Published Online: 19 JUN 2026

# การสกัดไฟโตลิพิดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกและจุกสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย

# Extraction of Phytolipids and Amtioxidant Activity from Peels and Crown of Pineapple cv. Smooth Cayenne

**พัชราพรสิณี สัญฑิติธนาพร**

อีเมล: 6651701274@lamduan.mfu.ac.th

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สริตา สังข์ทอง**

อีเมล: Sarita.san@mfu.ac.th

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการสกัดสารกลุ่มไฟโตลิพิดจากส่วนเหลือทิ้งของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ได้แก่ เปลือกและจุก และทำการเปรียบเทียบโดยวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และวิเคราะห์สารประกอบไขมันของสารสกัด ขอบเขตของการศึกษาโดยเตรียมสารสกัดไฟโตลิพิดจากส่วนเหลือทิ้งของเปลือกและจุกของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย และทำการศึกษาผลของตัวทำละลายต่อประสิทธิภาพการสกัด การทดสอบหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี DPPH (DPPH scavenging activity) เพื่อหาค่า $IC_{50}$ และวิธีหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระร่วม Total antioxidant capacity (TAC) โดยใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐาน เตรียมและวิเคราะห์สารประกอบกรดไขมันของสารสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกของสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวียโดยวิธี Gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) ทำให้ทราบศักยภาพของส่วนเหลือทิ้งของสับปะรดในการเป็นแหล่งวัตถุดิบเพื่อสกัดไฟโตลิพิด ในงานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย ด้วยวิธี Ultrasonic-assisted extraction โดยใช้สารละลาย Ethanol: Hexane สัดส่วน 100:0, 95:5, 90:10, 80:20 (v/v) การใช้สารละลายแบบผสมขั้วต่ำขั้วสูงมาสกัดจะช่วยละลายสารสกัดกลุ่มไฟโตลิพิดออกมากกว่าการใช้สารละลายขั้วต่ำขั้วสูงเพียงอย่างเดียว แล้วแยกไฟโตลิพิดด้วย Petroleum ether ซึ่งสารละลายขั้วต่ำเช่น ไขมันจะละลายอยู่ในชั้นนี้ เมื่อนำสารสกัดที่ได้มาหาร้อยละผลผลิต และศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี $IC_{50}$ ของ DPPH และ TAC ผลพบว่า เปลือกสกัดด้วย 5% hexane ให้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุด 6.23±0.72% จุกให้ 2.30±0.44% ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เปลือกที่สกัดด้วย 5% hexane ให้ $IC_{50}$ ต่ำสุด 0.46±0.07 mg/ml จุก 0.67±0.08 mg/ml ค่าต้านอนุมูลอิสระ TAC เปลือกที่สกัดด้วย 5% hexane สูงสุด 2106.95±34.11 TAC mg

TE/g extract จุก 10% hexane ดีสุด 1388.70±130.35 TAC mg TE/g extract GC-MS พบสารไขมัน 28 ชนิด สารหลักคือ n-Hexadecanoic acid (Palmitic acid), 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)- (Linoleic acid), 9,12,15-Octadecatrienoic acid ethyl ester (Z,Z,Z)- และ 9,12,15-Octadecatrienoic acid (Z,Z,Z)- (ALA) เปลือกมีศักยภาพเป็นแหล่งไฟโตลิพิดดีกว่าจุก

**คำสำคัญ:** ไฟโตลิพิด, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, สับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย, การวิเคราะห์องค์ประกอบของไฟโตลิพิดด้วยวิธี GC-MS

## Abstract

This study aimed to investigate the extraction of phytolipids from waste materials of pineapple (Ananas comosus) cv. Pattavia, specifically peels and crowns, and to compare their properties through antioxidant activity and lipid composition analyses. The scope of the study included the preparation of phytolipid extracts from pineapple peels and crowns, as well as the evaluation of solvent effects on extraction efficiency. Antioxidant activity was assessed using the DPPH radical scavenging assay to determine the $IC_{50}$ values, and total antioxidant capacity (TAC) was evaluated, with Trolox used as the standard reference. The fatty acid composition of the phytolipid extracts from pineapple peels and crowns was analyzed using gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS). The findings demonstrate the potential of pineapple waste materials as a valuable source of raw materials for phytolipid extraction. This study investigates the extraction of phytolipids from pineapple (Ananas comosus L., cv. Pattavia) peel and crown using an ultrasonic-assisted extraction method. A mixed solvent system of ethanol and hexane at varying ratios (100:0, 95:5, 90:10, and 80:20, v/v) was employed. The use of mixed-polarity solvents was expected to enhance the extraction efficiency of phytolipids compared to single-polarity solvents. Phytolipids were subsequently separated using petroleum ether, in which non-polar compounds such as lipids preferentially dissolve. Extraction yield was calculated, and antioxidant activities were evaluated using DPPH radical scavenging ($IC_{50}$) and total antioxidant capacity (TAC) assays. The results showed that pineapple peel extracted with 5% hexane yielded the highest extraction efficiency (6.23 ± 0.72%), while the crown yielded 2.30 ± 0.44%. In terms of antioxidant activity, the peel extract obtained with

5% hexane exhibited the lowest $IC_{50}$ value (0.46 ± 0.07 mg/mL), followed by the crown extract (0.67 ± 0.08 mg/mL). For TAC, the peel extract with 5% hexane showed the highest value (2106.95 ± 34.11 mg TE/g extract), whereas the crown extract performed best at 10% hexane (1388.70 ± 130.35 mg TE/g extract). Gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) analysis identified 28 lipid compounds. The major constituents included n-hexadecanoic acid (palmitic acid), 9,12-octadecadienoic acid (Z,Z) (linoleic acid), 9,12,15-octadecatrienoic acid ethyl ester (Z,Z,Z), and 9,12,15-octadecatrienoic acid (Z,Z,Z) (alpha-linolenic acid, ALA). Overall, pineapple peel demonstrated greater potential as a source of phytolipids compared to the crown.

**Keywords:** Phytolipids, Antioxidant activity, Batavia Pineapple, Phytolipid Composition Analysis Using GC-MS

**บทนำ**

สับปะรด (*Ananas comosus*) เป็นพืชวงศ์ Bromeliaceae ถิ่นกำเนิดจากทวีปอเมริกาใต้ ปลูกแพร่หลายในไทย ลักษณะเป็นพืชล้มลุกอายุหลายปีและพืชเศรษฐกิจสำคัญ พันธุ์ที่นิยม ได้แก่ ปัตตาเวียหรือศรีราชาที่ผลใหญ่ฉ่ำน้ำเนื้อเหลืองอ่อน รวมถึงพันธุ์อื่นที่ปรับตัวได้ดีในหลายพื้นที่ของประเทศ สับปะรดมีลักษณะเป็นไม้ล้มลุกสูงราว 90–100 ซม ผลเป็นผลรวมทรงกระบอกมีจุกใบที่ปลาย สามารถทนสภาพอากาศร้อน (ไทยเซ็นทรัลเคมี, 2566) ด้านเศรษฐกิจ ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกสับปะรดกระป๋องอันดับหนึ่งของโลก มีส่วนแบ่งตลาดราว 50% ของปริมาณสับปะรดกระป๋องทั้งหมด สร้างรายได้ปีละประมาณ 23,000–25,000 ล้านบาท ตลาดสำคัญคือสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และตะวันออกกลาง ในปี 2565 ช่วงมกราคม–ตุลาคม ไทยส่งออกสับปะรดกว่า 433,997 ตัน มูลค่ามากกว่า 20,065 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559, 2565) การผลิตและแปรรูปจำนวนมากทำให้เกิดของเสียจากสับปะรด เช่น หัวจุก เปลือก ใบ แกนกลาง และลำต้น มากถึงราว 80% ของชิ้นส่วนทั้งหมดในกระบวนการเก็บเกี่ยว ขนส่ง และแปรรูป ตัวอย่างเช่น มาเลเซียผลิตสับปะรด 335,488 ตัน และสร้างของเสียจากใบราว 67,098 ตัน และเปลือกราว 137,550 ตัน วัสดุเหล่านี้มีความชื้นสูง อุดมด้วยน้ำตาล โปรตีน ไขมัน และวิตามิน ทำให้เน่าเสียง่าย และเสี่ยงต่อการปนเปื้อนจุลินทรีย์และปัญหาสิ่งแวดล้อม การกำจัดด้วยการฝังกลบหรือเผาในที่โล่งอาจเพิ่มก๊าซเรือนกระจกและก่อผลกระทบต่อระบบนิเวศ (Aili et al., 2021) งานวิจัยด้านขยะอาหาร (food waste) ชี้ว่าของเหลือจากเปลือก แกน กาก และจุกมีเอนไซม์โบรมีเลน (Bromelain)

เพกทิเนส (pectinase) เซลลูเลส (Cellulase) ไซลาเนส (Xylanase) กรดอินทรีย์ และสารฟีนอลิกต้านอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดงานวิจัยนี้ขึ้นมาเพื่อศึกษาการสกัดสารกลุ่มไฟโตลิพิดจากส่วนเหลือทิ้งของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ได้แก่ เปลือกและจุก และทำการเปรียบเทียบโดยวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และวิเคราะห์สารประกอบไขมันของสารสกัด ขอบเขตของการศึกษาโดยเตรียมสารสกัดไฟโตลิพิดจากส่วนเหลือทิ้งของเปลือกและจุกของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย และทำการศึกษาผลของตัวทำละลายต่อประสิทธิภาพการสกัด การทดสอบหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี DPPH (DPPH scavenging activity) เพื่อหาค่า $IC_{50}$ และวิธีหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระร่วม Total antioxidant capacity (TAC) โดยใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐาน เตรียมและวิเคราะห์สารประกอบกรดไขมันของสารสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกของสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวียโดยวิธี Gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) ทำให้ทราบศักยภาพของส่วนเหลือทิ้งของสับปะรดในการเป็นแหล่งวัตถุดิบเพื่อสกัดไฟโตลิพิดซึ่งสามารถพัฒนาเป็นเอนไซม์เชิงอุตสาหกรรม สารต้านอนุมูลอิสระสำหรับอาหารและเครื่องสำอาง หรือวัตถุดิบชีวภาพอื่น ๆ การนำของเสียเหล่านี้กลับมาใช้จึงช่วยลดขยะ ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และเพิ่มมูลค่าทั้งส่วนที่กินได้และส่วนที่เหลือ (Meena et al., 2022) บริบทดังกล่าวนำไปสู่แนวคิดใช้เปลือกและจุกสับปะรดเป็นวัตถุดิบสกัดไฟโตลิพิดสำหรับเครื่องสำอางและอาหาร สารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของผลที่มีวิตามินซีและโบรมีเลนใช้ในผลิตภัณฑ์บำรุงผิวเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้น กระตุ้นการผลัดเซลล์ ลดเลือนจุดด่างดำและริ้วรอย พร้อมลดการอักเสบและระคายเคืองผิว ทำให้ผิวกระจ่างใสและอ่อนเยาว์ จึงนิยมใช้เป็นส่วนผสมในครีมและเซรั่ม

โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานความเข้าใจโครงสร้างผิวหนังและบทบาทของลิพิดในชั้นสตราตัมคอร์เนียม (Stratum corneum) ซึ่งเป็นผิวหนังชั้นนอกของหนังกำพร้าที่เรียงตัวเป็นเรียงตัวเป็นชั้น ๆ โดยมีลิพิดทำหน้าที่เหมือนกาวยึดแต่ละเซลล์ไว้ด้วยกัน ได้แก่ เซราไมด์ โคเลสเตอรอล และกรดไขมันที่เชื่อมเซลล์ผ่าน corneodesmosome ส่งผลให้โครงสร้างผิวชั้นดังกล่าวมีความแข็งแรงแน่นหนาป้องกันเชื้อโรค มลภาวะ สารพิษ และช่วยรักษาสมดุลการสูญเสียน้ำของผิว

กรดไขมันจากพืชจึงถูกนำมาใช้ในสูตรเครื่องสำอางในรูปไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว รวมถึงเอสเทอร์ของกลีเซอรอล เพื่อสร้างเกราะไขมันบนผิว ลดการระเหยน้ำ และเพิ่มความนุ่มชุ่มชื้น โดยเฉพาะน้ำมันที่อุดมด้วยกรดไลโนเลอิก (โอเมก้า 6) และกรดอัลฟาไลโนเลนิก (โอเมก้า 3) ซึ่งจัดเป็น essential fatty acids (EFAs) มีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างเซราไมด์และ natural moisturizing factor (NMF) เมื่อปริมาณกรดไลโนเลอิกลดลงตามอายุ ผิวจะแห้ง หยาบและแพ้ง่าย การเสริม EFAs จึงช่วยลดการสูญเสียน้ำผ่านผิวหนัง (TEWL) และให้คุณสมบัติให้ความชุ่มชื้นและทำให้เส้นผมและผิวนุ่ม (Ahmad & Ahsan, 2020)

ตัวทำละลายที่ใช้สกัดลิพิดและสารร่วมจากพืชมีทั้งชนิดมีขั้ว เช่น เอทานอล เมทานอล ที่เหมาะกับแทนนิน ฟลาโวนอยด์ และเทอร์พีนอยด์บางชนิด และชนิดไม่มีขั้ว เช่น คลอโรฟอร์ม

เฮกเซน ที่เหมาะกับลิพิดและเทอร์พีนอยด์ที่ไม่ชอบน้ำ ส่วนอะซิโตนและเอทิลอะซิเตตเหมาะกับสารมีขั้วปานกลาง จึงมักใช้ตัวทำละลายผสมเพื่อครอบคลุมช่วงความมีขั้วและเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด (ดวงเพ็ญ ปัทมดิลก, 2566)

เทคนิคอัลตราซาวด์ (ultrasound assisted extraction; UAE) ได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากเป็น “เทคโนโลยีการสกัดสีเขียว” ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดไขมันผ่านกลไกคาวิเทชัน (cavitation) โดยการก่อตัวและการยุบตัวอย่างรุนแรงของฟองอากาศขนาดจิ๋ว ก่อให้เกิดแรงเฉือนที่เข้มข้นและคลื่นกระแทกเฉพาะจุด ซึ่งนำไปสู่การทำลายผนังเซลล์และการปลดปล่อยไขมันภายในเซลล์ออกมา ช่วยให้ลิพิดและสารออกฤทธิ์แพร่ออกมาในตัวทำละลายได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ลดเวลา ลดปริมาณตัวทำละลาย และเพิ่มผลผลิต (Akoh, 2017) การสกัดไขมันจากสาหร่ายจุลินทรีย์ด้วยอัลตราซาวด์ร่วมกับเฮกเซนก็แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มระดับพลังงานและเวลา sonication ช่วยปลดปล่อยไขมันจากเซลล์ได้อย่างชัดเจน เป็นพื้นฐานในการออกแบบกระบวนการสกัดที่ประหยัดเวลาและตัวทำละลาย (รุ่งโรจน์ ศรีภูมิ, 2558) การเปรียบเทียบวิธี percolation, UAE ในสมุนไพรตระกูล Apiaceae เช่น ผักชีฝรั่งและยี่หร่า พบว่า UAE ให้ผลผลิตน้ำมันสูงสุดและใช้เวลากับตัวทำละลายน้อยกว่า ในขณะที่ยังคงโปรไฟล์กรดไขมันสำคัญอย่าง petroselinic acid ใกล้เคียงกันในทุกวิธี สะท้อนศักยภาพของ UAE ในฐานะเทคนิคสีเขียวที่เหมาะกับการขยายสเกล (Shams et al., 2015)

ในส่วนของการวิเคราะห์ลิพิด งานวิจัยก่อนหน้าใช้ GC MS และ GC FID วิเคราะห์โปรไฟล์กรดไขมันจากพืชและสาหร่ายเศรษฐกิจ โดยมักแปลงกรดไขมันเป็น fatty acid methyl esters (FAME) ก่อนวิเคราะห์ ช่วงคาร์บอนที่ตรวจมักอยู่ระหว่าง C12–C22 โดยพบกรดไขมันสำคัญ ได้แก่ lauric (C12:0), myristic (C14:0), palmitic (C16:0), stearic (C18:0), oleic (C18:1), linoleic (C18:2) และ α linolenic acid (C18:3) ในสาหร่าย น้ำมันพืชสกัดเย็น และเนื้อเมล็ดมะม่วง ซึ่งสะท้อนว่ากลุ่มกรดไขมันเหล่านี้เป็นลักษณะร่วมสำคัญของน้ำมันพืชจำนวนมาก (ธนพรรณ เสียงแจ่ม, 2564; ศิริรัตน์ ชาญไววิทย์ และคณะ, 2557; Yuenyong et al., 2021) งานของ Orodu and Akpedi (2021) ที่สกัดน้ำมันจากเปลือกสับปะรดด้วย n Hexane พบ palmitic acid ประมาณ 5.38% และ limonene สูงถึง 76.34% ของน้ำมันทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า ของเสียจากเปลือกสับปะรดเป็นแหล่งทั้งกรดไขมันและสารหอมระเหย (Orodu & Akpedi, 2021)

**วิธีการดำเนินการวิจัย**

1. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

วัตถุดิบในการวิจัย คือ สับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวียจากตลาดสี่มุมเมือง

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือหลัก ได้แก่ เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง (Precisa, METTLER TOLEDO, Switzerland), ตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany), เครื่องอัลตราซาวด์ (Sonicator; GREST, Malaysia), เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary evaporator; EYELA CCA 1110, Japan), เครื่องผสมสาร (Vortex mixer; OHAUS, USA), ไมโครปิเปตอัตโนมัติ (GILSON, France), ตู้เย็น (Haier, ไทย) เครื่อง Microplate reader (BMG Labtech FLUOstar OMEGA, Germany), เครื่อง UV Vis spectrophotometer (Thermo Scientific GENESYS 10S UV VIS, USA), เครื่อง GC MS (Thermo Fisher Scientific Trace 1300/ISQ QD, USA), ระบบทำน้ำ DI (TKA, Germany), เครื่องบด (Samsung Super Grinder HGR 2000, Korea), กระดาษกรอง Whatman No.1 และชุด separatory funnel (JSGW, India)

สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ di sodium hydrogen phosphate และ sodium dihydrogen phosphate (Merck, Germany), ammonium molybdate (AK Scientific, USA), กรดซัลฟิวริก 96% (CARLO ERBA, France), petroleum ether (Chem Supply, Australia; Qrec, New Zealand), n Hexane และ DMSO (CARLO ERBA, USA), methanol (Merck, Germany), 2,2 diphenyl 1 picrylhydrazyl (DPPH) และ Trolox (Sigma Aldrich, USA), และ 95% Ethanol (Spread Business, Thailand)

2. การเตรียมตัวอย่างและการสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกสับปะรด

นำเปลือกและจุกสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่เป็นของเหลือทิ้งมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก อบที่ 60 °C ในตู้อบลมร้อน 7 วัน แล้วบดละเอียด และเก็บที่ 2–8 °C ตัวอย่างบดหยาบถูกแช่ในผสมตัวทำละลาย 95% ethanol: n Hexane ที่อัตราส่วน 100:0, 95:5, 90:10, 80:20 (v/v) เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปสกัดด้วย ultrasonic bath ที่กำลัง 360 W อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 45 นาที ตามแนวทางของ Wang et al. (2022) สารสกัดถูกพัก 5 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง แล้วระเหยตัวทำละลายออกบ้างส่วนด้วย rotary evaporator. จากนั้นเติม petroleum ether ปริมาตร 2 เท่าของสารสกัดลงใน separatory funnel เพื่อทำการแยกชั้น และเติม petroleum ether ซ้ำหลายครั้งจนได้ชั้นที่มีไขมันออกมามากที่สุด แล้วระเหย petroleum ether ออกด้วย rotary evaporator เพื่อให้เหลือเฉพาะสารสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุก ร้อยละผลผลิต (%yield) ของสารสกัดจากสภาวะตัวทำละลายต่าง ๆ คำนวณจากสมการ

[%Yield = (น้ำหนักสารสกัดที่ได้ / น้ำหนักเปลือกหรือจุกอบแห้ง) × 100]

3. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

1) DPPH radical scavenging activity

การทดสอบ DPPH อ้างอิงจากวิธีของ Dasgupta and De (2004) และปฏิวิทย์ ลอยพิมาย และคณะ (2563) โดยเตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 mM ละลายและปรับปริมาตร

ด้วย 95% ethanol เป็น 50 mL ละลายสารมาตรฐาน Trolox ใน 95% ethanol ที่ความเข้มข้น 0.5 mg/ml เตรียมสารมาตรฐานช่วง 5–50 µg/mL บน 96 well microplate แล้วเติม 95% Ethanol ให้ครบ 50 µL เตรียมสารสกัดจากเปลือกและจุกเตรียมที่ความเข้มข้น 7 mg/mL ใน DMSO แล้วดูดตัวอย่าง 10–40 µL เติม 95% ethanol จนครบ 40 µL ใน 96 well microplate เติมสารละลาย DPPH 200 µL ลงใน 96 well microplate ที่มีมาตรฐานและตัวอย่าง bank เป็น 95% Ethanol 240 µL ส่วน control เป็น 95% Ethanol 40 µL กับ DPPH 200 µL บ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงที่ 517 nm ด้วย Microplate reader แล้วคำนวณ % inhibition นำค่า % inhibition กับความเข้มข้นมาพล็อตกราฟหาสมการเส้นตรง เป็นค่าความเข้มข้นที่ทำให้ยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50%

2) Total Antioxidant Capacity (TAC)

การทดสอบ TAC ดัดแปลงจาก Dasgupta and De (2004) ตามแนวทางของ ปฏิวิทย์ ลอยพิมาย และคณะ (2563) โดยเตรียม reagent ผสมจากกรดซัลฟิวริก 0.6 M, sodium phosphate 28 mM และ ammonium molybdate 4 mM อย่างละ 1.0 mLใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐานละลายใน 95% ethanol ที่ความเข้มข้น 3 mg/mL ตัวอย่างละลายใน DMSO โดยเปลือกใช้ 10 mg/mL ส่วนจุกใช้ 8 mg/ml และเจือจางใน 95% ethanol ให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 300 µL ต่อหลอดในช่วงความเข้มข้น 10–300 µL Blank เป็น 95% ethanol 300 µL เติม reagent mix 3 mL (กรดซัลฟิวริก, sodium phosphate, ammonium molybdate อย่างละ 1 mL) ลงในหลอดตัวอย่างและมาตรฐาน บ่มที่ 95 °C 90 นาที ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงที่ 695 nm ด้วย UV Vis spectrophotometer (GENESYS 10S) ค่าการดูดกลืนแสงเปรียบเทียบกับมาตรฐาน Trolox เพื่อแปลงผลเป็นค่า TAC แสดงความสามารถต้านอนุมูลอิสระรวมของสารสกัดเปลือกและจุก

4. การวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันด้วย GC MS

นำสารสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุก ที่ได้จากสภาวะ 95% ethanol: n-Hexane 4 อัตราส่วน (100:0, 95:5, 90:10, 80:20 v/v) มาวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันเพื่อประเมินปริมาณไฟโตลิพิดและชนิดกรดไขมันที่ได้จากแต่ละส่วนและแต่ละสภาวะตัวทำละลาย การเตรียมตัวอย่างสำหรับ GC MS อ้างอิงวิธีของ Shams et al. (2015) โดยชั่งสารสกัด 50 mg ละลายใน 1.5% sulfuric acid ใน methanol 2 mL บ่มที่ 90 °C 3 ชั่วโมง เพื่อทำ methylation ของกรดไขมัน จากนั้นเติมน้ำ 2 mL และ Hexane 5 mL เขย่าด้วย vortex แยกชั้นบน (Hexane) แล้วเติม sodium sulfate anhydrous เพื่อดึงน้ำออก แล้วกรองผ่านหัวกรองเข้าสู่ขวด GC ก่อนฉีดเข้าสู่ GC MS เพื่อตรวจหา methyl esters ของกรดไขมัน

การวิเคราะห์ GC MS ใช้คอลัมน์ Supelco MDN 5S (30 m × 0.25 mm, film 0.5 µm) ก๊าซพาหะ helium อัตราการไหล 1.0 mL/min โปรแกรมอุณหภูมิเตาอบจาก 130 °C (1 นาที) เพิ่มถึง 300 °C ที่ 5 °C/min และคงที่ 5 นาที อุณหภูมิหัวฉีดและ detector 250 °C ใช้การไอออไนซ์แบบ EI 70 eV และอ้างอิง library NIST ร่วมกับมาตรฐาน FAME 37 ชนิด ตามวิธีของ Shams et al. (2015)

5. การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

การทดลองทั้งหมดดำเนินการกับสารสกัดไฟโตลิพิด 8 ตัวอย่าง (เปลือกและจุก × 4 อัตราส่วนตัวทำละลาย) โดยแต่ละการทดสอบทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง อย่างเป็นอิสระ ผลลัพธ์แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) ใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics 21 วิเคราะห์ความแตกต่างของ %yield, ค่า $IC_{50}$-DPPH และ TAC ของสารสกัดทั้ง 8 ตัวอย่าง โดยใช้ Independent t-test และ One-Way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p < 0.05$) เพื่อพิจารณาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างส่วนของสับปะรดและสภาวะตัวทำละลายต่าง ๆ

**ผลการวิจัยและอภิปรายผล**

1. ผลการสกัดไฟโตลิพิดด้วย Ultrasonic assisted Extraction

การสกัดเปลือกและจุกสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียด้วยวิธี Ultrasonic assisted extraction โดยใช้ตัวทำละลายผสม ethanol: n Hexane อัตราส่วน 100:0, 95:5, 90:10 และ 80:20 (v/v) ให้สารสกัดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$ ร้อยละผลผลิต หรือ %Yield ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลผลิตของสารสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกสับปะรดแสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** แสดงผลร้อยละผลผลิต ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารสกัดเปลือกและจุกสับปะรดปัตตาเวียจากตัวทำละลายต่าง ๆ

| สารสกัดจากสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย | อัตราส่วนของตัวทำละลาย (Ethanol: Hexane) | ร้อยละของน้ำหนักสารสกัดต่อน้ำหนักแห้ง (% Yield ± SD) |
|---|---|---|
| สารสกัดจากเปลือกสูตร A | 100: 0 | $1.01\pm0.49^{cA}$ |
| สารสกัดจากเปลือกสูตร B | 95: 5 | $6.23\pm0.72^{aA}$ |
| สารสกัดจากเปลือกสูตร C | 90: 10 | $3.73\pm1.10^{bA}$ |
| สารสกัดจากเปลือกสูตร D | 80: 20 | $4.12\pm0.81^{abA}$ |
| สารสกัดจากจุกสูตร A | 100: 0 | $1.74\pm0.30^{aA}$ |
| สารสกัดจากจุกสูตร B | 95: 5 | $2.30\pm0.44^{aB}$ |
| สารสกัดจากจุกสูตร C | 90: 10 | $1.86\pm0.26^{aB}$ |
| สารสกัดจากจุกสูตร D | 80: 20 | $2.15\pm0.19^{aB}$ |

**หมายเหตุ** ตัวยกอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก แสดงการเปรียบเทียบส่วนของพืชส่วนเดียวกัน (ในเปลือกหรือจุกเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง) แต่แตกต่างกันที่ความเข้มข้นของตัวทำละลายในการสกัด ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.05$ ส่วนตัวยกอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ แสดงความแตกต่างกันของสารสกัดจากส่วนของพืชคนละส่วนกัน (ในเปลือกหรือจุก) ที่สกัดด้วยความเข้มข้นของตัวทำละลายเดียวกัน ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.05$

จากตารางที่ 1 แสดงว่าร้อยละผลผลิต (%yield) สำหรับกลุ่มเปลือก สารสกัดจากเปลือกสูตร B (5% hexane) ให้ค่าร้อยละผลผลิตสูงสุด 6.23±0.72 รองลงมาคือ สารสกัดจากเปลือกสูตร D (20% hexane) ให้ค่าร้อยละผลผลิต 4.12±0.81 สำหรับสารสกัดจากเปลือกสูตร C (10% hexane) ให้ค่าร้อยละผลผลิต 3.73±1.10 ขณะที่สารสกัดจากเปลือกสูตร A (0% hexane) ให้ค่าร้อยละผลผลิตต่ำที่สุดในกลุ่มเปลือก 1.01±0.49 ในส่วนของสารสกัดจุก สารสกัดจากจุกสูตร B (5% hexane) ให้ค่าร้อยละผลผลิตสูงสุด 2.30±0.44 รองลงมา สารสกัดจากจุกสูตร D (20% hexane) ให้ค่าร้อยละผลผลิต 2.15±0.19 สารสกัดจากจุกสูตร C (10% hexane) ให้ค่าร้อยละผลผลิต 1.86±0.26 ขณะที่สารสกัดจากจุกสูตร A (0% hexane) ให้ค่าร้อยละผลผลิตต่ำที่สุดในกลุ่มจุก 1.74±0.30 เมื่อเปรียบเทียบในตัวทำละลายเดียวกัน เปลือกให้ร้อยละผลผลิต (%yield) สูงกว่าจุกทุกสภาวะ โดยเฉพาะที่ 5% hexane ซึ่งเปลือกให้ %yield 6.23±0.72% ในขณะที่จุกให้ %yield 2.30±0.44% สะท้อนว่าตัวทำละลายมีผลต่อปริมาณไฟโตลิพิดที่สกัดได้และเปลือกเป็นแหล่งไฟโตลิพิดที่ดีกว่าจุก ถือว่าน่าพอใจเมื่อเทียบกับการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มหวานที่ให้ผลผลิตเพียง 0.55% โดยมวล (Humaryanto et al., 2023)

2. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ($IC_{50}$)

การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH ของสารสกัดเปลือกและจุกทั้ง 8 ตัวอย่าง (4 สภาวะตัวทำละลาย × 2 ส่วนพืช) ที่ความเข้มข้น 7 mg/mL โดยใช้ Trolox 0.5 mg/mL เป็นมาตรฐาน ให้ค่า $IC_{50}$ ตามตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 2** แสดงค่าผล $IC_{50}$ ± SD ของสารสกัดเปลือกและจุกสับปะรดปัตตาเวียจากตัวทำละลายต่าง ๆ

| สารสกัดจากสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย | อัตราส่วนของตัวทำละลาย (Ethanol: Hexane) | Inhibitory Concentration ± SD (mg/ml) |
|---|---|---|
| สารสกัดจากเปลือกสูตร A | 100: 0 | $1.12\pm0.19^{bB}$ |
| สารสกัดจากเปลือกสูตร B | 95: 5 | $0.46\pm0.07^{aA}$ |
| สารสกัดจากเปลือกสูตร C | 90: 10 | $0.61\pm0.08^{aA}$ |

**ตารางที่ 2** (ต่อ)

| สารสกัดจากสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย | อัตราส่วนของตัวทำละลาย (Ethanol: Hexane) | Inhibitory Concentration ± SD (mg/ml) |
|---|---|---|
| สารสกัดจากเปลือกสูตร D | 80: 20 | $0.73\pm0.05^{aA}$ |
| สารสกัดจากจุกสูตร A | 100: 0 | $0.71\pm0.09^{aA}$ |
| สารสกัดจากจุกสูตร B | 95: 5 | $0.67\pm0.08^{aB}$ |
| สารสกัดจากจุกสูตร C | 90: 10 | $0.65\pm0.14^{aA}$ |
| สารสกัดจากจุกสูตร D | 80: 20 | $0.70\pm0.18^{aA}$ |

**หมายเหตุ** ตัวยกอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก แสดงการเปรียบเทียบส่วนของพืชส่วนเดียวกัน (ในเปลือกหรือจุกเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง) แต่แตกต่างกันที่ความเข้มข้นของตัวทำละลายในการสกัด ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.05$ ส่วนตัวยกอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ แสดงความแตกต่างกันของสารสกัดจากส่วนของพืชคนละส่วนกัน (ในเปลือกหรือจุก) ที่สกัดด้วยความเข้มข้นของตัวทำละลายเดียวกัน ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.05$

สำหรับกลุ่มเปลือก สารสกัดจากเปลือกสูตร A (0% hexane) ให้ค่า $IC_{50}$ สูงสุด (1.12±0.19 mg/mL) แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด ขณะที่สารสกัดจากเปลือกสูตร B (5% hexane) ให้ค่า $IC_{50}$ ที่ (0.46±0.07 mg/mL) แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด สารสกัดจากเปลือกสูตร C (10% hexane) ให้ค่า $IC_{50}$ ที่ 0.61±0.08 mg/mL สารสกัดจากเปลือกสูตร D (20% hexane) ให้ค่า $IC_{50}$ ที่ 0.73±0.05 mg/mL

สารสกัดจากจุกทุกสูตร A, B, C, D (0%, 5%, 10%, 20% hexane) ให้ค่า $IC_{50}$ ไม่ต่างกัน คือ 0.71±0.09, 0.67±0.08, 0.65±0.14, 0.70±0.18 mg/mL ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่า $IC_{50}$ ของสารสกัดเปลือกและสารสกัดจุกมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับงานของ Loizzo et al. (2016) ที่ทดสอบ DPPH ของสารสกัดมะนาว Citrus × limon น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นด้วยน้ำจากเปลือกสดมี มีค่า $IC_{50}$ 1.17 mg/ml ใบที่สกัดโดย SFE ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ β-carotene bleaching test มีค่า DPPH $IC_{50}$ ค่า 2.20 และ 6.66 mg/ml ตามลำดับ จากการทดลองนี้เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยการสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกของสับปะรด พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเปลือกและจุกของสับปะรดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าเพราะมีค่า $IC_{50}$ ที่ต่ำในทุกสภาวะการสกัด ผลยังสอดคล้องกับ Valdés García, A. และคณะปี 2021 นำสารสกัดสับปะรดที่ได้จากส่วนเปลือกและแกนมาทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH assay พบว่า Core S2 และ Peel S2 ที่ให้ค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ต่างกัน

0.39±0.05 mg TE/g และ 0.61±0.04 mg TE/g ตามลำดับ จะเห็นว่าสารสกัดจากเปลือกสับปะรดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าสารสกัดจากแกนสับปะรด จากผลการศึกษาข้างต้นการใช้ตัวทำละลายเดียวกันมาสกัดพืชต่างชนิดกันหรือสกัดส่วนของพืชคนละส่วนกันก็ให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ต่างกัน

3. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระรวม (Total Antioxidant Capacity; TAC)

TAC ของสารสกัดเปลือก (10 mg/mL) และจุก (8 mg/mL) ถูกวัดโดยใช้วิธี phosphomolybdate และรายงานผลเป็น mg Trolox equivalent/g extract (TAC mg TE/g extract) โดยใช้ Trolox 3 mg/mL เป็นมาตรฐาน

**ตารางที่ 3** แสดงค่าผล Total antioxidant capacity (TAC) ของสารสกัดเปลือกและจุกสับปะรดปัตตาเวียจากตัวทำละลายต่างๆ หน่วยเป็น TAC mg Trolox equivalent/g extract (TAC mg TE/g extract)

| สารสกัดจากสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย | อัตราส่วนของตัวทำละลาย (Ethanol: Hexane) | TAC±SD (TAC mg Trolox equivalent/g extract) |
|---|---|---|
| สารสกัดจากเปลือกสูตร A | 100: 0 | 1669.79±82.62$^{bA}$ |
| สารสกัดจากเปลือกสูตร B | 95: 5 | 2106.95±34.11$^{aA}$ |
| สารสกัดจากเปลือกสูตร C | 90: 10 | 1669.79±82.62$^{bA}$ |
| สารสกัดจากเปลือกสูตร D | 80: 20 | 1987.97±109.50$^{aA}$ |
| สารสกัดจากจุกสูตร A | 100: 0 | 1323.53±22.97$^{abB}$ |
| สารสกัดจากจุกสูตร B | 95: 5 | 1124.67±133.52$^{bB}$ |
| สารสกัดจากจุกสูตร C | 90: 10 | 1388.70±130.35$^{aB}$ |
| สารสกัดจากจุกสูตร D | 80: 20 | 685.16±36.27$^{cB}$ |

**หมายเหตุ** ตัวยกอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก แสดงการเปรียบเทียบส่วนของพืชส่วนเดียวกัน (ในเปลือกหรือจุกเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง) แต่แตกต่างกันที่ความเข้มข้นของตัวทำละลายในการสกัด ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.05$ ส่วนตัวยกอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ แสดงความแตกต่างกันของสารสกัดจากส่วนของพืชคนละส่วนกัน (ในเปลือกหรือจุก) ที่สกัดด้วยความเข้มข้นของตัวทำละลายเดียวกัน ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.05$

ผลในตารางที่ 3 แสดงว่า สารสกัดจากเปลือกสูตร B (5% hexane) ให้ค่า TAC สูงสุด 2106.95±34.11 mg TE/g แสดงฤทธิ์อนุมูลอิสระดีที่สุด รองลงมาคือสารสกัดจากเปลือกสูตร D (20% hexane) ให้ค่า TAC 1987.97±109.50 mg TE/g สารสกัดเปลือกสูตร A และ C (0% hexane, 10% hexane) ให้ค่า TAC 1669.79±82.62 mg TE/g เท่ากัน สารสกัดเปลือกสูตร A,C

และ D ให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระไม่ต่างกัน ในสารสกัดจากจุกสูตร C (10% hexane) มีค่า TAC สูงสุดที่ 1388.70±130.35aB mg TE/g รองลงมาเป็นสารสกัดจากจุกสูตร A และ B (0% hexane, 5% hexane) มีค่า TAC 1323.53±22.97 และ 1124.67±133.52 ตามลำดับ สารสกัดจากจุกสูตร A, B และ C ให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีไม่ต่างกัน ส่วนสารสกัดจากจุก D (20% hexane) มีค่า TAC น้อยที่สุด 685.16±36.27 ให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเปลือกและจุกที่ตัวทำละลายเดียวกัน เปลือกให้ค่า TAC สูงกว่าจุกทุกสภาวะอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะที่ 5% hexane ซึ่งเปลือกให้ 2106.95±34.11 mg TE/g ในขณะที่จุกให้เพียง 1124.67±133.52 mg TE/g ผลนี้สอดคล้องกับงานของ Lafraxo et al. (2022) ที่รายงาน TAC ของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือก Juniperus thurifera เพียง 271 mg TE/g ซึ่งต่ำกว่าสารสกัดไฟโตลิพิดจากสับปะรดอย่างชัดเจน และจากงานวิจัยการสกัดรำข้าวด้วยน้ำมันพืช ของปฏิวิทย์ ลอยพิมาย และคณะปี 2563 โดยน้ำมันรำข้าวที่สกัดด้วยน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน มีค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ TAC สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.43 ± 0.05 และ 0.47 ± 0.04 µg BHTE/g ตามลำดับ ในขณะเดียวกันพบว่ารำข้าวที่สกัดด้วยน้ำมันมะพร้าว มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ total antioxidant capacity ต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) 0.09 ± 0.01 µg BHTE/g ในงานวิจัยข้างต้นจะเห็นว่าชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดรำข้าวส่งต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในงานนี้พบเช่นกันว่าตัวทำละลายผสม ethanol: Hexane 95:5 ช่วยเพิ่ม TAC ของเปลือกได้สูงสุด

สารสกัดไฟโตลิพิดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีเกิดจากการสกัดที่ใช้สารละลายแบบผสมที่มีทั้งขั้วสูงขั้วต่ำทำให้ไปละลายสารกลุ่ม Phenolic, Flavonoid ออกมาด้วยทำให้สารสกัดจากเปลือกและจุกของสับปะรดในทุกสภาวะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ แต่จะมากหรือน้อยต่างกันไปในแต่ละสภาวะการสกัด

**ตารางที่ 4** ผลสารประกอบไขมันที่ตรวจพบในจุกและเปลือกสับปะรดที่สกัดด้วยสารละลายชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธี GCMS

| compound | Peel EtOH average area pct | Peel 5% Hexane average area pct | Peel 10% Hexane average area pct | Peel 20% Hexane average area pct | Crown EtOH average area pct | Crown 5% Hexane average area pct | Crown 10% Hexane average area pct | Crown 20% Hexane average area pct |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9,12,15 Octadecatrienoic acid, (Z,Z,Z) (omega-3) | 4.3530 | 3.4069 | 4.4348 | 5.5673 | 6.2605 | 1.6680 | 5.4812 | 7.2581 |
| 9,12,15 Octadecatrienoic acid, ethyl ester, (Z,Z,Z) (omega-3) | 6.4234 | 9.1788 | 7.7832 | 7.1224 | 2.4466 | 1.8890 | 2.5571 | 3.3118 |
| 9,12,15 Octadecatrienoic acid, methyl ester (omega-3) | - | - | - | 0.7966 | - | 1.7657 | - | - |
| 9,12 Octadecadienoic acid (Z,Z) (omega-6) | 8.0610 | 7.1132 | 8.8175 | 7.6118 | 11.4534 | 3.9697 | 16.2329 | 17.9513 |
| 9,12 Octadecadienoic acid (Z,Z) , methyl ester (omega-6) | - | - | 0.4376 | 0.5176 | - | - | - | - |
| Linoleic acid ethyl ester (omega-6) | 9.6642 | 11.8762 | 10.0991 | 7.8956 | - | 4.2330 | 6.5077 | 7.0397 |
| Oleic acid (cis-9-octadecenoic acid) (Omega-9) | 6.7109 | - | 3.5765 | 6.1067 | 8.7307 | 3.2635 | 8.9493 | 9.4151 |
| Ethyl Oleate | - | 2.8807 | 3.2935 | - | - | - | - | - |
| 9-Octadecenoic acid (Z)-, ethyl ester | - | - | - | - | - | 2.8067 | - | 4.1351 |
| 9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)- | - | - | - | 0.4778 | - | 2.7771 | - | - |
| 6-Octadecenoic acid | - | 2.8462 | - | - | - | - | - | - |
| Octadecanoic acid (Stearic acid) | 1.7363 | - | 2.0759 | 1.8681 | - | 1.2544 | 2.0998 | 1.8679 |
| Octadecanoic acid, ethyl ester | 2.1294 | 2.0436 | 2.0169 | 1.7033 | - | 0.7157 | - | - |
| Methyl stearate (Methyl octadecanoate) | - | - | - | - | - | 0.9221 | - | - |
| Heptadecanoic acid, methyl ester | - | - | 1.6481 | - | - | 0.5601 | - | - |
| Heptadecanoic acid, ethyl ester | - | - | - | 0.4469 | - | - | - | - |
| n Hexadecanoic acid (Palmitic acid) | 13.4673 | 15.2477 | 16.1704 | 16.4780 | 22.9163 | 13.6173 | 22.8772 | 1.5441 |
| Hexadecanoic acid, ethyl ester (Ethyl palmitate) | 9.3177 | 10.8981 | 10.2776 | 8.7499 | - | 5.7218 | 4.7409 | 4.5439 |
| Pentadecanoic acid | - | - | 0.4457 | 0.4984 | 0.7501 | 0.3373 | - | 0.7875 |
| Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester | - | 3.2450 | - | 3.9659 | - | - | - | - |

**ตารางที่ 4** (ต่อ)

| compound | Peel EtOH average area pct | Peel 5% Hexane average area pct | Peel 10% Hexane average area pct | Peel 20% Hexane average area pct | Crown EtOH average area pct | Crown 5% Hexane average area pct | Crown 10% Hexane average area pct | Crown 20% Hexane average area pct |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tetradecanoic acid | - | - | 0.6242 | - | - | - | - | - |
| Isopropyl myristate | 0.7568 | - | 0.5366 | - | - | 0.6756 | - | - |
| Dodecanoic acid | - | - | 0.7984 | 0.4830 | - | - | - | - |
| Eicosanoic acid, ethyl ester | - | - | 0.8374 | - | - | - | - | - |
| Pentanoic acid, 4-oxo-, methyl ester | - | - | - | 0.9768 | - | 1.1928 | - | 16.9983 |
| Levulinic acid, ethyl ester | - | - | - | - | - | 1.0415 | - | - |
| Phytol | - | - | 0.7783 | 0.5461 | 1.7449 | - | 2.9824 | - |
| Neophytadiene | - | 1.6293 | 0.9487 | 0.6712 | - | 1.4314 | - | - |

4. องค์ประกอบกรดไขมันจากการวิเคราะห์ GC MS

จากการวิเคราะห์สารสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกของสับปะรดด้วย GC-MS พบสารประกอบไขมันทั้งหมด 28 ตัว ในสารสกัดเปลือกและจุกที่สกัดด้วย Hexane เพิ่มขึ้น เมื่อนำมาวิเคราะห์สารประกอบไขมันจะพบชนิดของไขมันเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Hexane

สารประกอบไขมันที่พบมากในการวิเคราะห์ด้วย GC-MS คือ Palmitic Acid n-Hexadecanoicacid (C16) สูตรโครงสร้างเคมี คือ CH3-(CH2)14-COOH ซึ่ง Palmitic Acid เป็นกรดไขมันอิ่มตัว (สูงสุดในจุก Ethanol) ซึ่งกรดปาล์มิติกเป็นกรดไขมันหลักบนผิวมนุษย์ (Masoodi et al., 2015) แหล่งธรรมชาติที่พบกรด Palmitic Acid เยอะ เช่น ในนมมี Palmitic Acid เป็นกรดไขมันอิ่มตัวหลักประมาณ 25–30% ของกรดไขมันในไขมันนม พบ Palmitic Acid ใน cocoa butter ประมาณ 25–26% ของกรดไขมันทั้งหมด (Ivanova et al., 2015) ไขมันเนยและผลิตภัณฑ์นมมีกรดไขมันอิ่มตัวรวม 50–60% โดยส่วนใหญ่เป็น Palmitic Acid (พร้อมกับ myristic และ stearic acid) (Hoffmann et al., 2017) ในการเปรียบเทียบน้ำมันพืชหลายชนิด palmitic acid ใน olive oil อยู่ที่ประมาณ10–15% ของกรดไขมันทั้งหมด (Nature Portfolio, 2025) น้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil) งานวิเคราะห์น้ำมันพืช 14 ชนิดระบุว่า palmitic acid ในน้ำมันถั่วเหลือง ~10–11%ของกรดไขมันทั้งหมด ในชุดน้ำมันพืชเดียวกัน palmitic acid ในน้ำมันดอกทานตะวันอยู่ที่ประมาณ 6–7% ของกรดไขมันทั้งหมด (Ivanova et al., 2015) ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและเวชสำอาง Palmitic acid ใช้แพร่หลายใน โลชั่น ครีมทาผิว มอยส์เจอไรเซอร์ ช่วยให้เนื้อสัมผัสเนียนข้น เป็น emulsifier และ stabilizer ป้องกันน้ำมันกับน้ำแยกชั้น Ethyl palmitate ถูกใช้เป็น hair and skin

conditioning agent, emollient และ fragrance ingredient ให้สัมผัสนุ่มลื่น ไม่เหนอะหนะ กระจายตัวบนผิวได้ดี และทำหน้าที่ตัวพาสารหอมและสาร lipophilic อื่น ๆ ในสูตรครีม โลชั่น ผลิตภัณฑ์ผม และสกินแคร์ (Belsito et al., 2017; Cosmetic Ingredient Review, 2019)

สารประกอบไขมันที่พบรองลงมา คือ Linoleic Acid (9,12-Octadecadienoic acid (C18:2)) สูตรโครงสร้างเคมี คือ C18H32O2 โอเมก้า 6 - Omega 6 essential fatty acid มีพันธะคู่ 2 ตำแหน่ง (ไม่อิ่มตัว) (พบในจุกที่สกัดด้วย 20% hexane มากที่สุด) Linoleic Acid เป็นส่วนประกอบสำคัญของน้ำมันจากพืช เช่น น้ำมันดอกทานตะวันพบ 48–74% น้ำมันดอกคำฝอยพบ linoleic acid อยู่ที่ 55.1–77.0% ของกรดไขมันทั้งหมด และน้ำมันข้าวโพด พบ linoleic acid เป็นกรดไขมันหลักประมาณ 58–62% ของกรดไขมันทั้งหมด (Gecgel et al., 2007) เป็นกรดไขมันที่จำเป็นที่ต้องได้รับจากอาหาร ความสำคัญต่อโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์และความสมบูรณ์ของผิวหนัง ช่วยเสริมสร้างและซ่อมแซม skin barrier ลดการสูญสียน้ำ และมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ linoleic acid ที่ใช้เป็น emollient และ moisturizing agent ในผลิตภัณฑ์ผิวและผม (Vibrant Skin Bar, 2024)

สารประกอบไขมันที่พบรองลงมาเป็นอันดับ 3 คือ 9,12,15 Octadecatrienoic acid, (Z,Z,Z) (omega-3) สารประกอบไขมันกลุ่ม Alpha-Linolenic Acid (ALA) (Frankel, 1961; Kumarathasanet al., 1992) 9,12,15-Octadecatrienoic acid (C18:3 n-3) สูตรโครงสร้างเคมี คือ C18H30O2 Omega 3 essential fatty acid มีพันธะคู่ 3 ตำแหน่ง (PUFA -polyunsaturated) ถูกเปลี่ยนเป็น EPA/DHA ในร่างกาย พบมากในเปลือกที่สกัดด้วย 5% hexane ALA จากน้ำมันพืช เช่น flaxseed oil, chia oil, perilla oil (de Goede et al., 2014; Giosuè et al., 2021) ในผลิตภัณฑ์ดูแลผิวเป็นส่วนของ emollient และ skin conditioning ช่วยเสริม barrier ลดการสูญเสียน้ำ ปกป้องผิวจาก Oxidative stress มีฤทธิ์ antioxidant (Boukhari et al., 2022) ethyl linoleate, ethyl linolenate นิยมใช้เป็น emollient เบาและตัวพาไขมันในครีม, เซรั่ม และผลิตภัณฑ์บำรุงผิว ช่วยให้ซึมง่ายกว่า triglyceride หนืด ๆ และให้ฟิล์มบางบนผิว (Kumarathasanet al., 1992)

สารประกอบไขมันอันดับที่ 4 คือ 9,12,15-Octadecatrienoic acid, ethyl ester, (Z,Z,Z)- สูตรโครงสร้างเคมี คือ C20H34O2 เป็นสารประกอบไขมันกลุ่ม Alpha-Linolenic Acid (Frankel, 1961; Kumarathasanet al., 1992) โอเมก้า 3 - Omega 3 essential fatty acid มีพันธะคู่ 3 ตำแหน่ง (PUFA -polyunsaturated) ALA เป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ EPA และ DHA ในร่างกาย เป็นกรดไขมันจำเป็น ที่ร่างกายสร้างเองไม่ได้ต้องได้จากอาหาร พบได้ในพืช เช่น เมล็ดแฟลกซ์ (linseed), เมล็ดเจีย, เพอริลลา, วอลนัต, น้ำมันคาโนลา (de Goede et al., 2014; Giosuè et al., 2021) น้ำมันเมล็ดแฟลกซ์/ ลินซีด (flaxseed/ linseed oil) ไขมันจากเมล็ดแฟลกซ์มีมากกว่า 70% เป็น **α**-linolenic acid ของกรดไขมันทั้งหมด (Goyal et al., 2014) งานวิเคราะห์สายพันธุ์

แฟลกซ์ 84 สายพันธุ์ พบช่วง 48.4–58.9% ALA ในกรดไขมันทั้งหมดของน้ำมันเมล็ด (Czernicka et al., 2019) กรดไขมันในน้ำมันเจียมี α-linolenic acid มากกว่า 60–68% ของกรดไขมันทั้งหมด (Coelho et al., 2014) น้ำมันพืชที่มี α-Linolenic Acid (Omega-3) สูง น้ำมันเมล็ดงาขี้มอน/เพอริลลา (perilla seed oil, Perilla frutescens) น้ำมันคาโนลา (canola/ rapeseed oil) น้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil) น้ำมันลินซีด (linseed oil–อีกชื่อของ flaxseed oil) ALA มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ช่วยลดความเสี่ยง metabolic syndrome (Brouwer et al., 2014; Giosuè et al., 2021) มีส่วนช่วยลดการอักเสบในผิวหนัง และร่วมกับโอเมก้า-6 ช่วยให้สมดุลลิพิดของผิวดีขึ้น ส่งผลต่อ barrier ผิวและภาวะผิวอักเสบ ในผลิตภัณฑ์ดูแลผิวน้ำมันที่มี ALA สูงอาจช่วยเรื่องผิวแห้ง ผิวอักเสบ และสุขภาพผิวโดยรวม (Boukhari et al., 2022; Wang et al., 2025)

สารประกอบไขมันที่พบรองลงมา แต่ไม่ได้พบในทุกสภาวะการสกัด (ไม่พบในเปลือก 5%Hexane) คือ Oleic acid (cis-9-octadecenoic acid) สูตรโครงสร้างเคมี คือ C18H34O2 เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาว Omega-9 monounsaturated fatty acid มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง (unsaturated) พันธะคู่แบบ cis ระหว่างคาร์บอนตำแหน่ง 9–10 ของสายโซ่ (PubChem, 2024; Ataman Chemicals, 2009) omega-9 fatty acidพบมากในน้ำมันมะกอก น้ำมันคาโนลา น้ำมันอัลมอนด์ (AlmazaraLa Organic, 2025; DrAxe, 2023) ประโยชน์ของ Oleic acid (cis-9-octadecenoic acid) ที่นำมาใช้ทางเครื่องสำอาง เป็น Emollient และ moisturizer ช่วยให้ผิวนุ่มลื่น ลดความแห้งและผิวลอกโดยสร้างฟิล์มไขมันบนผิวและลดการสูญเสียน้ำ (TEWL) (SpecialChem, 2023; Elchemy, 2025; Clinikally, 2023) เสริม skin barrierช่วยเติมไขมันให้ชั้น stratum corneum ทำให้ barrier แข็งแรงขึ้น ผิวทนต่อสิ่งกระตุ้นภายนอกได้ดีขึ้น (Elchemy, 2025; Clinikally, 2023) Penetration enhancer โครงสร้างที่มีพันธะคู่และสายโซ่ยาวทำให้ oleic acid เปลี่ยนการจัดเรียงลิพิดใน stratum corneum ชั่วคราว จึงใช้เป็นสารช่วยให้ active ต่าง ๆ (วิตามิน เปปไทด์ ฯลฯ) ซึมลึกขึ้น (Procoal, 2022; Elchemy, 2025) ปรับเนื้อสัมผัสสูตร เพิ่มความข้นมัน (rich, buttery feel) ให้ครีม/บาล์ม ทำให้รู้สึกหรูหรา และช่วยคงเสถียรภาพของอิมัลชัน (SpecialChem, 2023; Elchemy, 2025) ข้อควรระวังมีรายงานว่า oleic acid มีค่า comedogenicity ค่อนข้างสูงและใช้เดี่ยว ๆ ความเข้มข้นสูงอาจทำให้ barrier ระคายเคืองในผิวบางประเภท จึงใช้ร่วมกับกรดไขมันอื่น (เช่น linoleic acid) เพื่อลดโอกาสอุดตัน (Procoal, 2022)

สารประกอบไขมันที่พบรองลงมา แต่ไม่ได้พบในทุกสภาวะการสกัด (ไม่พบในจุกที่สกัดด้วย 95%EtOH) คือ Hexadecanoicacid, ethyl ester (Ethyl palmitate) สูตรโครงสร้างเคมี คือ C18H36O2 Fatty acid ethyl ester (FAEE) เกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันระหว่างกรดไขมันสายยาว (palmitic acid, C16:0) กับเอทานอล (ChemicalBook, 2026, January 12; GLPBio,

2024) เป็น neutral lipid ที่ละลายในไขมัน (lipid-soluble neutral form) ไม่มีประจุ ไม่มีขั้ว/ไฮโดรโฟบิก (GLPBio, 2024; Ataman Chemicals, 2009) พืชและน้ำมันที่พบ ethyl palmitate ในระดับสูง เช่น ใบผักตบชวา (Pistia stratiotes) GC-MS ของสารสกัดใบรายงานว่า Hexadecanoicacid, ethyl ester ≈13.29% ขององค์ประกอบทั้งหมด (Tyagi & Agarwal, 2017), ถั่วลูกไก่ (chickpea, Cicer arietinum) Ethyl palmitate และอนุพันธ์ palmitate (เช่น ethylhexyl palmitate) ถูกใช้ในสกินแคร์/เมกอัพ เป็น Emollient และ skin-conditioning agent เพื่อทำให้ผิวนุ่มลื่น ลดการสูญเสียน้ำ และให้ผิวสัมผัสเนียนบางไม่เหนอะหนะ/ Texture & spreadability enhancer ทำให้ครีม โลชั่น และเมกอัพเกลี่ยง่าย ให้สัมผัสแบบซิลกี้จึงมักถูกใช้แทนซิลิโคนในสูตร “clean beauty” Solvent/ carrier ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายสำหรับ UV filters และ active อื่น ๆ ช่วยให้กระจายตัวสม่ำเสมอในสูตร โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์กันแดดและเมกอัพ (SpecialChem, 2022; Bioxin, 2025)

สารประกอบไขมันที่พบในการสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกของสับปะรดสารพันธุ์ปัตตาเวีย เช่น Alpha-Linolenic Acid (ALA) 9,12,15-Octadecatrienoic acid (C18:3 n-3) $C_{20}H_{34}O_2$ เป็นสารกลุ่มโอเมก้า 3 - Omega 3 essential fatty acid ช่วยเสริม barrier ลดการสูญเสียน้ำ ปกป้องผิวจาก Oxidative stress มีฤทธิ์ antioxidant และสารกลุ่ม Linoleic Acid 9,12-Octadecadienoic acid (C18:2) สูตรโครงสร้างเคมี คือ $C_{18}H_{32}O_2$ เป็นสารกลุ่มโอเมก้า 6 - Omega 6 essential fatty acid มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ เมื่อการอักเสบลดลงอนุมูลอิสระก็ลดลงด้วย

**สรุปและอภิปรายผล ข้อเสนอแนะ**

1. สรุปและอภิปรายผล

การสกัดไฟโตลิพิดจากเปลือกและจุกสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียด้วย Ultrasonic assisted extraction และตัวทำละลาย 95% ethanol: n Hexane พบว่าการใช้ 5% hexane ให้ร้อยละผลผลิต (%yield) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (ทั้ง $IC_{50}$ ของ DPPH และ TAC) ของสารสกัดเปลือกดีที่สุด ในขณะที่จุกให้ผลรองลงมาแต่ยังมีศักยภาพดี สารสกัดมี PUFA สำคัญ (ALA, linoleic), MUFA (oleic), SFA (palmitic, stearic) และ diterpenoids (phytol, neophytadiene) ซึ่งมีบทบาททั้งทางโภชนเภสัชและเครื่องสำอาง สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่ใช้ GC MS วิเคราะห์กรดไขมันในพืชและสาหร่าย

ผลการวิจัยนี้จึงสนับสนุนว่าของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมสับปะรด โดยเฉพาะเปลือกสามารถเป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับพัฒนาไฟโตลิพิดใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมและเครื่องสำอางต้านอนุมูลอิสระ โดยการเลือกสภาวะตัวทำละลายและสัดส่วนที่เหมาะสม เช่น 95% ethanol:Hexane

95:5 ร่วมกับเทคนิคอัลตราซาวด์ จะช่วยเพิ่มทั้งปริมาณและคุณภาพของสารสกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ข้อเสนอแนะ

ด้านวัตถุดิบพืช การเก็บตัวอย่างควรคำนึงถึงแหล่งเพาะปลูก (ดิน น้ำ สภาพอากาศ) และฤดูกาลหรือช่วงเวลาเก็บเกี่ยว เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้อาจส่งผลต่อชนิดและปริมาณสารประกอบต่าง ๆ รวมถึงสารประกอบไขมันในสับปะรด ซึ่งอาจทำให้ผลการทดลองแตกต่างกันระหว่างชุดตัวอย่าง

ด้านเทคนิคการสกัดและตัวทำละลาย แม้การศึกษาใช้เทคนิค ultrasonic extraction ร่วมกับตัวทำละลาย 95% ethanol และ Hexane ในหลายอัตราส่วน แต่ในอนาคตสามารถขยายไปใช้เทคนิคสกัดอื่น ๆ (เช่น SFE, MAE, ASE) หรือเลือกตัวทำละลายชนิดและความเข้มข้นอื่น เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดไฟโตลิพิดและคุณสมบัติทางชีวภาพเพิ่มเติม

ด้านการวิเคราะห์เชิงปริมาณ การวิเคราะห์ด้วย GC MS ในงานนี้ให้ข้อมูลชนิดของกรดไขมันที่พบ แต่ยังไม่ทราบค่าปริมาณเชิงมวล (เช่น mg/g extract) อย่างชัดเจน ซึ่งอาจไม่เพียงพอสำหรับอธิบายหรือเปรียบเทียบศักยภาพทางโภชนเภสัชและการใช้ประโยชน์เชิงสูตรตำรับ จึงควรมีการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพิ่มเติมในงานวิจัยถัดไป (เช่น GC FID พร้อม internal standard)

**รายการอ้างอิง**

ดวงเพ็ญ ปัทมดิลก. (2566). กระบวนการเตรียมสารสกัดสมุนไพร. *วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก, 21*(3), 688-702.

ไทยเซ็นทรัลเคมี. (2566). *ทำความรู้จักกับสับปะรดในประเทศไทย “พืชเศรษฐกิจที่หลายคนมองข้าม.* https://kasettemsood.com

ธนพรรณ 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.

ปฏิวิทย์ ลอยพิมาย, ทิพรักษ์ วงษาดี 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.

ศิริรัตน์ ชาญไววิทย์, อภินทร์พร ทวีพรกุลพัฒน์, ปิยะวรรณ ศรีวิลาศ และสุนันทา วังกานต์. (2557). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและวิเคราะห์กรดไขมันจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงด้วยเทคนิค GC-FID ใช้คอลัมน์ DB-225 ความยาว 20 เมตร. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย* ครั้งที่ 6 วันที่ 20 – 21 มีนาคม พ.ศ. 2557 (หน้า 365-379). มหาวิทยาลัยบูรพา.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559). *สถิติการเกษตร ปี 2559*. http://www.agriinfo.doae.go.th/year59/plant/april59/short/pineapple.pdf?utm_source=perplexity

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2565). *อัพเดทมูลค่า ~24,000 ล้านบาท สัดส่วนส่งออก 52.3%.* http://web.oae.go.th

Ahmad, A., & Ahsan, H. (2020). Lipid-based formulations in cosmeceuticals and biopharmaceuticals. *Biomedical Dermatology, 4*(12), 1-10.

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.

Ataman Chemical. (2009). C16 palmitic acid. *Ataman Kimya.* https://www.atamanchemicals.com/c16-palmitic-acid_u29185/

Ataman Kimya. (2009). Oleic acid (C18:1). *Ataman Chemicals.* https://www.atamanchemicals.com/oleic-acid_u23535/

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.

Bio-Xin Cosmeceuticals. (2025, July 4). Sunscreen. *Bio-Xin.* https://bioxin.com/category/skin-care-products-sunscreen.

Boukhari, M., Haftek, M., & Duplan, H. (2022). α-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 α-linolenic acid on cardiovascular disease in humans: A review of the evidence. *Progress in Lipid Research, 53*, 60–69.

ChemicalBook. (2026, January 12). Palmitic acid ethyl ester | 628-97-7. *ChemicalBook.* https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB9854033.htm.

Clinikally. (2023, November 28). What is transepidermal water loss and how does it affect your skin? *Clinikally*. https://www.clinikally.com/blogs/news/what-is-transepidermal-water-loss-and-how-does-it-affect-your-skinclinikally

Coelho, M. S., de Las Mercedes Salas-Mellado, M., de Souza, A. H., & Dallagnol, A. M. (2014). Chemical characterization of chia (Salvia hispanica L.) seed oil for use as a food ingredient. *Journal of Food and Nutrition Research, 2*(5), 263–269.

Cosmetic Ingredient Review. (2019). *Safety assessment of fatty acids and fatty acid salts.* https://www.cir-safety.org/sites/default/files/Fatty% 20Acids.pdfcymitquimica

Czernicka, M., Kaczmarek, Z., Walkowiak, M., & Silska, G. (2019). Comparative analysis of fatty acid composition in 84 accessions of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Pre-Clinical and Clinical Research, 13*(3), 118–129. https://doi.org/10.26444/jpccr/111889

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.2004.01.031sciencedirect

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.

Dr. Axe. (2023, April 27). Oleic acid: Top 9 uses & benefits of this healthy fat. *DrAxe.com*. https://draxe.com/nutrition/oleic-acid/

Elchemy. (2025, May 8). Oleic acid for skin: Benefits & emollient formulation insights. *Elchemy.* https://elchemy.com/blogs/personal-care/oleic-acid-for-skin-formulation-benefits-its-role-in-emollient-manufacturing

Frankel, E. N., Evans, C. D., McConnell, D. G., Selke, E., & Dutton, H. J. (1961). Autoxidation of Methyl Linolenate. Isolation and Characterization of Hydroperoxides2. *The Journal of Organic Chemistry, 26*(11), 4663-4669.

Gecgel, U., Demirci, M., Esendal, E., & Tasan, M. (2007). Fatty acid composition of the oil from developing seeds of different varieties of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of the American Oil Chemists' Society, 84*(1), 47–54.

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.

GLPBio. (2024, October 31). Palmitic acid ethyl ester (ethyl hexadecanoate, ethyl palmitate). *GLPBio*. https://www.glpbio.com/palmitic-acid-ethyl-ester.htmlglpbio+1

Goyal, A., Sharma, V., Upadhyay, N., Gill, S., & Sihag, M. (2014). Flax and flaxseed oil: An ancient medicine & modern functional food. *Journal of Food Science and Technology, 51*(9), 1633–1653. https://doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9

Hoffmann, M. (2017). Fatty acid composition of blended spreads. Polish Journal of *Food and Nutrition Sciences, 67*(1), 45–52.

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.

Ivanova, P., Chalova, V., Koleva, L., Pishtikov, P., Tsankova, M., & Radeva, I. (2015). Fatty acids composition of vegetable oils and its contribution to nutritional value and stability. *Molecules, 20*(1), 160–172.

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 Jardan, 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

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.

National Center for Biotechnology Information. (2024). PubChem compound summary for CID 445639, oleic acid. *PubChem.* https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/445639

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.

Pradabsang, C., Saengwiman, S., Srisawat, S., & Yipong, I. (2023). Solvent Optimization of Pitang Leaves (Gynochthodes sublanceolata 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

Procoal. (2022). Oleic acid (also known as omega-9 fatty acid). *Procoal London*. https://procoal.co.uk/blogs/skin-school/oleic-acid-also-known-as-omega-9-fatty-acidprocoal

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.

SpecialChem. (2022, November 13). Ethylhexyl palmitate (emollient): Cosmetic ingredient INCI. *SpecialChem Cosmetics*. https://www.specialchem.com/cosmetics/inci-ingredients/ethylhexyl-palmitate

SpecialChem. (2023, June 22). Oleic acid (skin care): Cosmetic ingredient INCI. *SpecialChem Cosmetics*. https://www.specialchem.com/cosmetics/inci-ingredients/oleic-acid

Tyagi, T., & Agarwal, M. (2017). Phytochemical screening and GC-MS analysis of bioactive constituents in the ethanolic extract of Pistia stratiotes L. and Eichhornia crassipes (Mart.) Solms. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 6*(1), 137–143.

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.

Vibrant Skin Bar. (2024). *Linoleic acid for skin: Key benefits and uses*. Retrieved March 28, 2026, from https://vibrantskinbar.com/blog/linoleic-acid-for-skin/

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, 11*(10), 1399.

Wang, X., Li, Y., Zhang, Z., & Chen, L. (2025). Specialized pro-resolving lipid mediators and dietary omega-3/6 polyunsaturated fatty acids in inflammatory skin diseases. *Antioxidants*, *15*(1), 9.

Yuenyong, J., Pokkanta, P., Phuangsaijai, 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. *Heliyon, 7*(2).