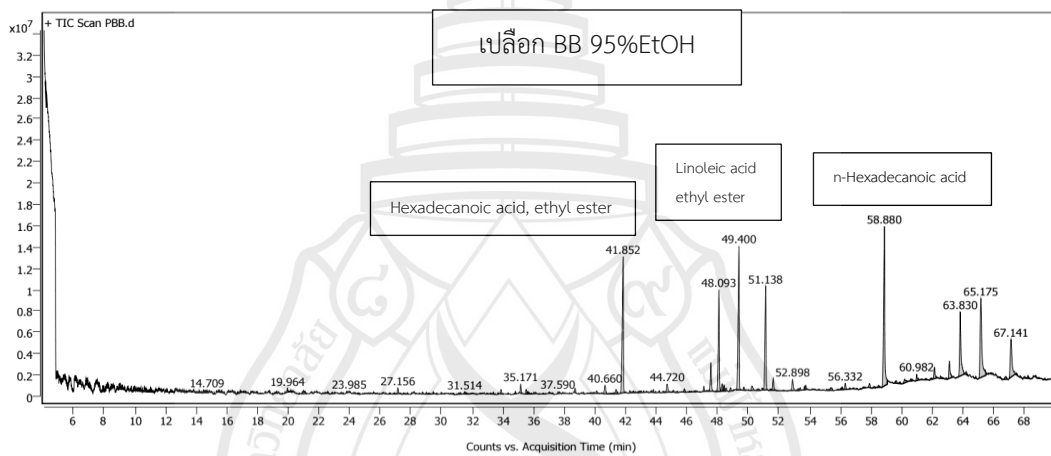
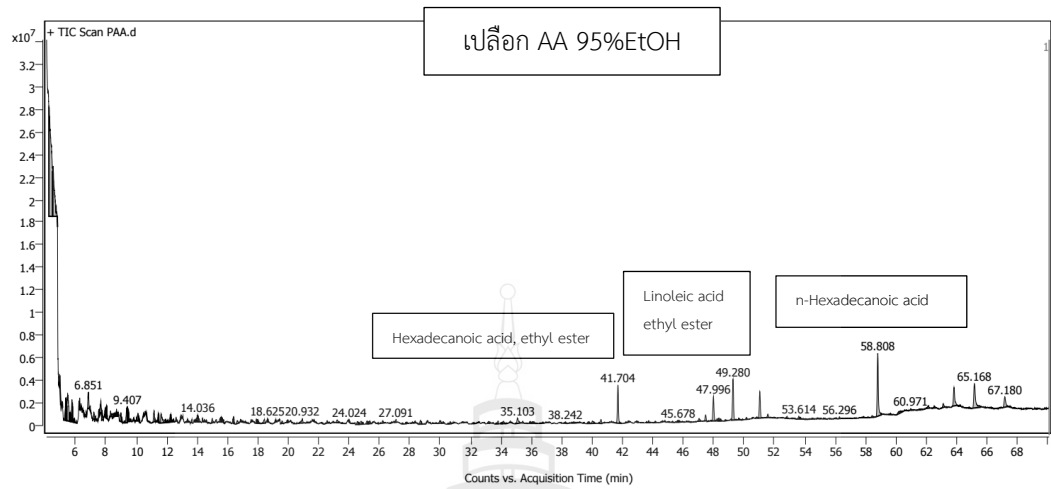
ภาพที่ ง1 (ต่อ)



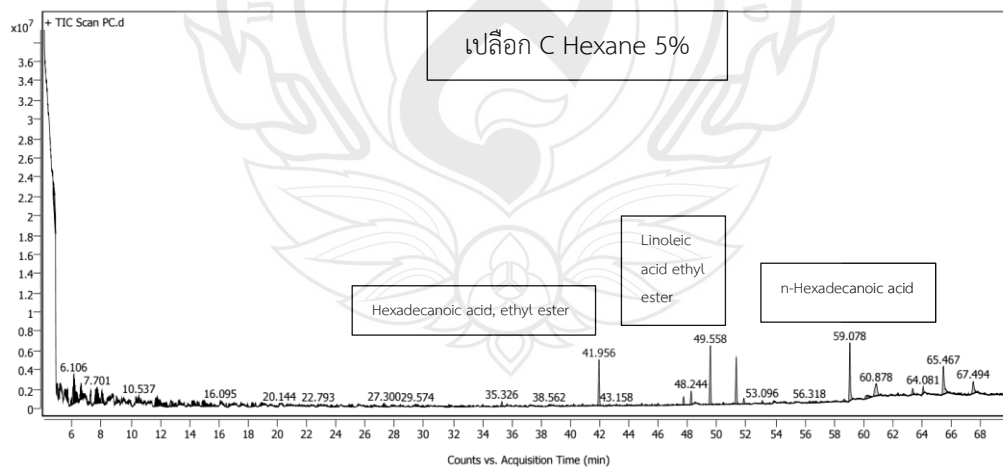
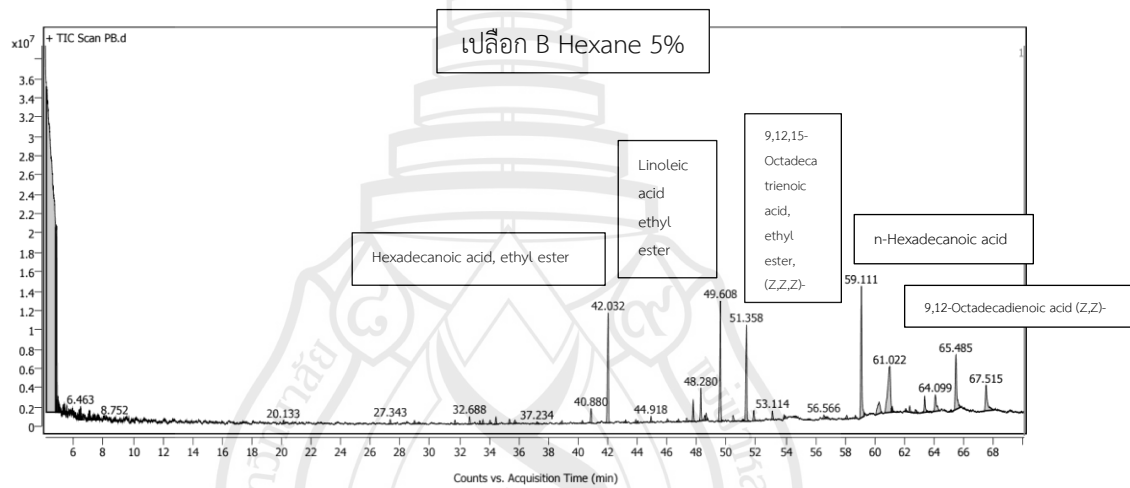
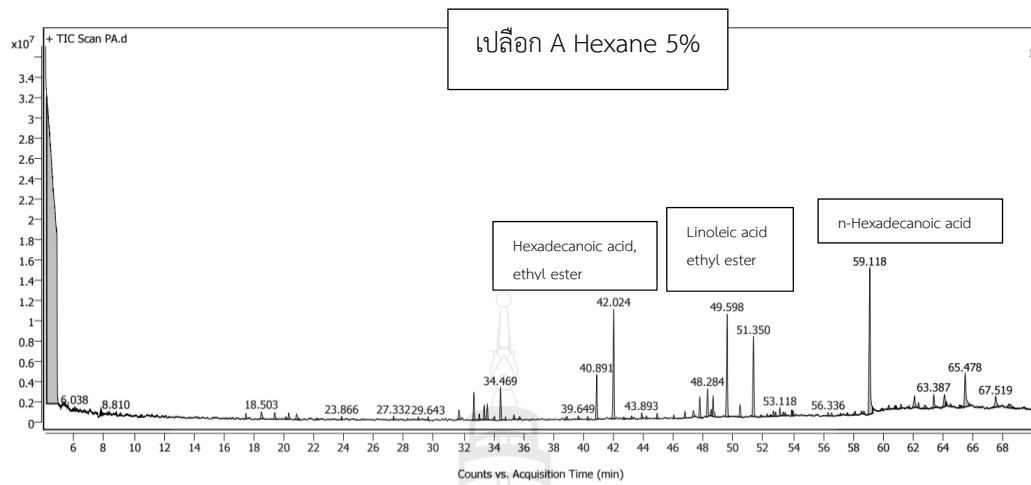
ภาพที่ ง1 (ต่อ)



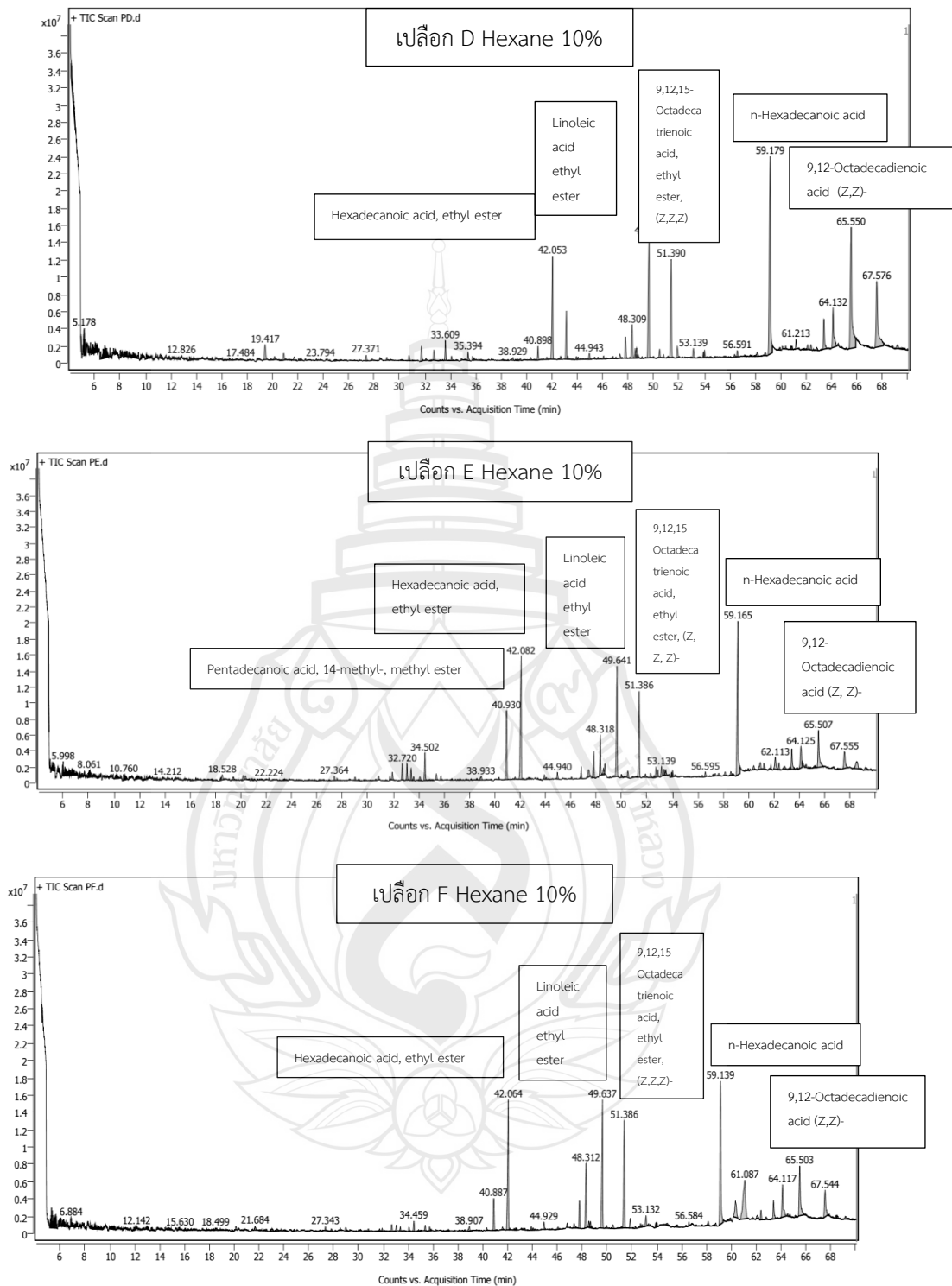
ภาพที่ ง1 (ต่อ)



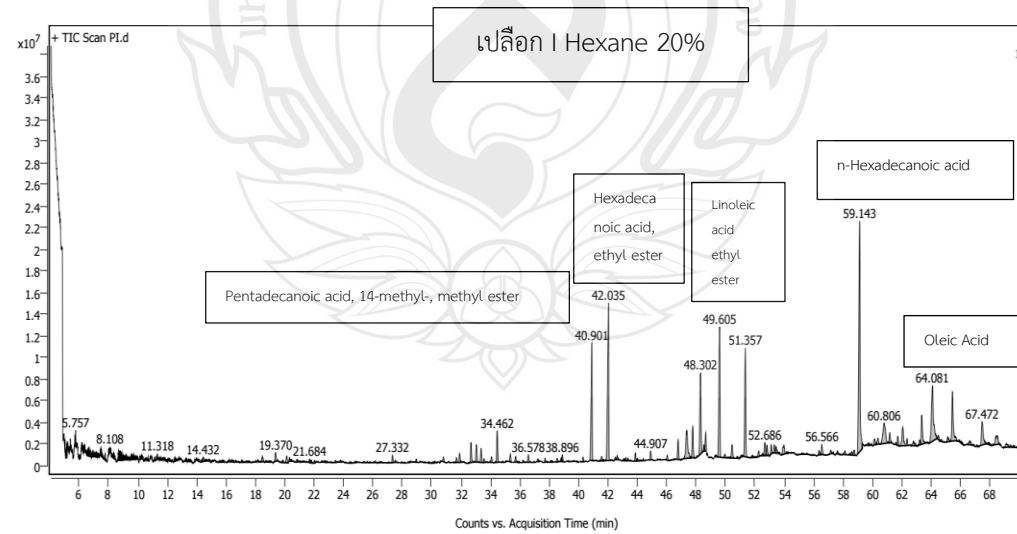
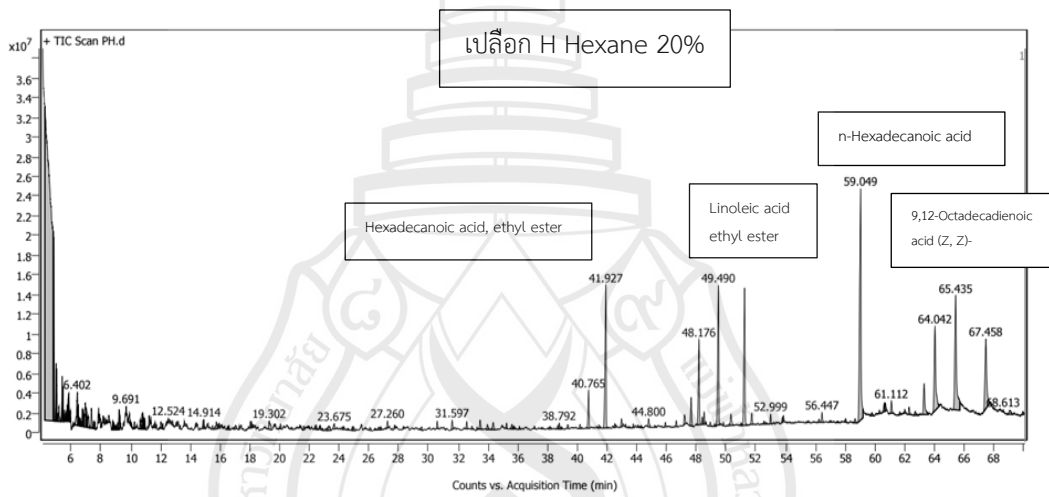
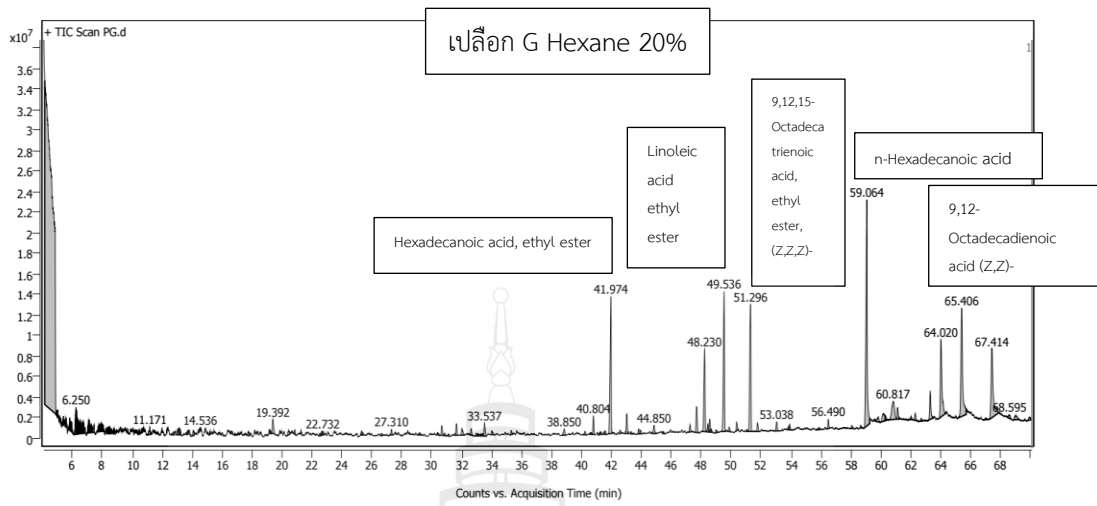
ภาพที่ ง1 (ต่อ)



ภาพที่ ง1 (ต่อ)



ภาพที่ ง1 (ต่อ)



ภาพที่ ง1 (ต่อ)