



วิทยานิพนธ์

การศึกษากกรรมวิธีการกำจัดกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสด

STUDY ON VIRGIN COCONUT OIL
ODOR REMOVAL PROCESSES

นางสาวสุรีพร สว่าง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

การศึกษากิจกรรมวิธีการกำจัดกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสด

Study on Virgin Coconut Oil Odor Removal Processes

นามผู้วิจัย นางสาวสุริพร สว่าง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์สุคนธ์ชื่น ศรีงาม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรณีย์ จิระภาคย์กุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุญย์ ถังจอนันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษากิจกรรมวิธีการกำจัดกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสด

Study on Virgin Coconut Oil Odor Removal Processes

โดย

นางสาวสุรีพร สว่าง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2551

สุริพร สว่าง 2551: การศึกษากรรมวิธีการกำจัดกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสด ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์สุคนธ์ชื่น ศรีงาม, Ph.D. 110 หน้า

น้ำมันมะพร้าวสดเป็นน้ำมันที่มีมูลค่าสูง เนื่องจากการนำมาเป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร แต่อย่างไรก็ตามมีกลุ่มผู้บริโภคบางกลุ่มไม่ยอมรับกลิ่นตามธรรมชาติของน้ำมันมะพร้าวสดรวมทั้งการผลิตน้ำมันมะพร้าวสดโดยธรรมชาติจากการหมักก็มีโอกาสทำให้เกิดกลิ่นเน่าเสียจากเชื้อแบคทีเรีย และกลิ่นหืนแบบคีโตนิค จากเชื้อรา งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะกำจัดกลิ่นตามธรรมชาติและกลิ่นจากกระบวนการหมัก เพื่อเพิ่มมูลค่า และกำจัดกลิ่นที่ไม่เป็นที่ยอมรับในน้ำมันมะพร้าวสดที่เสื่อมคุณภาพจากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ โดยใช้กระบวนการกำจัดกลิ่น 3 วิธี ในการกำจัดกลิ่นน้ำมันเน่าเสีย เพื่อคัดเลือกระบวนการที่เหมาะสมที่สุด วิธีแรกได้แก่การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส สกัดจำนวน 3 4 และ 5 ครั้ง วิธีที่สองได้แก่การกลั่นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 3 และ 4 ชั่วโมง และวิธีที่สามได้แก่การกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนที่อัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน 0.2 0.3 และ 0.4 บาร์ เป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที ตามลำดับ หลักเกณฑ์การพิจารณาเพื่อคัดเลือกรสชาติของแต่ละวิธีคือ การจัดอันดับความแรงของกลิ่นโดยผู้ที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดด้วยน้ำคือ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส สกัดจำนวน 5 ครั้ง การกลั่นด้วยไอน้ำคือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง และการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนคือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน 0.2 บาร์ เวลา 20 นาที เมื่อเปรียบเทียบวิธีการ 3 วิธี ในสภาวะที่เหมาะสม พบว่าการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้กลิ่นที่อ่อนที่สุด จากนั้นจึงทำการทดสอบกำจัดกลิ่นของน้ำมันกลั่นธรรมชาติ น้ำมันกลั่นเน่าเสียและน้ำมันกลั่นคีโตนิค โดยทดสอบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นแบบเปรียบเทียบคู่ พบว่าผู้ทดสอบสามารถแยกความแตกต่างของกลิ่นทุกชนิดได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันอิสระและสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่างในน้ำมันที่ถูกกำจัดกลิ่นแล้วมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันกลั่นเน่าเสียลดลงมากที่สุดจาก 0.38 เหลือ 0.24 เปอร์เซ็นต์ (คิดเป็นกรดลอริก) และ 0.21 เหลือ 0.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันโดยเครื่อง GC-MS พบว่าการกำจัดกลิ่นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบกรดไขมันแต่ยังคงอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานน้ำมันมะพร้าวสด Asian and Pacific Coconut Community และจากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหย พบสารระเหยในกลุ่มคีโตน เอสเทอร์ กรดอินทรีย์ และแอลกอฮอล์ เป็นสารให้กลิ่นในน้ำมันมะพร้าวสด การกลั่นกำจัดกลิ่นทำให้สารระเหยเหล่านี้มีความเข้มข้นสัมพัทธ์ลดลง ดังนั้นการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนจึงเป็นกระบวนการที่ดีสำหรับการกำจัดกลิ่นทั้ง 3 ชนิด คือ กลิ่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบคีโตนิคในน้ำมันมะพร้าวสด

Sureeporn Swang 2008: Study on Virgin Coconut Oil Odor Removal Processes. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Sukoncheun Sringam, Ph.D. 110 pages.

Virgin coconut oil (VCO) has high economic value since it can be used as an ingredient of supplementary food products. However, some consumers do not accept natural coconut oil odor. VCO is normally produced by natural fermentation process, that has chance to have repulsive odors; putrid odor from bacteria and ketonic odor from mould contamination. The objective of this research is to remove unacceptable odors from VCO in order to remedy VCO from putrid and ketonic odors and add value to no odor VCO. Three odor removal processes were studied using putrid oil. The first, water extraction was tested at 75 85 and 95 °C for 3 4 and 5 times. The second, steam distillation was tested at 80 90 and 100 °C for 2 3 and 4 hours. And the third, nitrogen distillation was tested at 90 °C, nitrogen feed rate 0.2 0.3 and 0.4 bar for 20 30 and 40 minutes. The selection of suitable condition for each process was based on odor intensity ranking by 10 trained panelists. The suitable conditions of water extraction was 75 °C for 5 times, steam distillation was 90 °C for 3 hours and nitrogen distillation was nitrogen feed rate 0.2 bar for 20 minutes. When three odor removal processes at their suitable conditions were compared, the nitrogen distillation gave the weakest odor. Therefore, nitrogen distillation was the most suitable process for remove odor of VCO. Nitrogen distillation was then used for odor removal of control, putrid and ketonic oils. Intensity before and after odor removal of each kind of oil were compared by 30 trained panelists using comparison test. Most panelists could tell the difference. Furthermore, free fatty acid content and unsaponifiable matter of odor removed oils tended to decrease, especially in putrid oil, were decreased from 0.37 to 0.24% (as lauric acid) and 0.21 to 0.06% (by weight), respectively. The odor removal have effect on fatty acid compositions of all oils, determined by GC-MS but still within the range of Asian and Pacific Coconut Community standard. Quantification and identification of volatile compounds, it was found ketone, ester, acid, and lactone that were aroma compounds in coconut oil. The odor removal have effect on relative concentration to decrease. It can be concluded that nitrogen distillation can be used for removal of all 3 kinds of odor; natural, putrid and ketonic from VCO.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุคนธ์ชื่น ศรีงาม ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านคำปรึกษา แนวคิด เป็นแบบอย่างในการทำงาน ท่านสำหรับงานวิจัย ตลอดจนตรวจสอบและให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณิ จิรภาคย์กุล กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ดร.อุทัย กลิ่นเกษร ประธานการสอบ และรองศาสตราจารย์ ดร.ลักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้ามีความสำนึกในพระคุณของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้การอบรมสั่งสอน ให้ความรู้และคำแนะนำทางวิชาการ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้สนับสนุนการศึกษาและเป็นกำลังใจในการดำเนินชีวิตเสมอมา ขอขอบคุณพี่ เพื่อนและน้องๆ สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือตลอดเวลาของการศึกษา จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงอย่างสมบูรณ์

สุรีพร สว่าง

เมษายน 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	39
ผลและวิจารณ์	46
สรุปและข้อเสนอแนะ	76
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	79
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	90
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส	100
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	103
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	110

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีและน้ำมันมะพร้าวสด	5
2	องค์ประกอบบางชนิดของน้ำมันต่างๆ	6
3	ชนิดของแก๊สโทนที่สังเคราะห์โดยยีสต์และรา	25
4	ความเข้มข้นต่ำสุดที่รับกลิ่นได้ (threshold) ของกรดไขมันบางชนิด	27
5	ชนิดและปริมาณกรดไขมันในเนื้อมะพร้าวแห้งที่มีกลิ่นหืนและไม่หืนแบบทีโตนิก	30
6	ผลของอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการสกัดต่อความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดเน่าเสีย	48
7	ผลของอุณหภูมิและเวลาการกลั่นด้วยไอน้ำต่อความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดเน่าเสีย	50
8	ผลของอัตราการป้อนก๊าซในโตรเจนและเวลาการกลั่นด้วยก๊าซในโตรเจนต่อความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดเน่าเสีย	51
9	ผลของวิธีกำจัดกลิ่นต่อความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดเน่าเสีย	53
10	ผลการทดสอบความแตกต่างด้านกลิ่นของน้ำมันมะพร้าวสดก่อนและหลังกำจัดกลิ่นด้วยวิธีเปรียบเทียบคู่	56
11	ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นทีโตนิก ก่อนและหลังกำจัดกลิ่นด้วยการกลั่นด้วยก๊าซในโตรเจน	61
12	ชนิดและความเข้มข้นของสารระเหย (ppb) ที่วิเคราะห์พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นทีโตนิก ก่อนและหลังกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซในโตรเจน	67

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ค1 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลิ้งน้ำมันมะพร้าวสดหลังการกำจัดกลิ้งโดยการสกัดกลิ้งด้วยน้ำ เมื่อแปรผันอุณหภูมิ 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส จำนวนการสกัด 5 ครั้ง	104
ค2 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลิ้งน้ำมันมะพร้าวสดหลังการกำจัดกลิ้งโดยการสกัดกลิ้งด้วยน้ำ เมื่อแปรผันจำนวนการสกัด 4 5 และ 6 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส	104
ค3 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลิ้งน้ำมันมะพร้าวสดหลังการกำจัดกลิ้งโดยการกลิ้งด้วยไอน้ำ เมื่อแปรผันอุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	105
ค4 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลิ้งน้ำมันมะพร้าวสดหลังการกำจัดกลิ้งโดยการกลิ้งด้วยไอน้ำ เมื่อแปรผันเวลาสกัด 2 3 และ 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	105
ค5 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลิ้งน้ำมันมะพร้าวสดหลังการกำจัดกลิ้งโดยการกลิ้งด้วยก๊าซไนโตรเจน เมื่อแปรผันอัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน 0.2 0.3 และ 0.4 บาร์ เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	106
ค6 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลิ้งน้ำมันมะพร้าวสดหลังการกำจัดกลิ้งโดยการกลิ้งด้วยก๊าซไนโตรเจน เมื่อแปรผันเวลากลิ้ง 20 30 และ 40 นาที ที่อัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน 0.2 บาร์	106
ค7 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลิ้งน้ำมันมะพร้าวสดเน่าเสีย หลังการกำจัดกลิ้งโดยการสกัดด้วยน้ำ กลิ้งด้วยไอน้ำ และกลิ้งด้วยก๊าซไนโตรเจน	107
ค8 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันมะพร้าวสดเน่าเสีย หลังการกำจัดกลิ้งโดยการสกัดด้วยน้ำ กลิ้งด้วยไอน้ำ และกลิ้งด้วยก๊าซไนโตรเจน	107

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ค9	การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลั่นน้ำมันมะพร้าวสดกลั่น ธรรมชาติ กลั่นเน่าเสีย และกลั่นหั่นแบบคีโตนิค ก่อนและหลังกำจัดกลั่น โดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน 108
ค10	การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวสด กลั่นธรรมชาติ กลั่นเน่าเสีย และกลั่นหั่นแบบคีโตนิค ก่อนและหลังกำจัด กลั่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน 108
ค11	การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องปริมาณสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่างในน้ำมัน มะพร้าวสดกลั่นธรรมชาติ กลั่นเน่าเสีย และกลั่นหั่นแบบคีโตนิค ก่อน และหลังกำจัดกลั่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน 109

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กลไกการย่อย ดูดซึม และขนส่งไตรเอซิลกลีเซอรอลโมเลกุลสายปานกลาง และสายยาว	9
2	โครงสร้างวิตามินอีกลุ่มโทโคฟีรอล (tocopherol) และโทโคไตรีนอล (tocotrienol)	11
3	การเกิดชั้นน้ำรอบอนุภาคน้ำมัน (hydration layer)	18
4	สูตรโครงสร้างของแกมมาแอลกอฮอล์และเดลตาแอลกอฮอล์	23
5	การสังเคราะห์แอลกอฮอล์โดยรา	26
6	การเกิดปฏิกิริยาปิตา-ออกซิเดชันของกรดไขมัน ได้เป็นสารลิพิด และแอลกอฮอล์	29
7	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (% คิดเป็นกรดลอริก) ของน้ำมันมะพร้าวสด กลิ่นเน่าเสีย จากการสกัดด้วยน้ำ กลั่นด้วยไอน้ำและกลั่นด้วยก๊าซ ในโตรเจน	54
8	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (% คิดเป็นกรดลอริก) ของน้ำมันมะพร้าวสด 3 ชนิด จากการกลั่นด้วยก๊าซในโตรเจน	57
9	ปริมาณสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่าง (%) ของน้ำมันมะพร้าวสด 3 ชนิด จากการกลั่นด้วยก๊าซในโตรเจน	59
10	ปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของสารประกอบในกลุ่มต่างๆ ที่พบ ในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบคีโตนิก	71
ภาพผนวกที่		
ก1	โครมาโทแกรมของกรดไขมันที่วิเคราะห์พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซในโตรเจน	94
ก2	โครมาโทแกรมของกรดไขมันที่วิเคราะห์พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นเน่าเสียก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซในโตรเจน	95

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก3	โครมาโทแกรมของกรดไขมันที่วิเคราะห์พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลั่น ทีโตนิกก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน	96
ก4	โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลั่น ธรรมชาติก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน	97
ก5	โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นน้ำ เสียก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน	98
ก6	โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลั่น ทีโตนิกก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน	99

การศึกษากรรมวิธีการกำจัดกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสด

Study on Virgin Coconut Oil Odor Removal Processes

คำนำ

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์โดยปกติเป็นน้ำมันผ่านกรรมวิธี ซึ่งผลิตจากเนื้อมะพร้าวตากแห้ง (copra) นำมาแยกน้ำมันออกด้วยเครื่องบีบแบบสกรู (screw press) ทำให้ได้น้ำมันมะพร้าวคุณภาพต่ำ เนื่องจากเนื้อมะพร้าวเกิดการเน่าเสียระหว่างตาก และมีการใช้ความร้อนสูงในการบีบน้ำมัน ความร้อนอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำลายโครงสร้างโมเลกุลกรดไขมัน (fatty acid) และสารโทโคฟีรอล (tocopherol) ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นน้ำมันและการลดลงของวิตามินอี (Shaikh, 2002)

น้ำมันมะพร้าวที่สามารถใช้บริโภคได้โดยไม่ต้องผ่านกรรมวิธี เรียกว่าน้ำมันมะพร้าวสด (virgin coconut oil) (Villarino *et al.*, 2007) มีการนำน้ำมันมะพร้าวสดมาใช้บริโภคโดยตรงเพื่อเป็นยาและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร เพราะเชื่อว่าน้ำมันมะพร้าวสดมีวิตามินและสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ประกอบกับมีรายงานว่าน้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลโมเลกุลสายปานกลางที่สามารถลดระดับคอเลสเตอรอล ซึ่งนำไปสู่การลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดและโรคหัวใจ (Marten, 2006)

น้ำมันมะพร้าวสดมีสีใส มีกลิ่นอ่อนถึงแรงขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต วิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวสดแต่ดั้งเดิม คือ วิธีการหมักกะทิด้วยจุลินทรีย์ธรรมชาติที่ปนเปื้อนอยู่ในเนื้อมะพร้าวเพื่อให้จุลินทรีย์สร้างเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่หุ้มรอบอนุภาคน้ำมัน ทำให้อนุภาคน้ำมันรวมตัวกันเป็นชั้นน้ำมัน แยกออกจากส่วนอื่นๆ ได้ แต่การผลิตโดยวิธีการนี้มีโอกาสเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ เนื่องจากการควบคุมสภาวะการผลิตไม่ดี ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์จากการย่อยโปรตีนในกะทิ (กลิ่นเน่าเสีย) และจากการย่อยน้ำมันได้เป็นกรดไขมันอิสระที่มีกลิ่นเฉพาะตัว คือ กรดคาปริลิกให้กลิ่นหืน กรดคาปริกให้กลิ่นคล้ายไข (Rossell, 1994) เชื้อรามีการสร้างเอนไซม์ไลเปส (lipase) ย่อยสลายโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล เพื่อใช้เป็นอาหารได้เป็นกรดไขมันอิสระ กรดไขมันอิสระจากน้ำมันมะพร้าวมีขนาดโมเลกุลปานกลาง จึงเกิดการดูดซับบนโมซีเลียมของเชื้อรา ทำให้ระบบหายใจและกระบวนการย่อยสลายกรดไขมันแบบบีตา-

ออกซิเดชัน (β -oxidation) ของเชื้อราบกพร่อง การเกิดออกซิเดชันจึงหยุดที่กรดปีตา-คีโต (β -keto) แล้วเกิดการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการกระทำของเอนไซม์ดีคาร์บอกซิเลส (decarboxylase) และเปลี่ยนกรดปีตา-คีโตเป็นสารเมทิลคีโตน (methyl ketone) (กลิ่นคีโตนิก) ตามลำดับ (Kellard *et al.*, 1985; Moran and Rajah, 1994)

สุคนธ์ชื่น และ ศิริวรรณ (2532) ศึกษากลิ่นหืนที่เกิดขึ้นกับน้ำมันมะพร้าว พบว่ากลิ่นที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและคีโตนิกให้กลิ่นที่มีความรุนแรงมากกว่าที่เกิดจากออกซิเดชัน นอกจากนี้ น้ำมันมะพร้าวสดยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากกลิ่นตามธรรมชาติที่ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคบางกลุ่ม ซึ่งกลิ่นตามธรรมชาติในน้ำมันมะพร้าวสดเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เกิดเป็นอนุพันธ์ของลิปิด คือ แล็กโตน ซึ่งเป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก ระเหยง่าย (Shaikh, 2002)

การกำจัดสารให้กลิ่นซึ่งไม่เป็นที่ต้องการออกจากน้ำมันมะพร้าวสดด้วยวิธีและสภาวะที่เหมาะสม ให้น้ำมันมะพร้าวสดที่ปราศจากกลิ่นน้ำมันมะพร้าว กลิ่นเน่าเสียและกลิ่นหืนแบบคีโตนิก จึงเป็นการขยายขอบเขตการใช้งานน้ำมันมะพร้าวสด และเป็นการแก้ไขกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากความผิดพลาดในการควบคุมการผลิต สามารถนำน้ำมันนั้นกลับมาใช้ได้ เป็นทั้งการลดการสูญเสียและลดปัญหาการกำจัดน้ำมันที่เสื่อมคุณภาพ

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการสกัดต่อความสามารถในการกำจัดกลิ่นจากน้ำมันมะพร้าวสดโดยการสกัดด้วยน้ำ
2. ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาต่อความสามารถในการกำจัดกลิ่นจากน้ำมันมะพร้าวสดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ
3. ศึกษาอิทธิพลของอัตราการป้อนก๊าซในโตรเจนและเวลาต่อความสามารถในการกำจัดกลิ่นจากน้ำมันมะพร้าวสดโดยการกลั่นด้วยก๊าซในโตรเจน
4. เปรียบเทียบวิธีการกำจัดกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสด 3 วิธี ที่สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละวิธี
5. ศึกษาอิทธิพลของวิธีการกำจัดกลิ่นที่เหมาะสม ต่อการกำจัดกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสด 3 แบบ คือ กลิ่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบคีโตนิค

การตรวจเอกสาร

1. น้ำมันมะพร้าว

พืชน้ำมันมีหลายชนิด เช่น มะพร้าว ปาล์ม เมล็ดฝ้าย เมล็ดทานตะวัน งา ดอกคำฝอย และถั่วเหลือง เป็นต้น พืชเหล่านี้อาจใช้บริโภคโดยตรง และเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมัน น้ำมันดิบที่ได้จากพืชน้ำมันจะต้องนำมาทำจัดกรด ฟอกสี ฟอกกลิ่น เพื่อให้เหมาะสมต่อการบริโภค น้ำมันที่ได้เรียกว่าน้ำมันผ่านกรรมวิธี (Refined Bleached Deodorized Oil) เนื้อในผลมะพร้าว (kernel) มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ 34-45% และมีมากขึ้นในเนื้อมะพร้าวอบแห้งเป็น 60-70% (Thieme, 1968) จึงสามารถใช้เนื้อมะพร้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันมะพร้าว (coconut oil) ในประเทศไทยมีการใช้น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีที่ผลิตจากมะพร้าวตากแห้งเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น การผลิตเนยเทียม ผลิตภัณฑ์จากนมและน้ำมันทอด และปัจจุบันมีความนิยมน้ำมันมะพร้าวสด (virgin coconut oil) เพื่อใช้บริโภคเป็นยาและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร น้ำมันมะพร้าวสดผลิตจากการบีบคั้นเนื้อมะพร้าวโดยอาจมีการเติมน้ำหรือไม่ก็ได้ น้ำที่เติมลงไปจะชะล้างน้ำมันที่อยู่ในเนื้อมะพร้าวออกมาในรูปของกะทิ และแยกน้ำมันมะพร้าวออกจากกะทิโดยการทำให้มีล้นชั้นเสียความคงตัว

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันมะพร้าว

น้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอล 84-93.1% ที่เหลือเป็น 1,2-ไดเอซิลกลีเซอรอล 1.5-5.1% 1,3-ไดเอซิลกลีเซอรอล 1.2-2.1% โมโนกลีเซอไรด์ 1-7% กรดไขมันอิสระ 1-2.6% ฟอสฟอลิปิด 0.03-0.4% ไกลโคลิปิด 0.2-0.35% และสเตอรอล 0.1% (Gopalakrishnan *et al.*, 1987; Salunkhe *et al.*, 1992) น้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) มากกว่า 90% มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว คือ กรดโอเลอิก (oleic acid) และกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ประมาณ 10% กรดไขมันอิ่มตัวที่มีปริมาณมากที่สุด คือ กรดลอริก (lauric acid) ประมาณ 40-50% จึงเรียกว่าน้ำมันลอริก (lauric oil) รองลงมา คือ กรดไมริสติก (myristic acid) 13-19% และกรดปาล์มิติก (palmitic acid) 4-18% ดังแสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้ยังพบกรดไขมันอิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (C6:0-C10:0) ทำให้น้ำมันมะพร้าวมีจุดหลอมเหลว 24-27 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิในการแข็งตัวที่ 25 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าเล็กน้อย อายุการเก็บ

เกี่ยวมะพร้าวมีผลต่อกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน น้ำมันที่ได้จากมะพร้าวผลแก่มีกรดไขมันอิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและกรดลอริกในปริมาณมากกว่าที่ได้จากมะพร้าวผลอ่อน ในทางตรงกันข้ามน้ำมันที่ได้จากมะพร้าวผลอ่อนมีกรดปาล์มติก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิกในปริมาณสูง และลดลงในมะพร้าวผลแก่ (Salunkhe *et al.*, 1992)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีและน้ำมันมะพร้าวสด

ชนิดกรดไขมัน	ปริมาณกรดไขมัน	
	น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี ^a	น้ำมันมะพร้าวสด ^b
กรดคาร์โปรอิก (C6:0)	0.3-0.5	0.4-0.6
กรดคาร์ปริลิก (C8:0)	6.0-8.0	5.0-10.0
กรดคาร์ปริก (C10:0)	5.0-8.0	4.5-8.0
กรดลอริก (C12:0)	45.0-50.0	43.0-53.0
กรดไมริสติก (C14:0)	15.0-19.0	16.0-21.0
กรดปาล์มติก (C16:0)	8.0-12.0	7.5-10.0
กรดสเตียริก (C18:0)	2.0-4.0	2.0-4.0
กรดโอเลอิก (C18:1)	6.0-8.0	1.0-2.5
กรดลิโนเลอิก (C18:2)	1.0-2.0	1.0-2.5

^aที่มา : ^avan der Vossen and Umali (2002)

^bAsian and Pacific Coconut Community (1991)

ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของน้ำมันให้แตกต่างกัน โดยน้ำมันที่ได้จากพืชแต่ละชนิดจะมีส่วนประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่ค่อนข้างแน่นอน และยังประกอบด้วยสารประกอบอื่นๆ (minor composition) ได้แก่ ฟอสโฟลิปิด (phospholipid) กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ผลิตภัณฑ์จากการเกิดออกซิเดชัน (oxidation product) และสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่าง (unsaponifiable matter) คือ สเตอรอล (sterol) โทโคฟีรอล (tocopherol) ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) รงควัตถุ (pigment) และสารประกอบอื่นที่ให้ลักษณะกลิ่นในน้ำมัน เป็นต้น (Hamm and Hamilton, 2000) องค์ประกอบบางชนิดที่พบในน้ำมันแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบบางชนิดของน้ำมัน (%)

น้ำมัน	กรดไขมัน อิสระ	สารที่ไม่ทำ ปฏิกิริยากับด่าง	สเตอรอล	สควอรีน	ไตรเทอร์พีน แอลกอฮอล์
น้ำมันมะพร้าว	3.0	0.4	0.10	0.002	0.02
น้ำมันข้าวโพด	1.0-3.0	2.0	1.00	0.028	0.01
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	0.5-2.0	0.6	0.40	0.008	0.02
น้ำมันมะกอก	1.0-3.5	0.8	0.10	0.383	0.20
น้ำมันปาล์ม	2.0-5.0	0.4	0.03	-	0.02
น้ำมันเมล็ดเรพ	1.0-2.0	0.9	0.60	0.026	0.03
น้ำมันถั่วเหลือง	0.5-1.0	1.2	0.40	0.012	0.06
น้ำมันทานตะวัน	0.5-1.5	0.7	0.40	0.012	0.20

ที่มา : Hamm and Hamilton (2000)

องค์ประกอบต่างๆ ในน้ำมันแต่ละชนิดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพของวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตน้ำมันนั้นๆ Gopalakrishnan *et al.* (1987) ศึกษาองค์ประกอบในน้ำมันมะพร้าวที่ได้จากเนื้อมะพร้าวโดยเครื่องบีบแบบหมุน (rotary oil) และเครื่องบีบแบบสกรู (expeller oil) พบว่าน้ำมันมะพร้าวมีปริมาณสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่าง 0.1% และ 0.05% ส่วนน้ำมันมะพร้าวที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายจากส่วนเหลือของกระบวนการทั้งสอง (rotary cake oil และ expeller cake oil) มีปริมาณสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่างมากกว่า คือ 0.18% และ 0.4% ตามลำดับ เนื่องจากการสกัดน้ำมันโดยเครื่องบีบแบบสกรูเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนมากกว่า 120 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงเกิดสารประกอบเชิงซ้อนในเนื้อมะพร้าวส่วนที่เหลือจากการบีบ (coconut cakes) ทำให้มีปริมาณสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่างในน้ำมันส่วนนี้มากกว่าในน้ำมันอื่น สารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่างบางชนิดที่พบในน้ำมันมีดังนี้

1.1.1 สเตอรอล

น้ำมันพืชส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารสเตอรอล 1-5 กรัม/กิโลกรัม สเตอรอลที่พบในน้ำมันมีทั้งอยู่ในรูปอิสระและเป็นเอสเทอร์กับกรดไขมัน สามารถแยกสเตอรอลออกจากน้ำมันได้ภายหลังการทำปฏิกิริยากับด่าง (Hamm and Hamilton, 2000) น้ำมันมะพร้าวมีสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่าง (unsaponifiable matter) เป็นองค์ประกอบ 0.1-0.3% (Swern, 1964) หนึ่งในสามของสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่างประกอบด้วยสเตอรอล ซึ่งอยู่ในรูปของไฟโตสเตอรอล (phytosterols) (Thieme, 1986) สเตอรอลที่พบในพืชมีหลายชนิด ได้แก่ บีตา-สिटอสเตอรอล (β -sitosterol, $C_{29}H_{50}O$) สติกมาสเตอรอล (stigmasterol, $C_{29}H_{48}O$) และเออร์โกสเตอรอล (ergosterol) เป็นต้น เออร์โกสเตอรอลสามารถพบได้ทั้งในพืชและสัตว์ (Lehninger, 1975)

1.1.2 ไฮโดรคาร์บอน

น้ำมันมีไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบเพียง 0.1-1.0% เท่านั้น ไฮโดรคาร์บอนที่พบมากที่สุด คือ สควอลีน (squalene, $C_{30}H_{50}$) (Stauffer, 2000) น้ำมันมะพร้าวมีสารสควอลีน 0.002% (Thieme, 1968) อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าหากน้ำมันมีการปนเปื้อนของยีสต์ *Candida famata* จะส่งผลให้สควอลีนมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 28% เป็น 75% ของสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่าง (Anon, 1996)

1.1.3 รงควัตถุ

รงควัตถุที่พบในน้ำมัน คือ แคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นสารที่ให้สีเหลืองถึงแดงเข้ม ขึ้นอยู่กับชนิดของแคโรทีนอยด์ ชนิดที่พบมากที่สุด คือ บีตา-แคโรทีน สารในกลุ่มแคโรทีนไม่ทนต่อความร้อน ดังนั้นการฟอกสีที่ใช้อุณหภูมิสูง หรือการกำจัดกลิ่นโดยใช้ไอน้ำจะช่วยให้สีน้ำมันจางลงได้ (Swern, 1964)

1.1.4 โทโคฟีรอล

โทโคฟีรอลเป็นสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีหมู่ฟีนอลอย่างน้อย 1 หมู่ อยู่ในโครงสร้าง สารประกอบฟีนอลิกในเนื้อ

มะพร้าวประกอบด้วย สารคาเทชิน (catechin) 1.0-4.01 มิลลิกรัม สารวานิลลิน (vanillin) 0.06-0.4 มิลลิกรัม และสารแทนนิน (tannin) 0.64-2.64 มิลลิกรัมของน้ำหนักเนื้อมะพร้าวแห้ง (Baldiviano *et al.*, 1999) Young (1983) รายงานว่า สารประกอบฟีนอลิกที่พบในน้ำมันมะพร้าว 40-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำมัน อยู่ในรูปของแอลฟาและเดตาโทโคฟีรอล (α -, δ -tocopherol) การไฮโดรไลซิสด้วยด่าง (alkaline hydrolysis) ทำให้น้ำมันอยู่ในรูปของสบู่ โทโคฟีรอลอยู่ในส่วนที่ไม่ถูกทำให้เป็นสบู่ (Hamm and Hamilton, 2000)

1.2 ความสำคัญของน้ำมันมะพร้าว

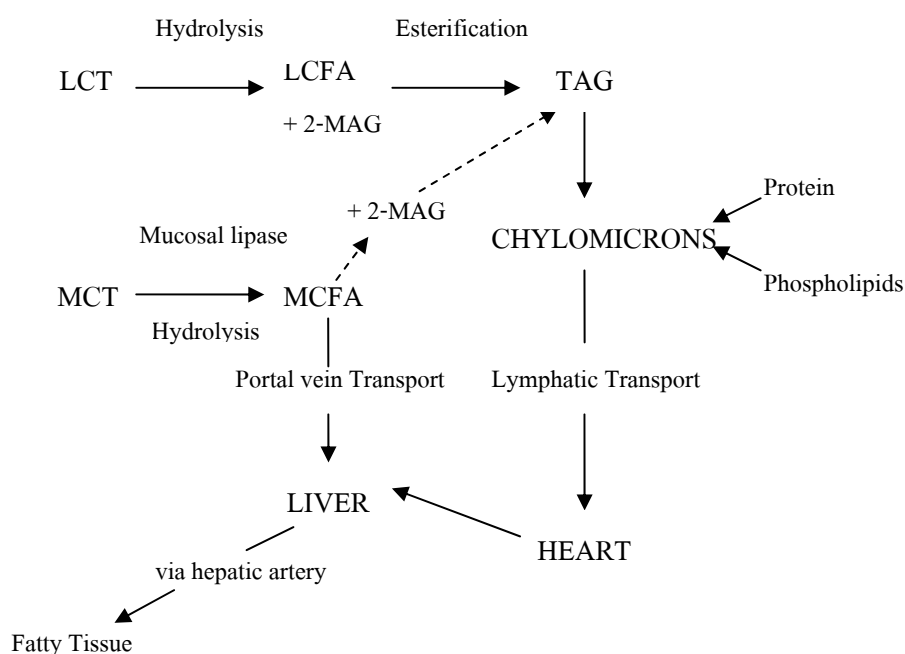
น้ำมันมะพร้าวมีองค์ประกอบต่างๆ ตามข้างต้น แต่ละองค์ประกอบมีบทบาทสำคัญที่ช่วยทำให้น้ำมันมะพร้าวมีคุณสมบัติที่ดี ดังนี้

1.2.1 ไตรเอซิลกลีเซอรอลโมเลกุลสายปานกลาง

น้ำมันส่วนมากประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิดโมเลกุลสายยาว (long-chain triglycerides; LCT) แต่ในน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเนื้ในปาล์ม (palm kernel oil) มีไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิดโมเลกุลสายปานกลาง (medium chain triglyceride; MCT) มีจำนวนคาร์บอน 8-12 อะตอม ไตรเอซิลกลีเซอรอลโมเลกุลสายปานกลางจะถูกย่อยที่ปากและกระเพาะอาหาร แต่จะเกิดอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ในลำไส้เล็กโดยเอนไซม์ไลเปส (lipase) กลายเป็นกรดไขมันขนาดกลาง (medium chain fatty acid; MCFA) โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยน้ำดีจากตับอ่อนมาช่วยย่อย ผ่านเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดทางหลอดเลือดดำ (portal vein transport) โดยไม่ผ่านชั้นไมโทคอนเดรีย (mitochondrial membrane) เกิดออกซิไดซ์เป็นเอซิติล-โคเอ (acetyl-CoA) และสารคีโตนบอดี้ส์ (keto bodies) (Schmidl, 1996)

ส่วนการย่อยสลายและการดูดซึมไตรเอซิลกลีเซอรอลโมเลกุลสายยาว ต้องอาศัยเอนไซม์แพนครีเอติก (pancreatic enzyme) จากตับอ่อนเปลี่ยนเป็นกรดไขมันขนาดยาว (long chain fatty acid; LCFA) และ 2-โมโนกลีเซอไรด์ (2-monoglyceride; 2-MGA) แล้วถูกย่อยที่ออร์บิตอลตำแหน่งที่ 2 (*sn*-2 position) ในลำไส้เล็กแล้วเกิดเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) สังเคราะห์เป็นไตรเอซิลกลีเซอรอลขึ้นใหม่ด้วยอัตราเร็วอย่างช้าๆ ไตรเอซิลกลีเซอรอลจะรวมตัวกับอัลบูมิน (albumin) เกิดเป็นอนุภาคลิโปโปรตีน (lipoprotein particle) เรียกว่า ไคโลไมครอน (chylomicron)

ผ่านเข้าสู่ระบบน้ำเหลือง (lymphatic system) ก่อนเข้าสู่หัวใจทางหลอดเลือดน้ำเหลือง (lymphatic transport) (Akoh, 1998) กลไกการย่อย ดูดซึม และขนส่งไตรเอซิลกลีเซอรอลโมเลกุลสายปานกลางและสายยาวแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กลไกการย่อย ดูดซึม และขนส่งไตรเอซิลกลีเซอรอลโมเลกุลสายปานกลางและสายยาว
ที่มา : Akoh (1998)

Bruce (n.d.) ศึกษาผลของไตรเอซิลกลีเซอรอลโมเลกุลสายปานกลางต่อปริมาณไขมันในกล้ามเนื้อ โดยประเมินผลจากการให้อาหารที่แตกต่างกันกับหนูทดลอง ได้แก่ อาหารไขมันต่ำ อาหารไขมันสูงที่มีไขมันโมเลกุลยาว และอาหารไขมันสูงที่มีไขมันโมเลกุลปานกลาง ใช้เวลาทดลอง 44 วัน จากการทดลองพบว่าหนูที่ได้รับอาหารไขมันต่ำมีการสะสมไขมันโดยเฉลี่ยวันละ 0.47 กรัม กลุ่มที่ได้รับอาหารไขมันสูงที่มีไขมันโมเลกุลยาวมีไขมันสะสมเพิ่มขึ้นวันละ 0.48 กรัม ส่วนกลุ่มที่ได้อาหารไขมันสูงที่มีไขมันโมเลกุลปานกลางมีไขมันสะสมเพิ่มขึ้นเพียงวันละ 0.19 กรัม และกลุ่มนี้ก็มีไขมันสะสมในร่างกายลดลง 60 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้อาหารไขมันต่ำและอาหารไขมันสูงที่มีไขมันโมเลกุลยาว แสดงว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลโมเลกุลสายปานกลางมีผลต่อเมตาบอลิซึมของไขมัน ทำให้เกิดการเผาผลาญ

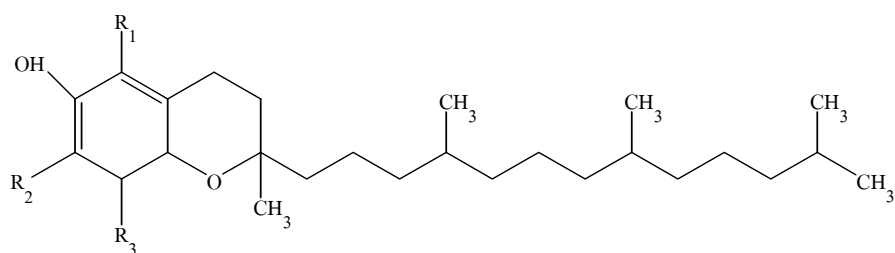
ไขมันเปลี่ยนไปเป็นพลังงาน ลดความเสี่ยงในการสะสมเป็นไขมันในหลอดเลือดหรือส่วนอื่นๆ ในร่างกาย (Marten *et al.*, 2006)

1.2.2 กรดไขมันอิ่มตัว

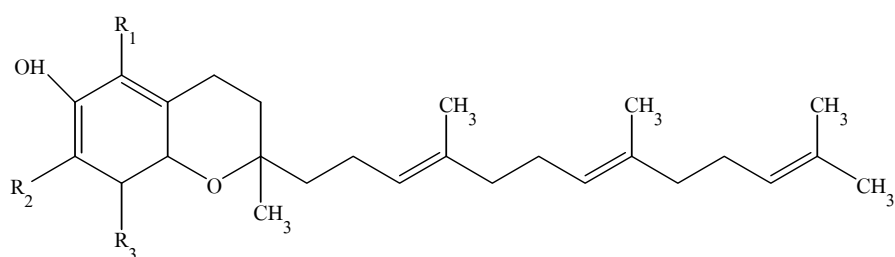
การที่น้ำมันมะพร้าวมีกรดลอริกเป็นองค์ประกอบสูง ทำให้มีการนำมาใช้ประโยชน์ในหลายรูปแบบ สามารถใช้เป็นสารเคลือบ (coating) สำหรับไอศกรีม เพราะน้ำมันมะพร้าวจะแข็งตัวเมื่ออยู่ในผลิตภัณฑ์และหลอมอย่างรวดเร็วเมื่อรับประทาน กรดไขมันอิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำยังช่วยให้ไขมันมะพร้าวมีความหนืดต่ำกว่าน้ำมันชนิดอื่น ทำให้ไม่รู้สึกเป็นมัน (greasy) เมื่อรับประทาน นอกจากนี้การที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบเพียงเล็กน้อย ทำให้น้ำมันมะพร้าวทนทานต่อการเกิดออกซิเดชัน คุณสมบัตินี้ทำให้นิยมนำไปใช้เป็นน้ำมันทอดสำหรับอาหารซึ่งต้องการอายุการเก็บนาน (Weiss, 1983) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันรำข้าวแล้ว น้ำมันมะพร้าวใช้เวลาเริ่มต้นในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (induction time) มากกว่าถึง 6 เท่า และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันให้สมบูรณ์ (complete oxidation time) นานกว่า 4.8 เท่า (สุคนธ์ชื่น และ ศิริวรรณ, 2532) และมีความนิยมใช้น้ำมันมะพร้าวที่นำมาไฮโดรจิเนตบางส่วน (partially hydrogenated oil) มีค่า Wiley melting point เท่ากับ 62 องศาเซลเซียส ในการผลิตนมข้นหวาน

1.2.3 วิตามินอี

วิตามินอีเป็นสารประกอบประเภทฟีนอลิกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ โทโคฟีรอล (tocopherol) และโทโคไทรอินอล (tocotrienol) ซึ่งทั้งสองมีโครงสร้างพื้นฐานที่ใกล้เคียงกัน วิตามินอีทั้งสองกลุ่มเป็น 6-ไฮดรอกซีโครแมน (6-hydroxy chromanes) หรือโทโคล (tocol) และมีสายข้างที่เป็นไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid) แตกต่างกัน วิตามินอีกลุ่มโทโคฟีรอลมีสายข้างของไอโซพรีนอยด์เป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด มีโครงโมเลกุลเป็นเส้นตรงและมีสมบัติเป็นสารประกอบอิ่มตัว ส่วนโทโคไทรอินอลมีสายข้างที่มีไอโซพรีนอยด์เป็นพันธะคู่ในตำแหน่ง 3, 7 และ 11 จึงเป็นสารประกอบไม่อิ่มตัว วิตามินอีทั้งสองกลุ่มมีไอโซเมอร์ 4 ชนิด คือ แอลฟา (α), บีตา (β), แกมมา (γ) และเดลตา (δ) (Reische *et al.*, 1998) วิตามินอีทั้งสองกลุ่มแสดงในภาพที่ 2



Tocopherol



Tocotrienol

ภาพที่ 2 โครงสร้างวิตามินอีกลุ่มโทโคฟีรอล (tocopherol) และโทโคไทรินอล (tocotrienol)

ที่มา : Reische *et al.* (1998)

วิตามินอีมีความคงตัวต่อความร้อนในสารละลายที่เป็นกรดในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน แต่จะเสียความคงตัวได้ง่ายในสภาวะที่มีออกซิเจนและถูกกระตุ้นจากแสง ความร้อน สารละลายด่าง เหล็ก และเกลือของทองแดง ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Machlin, 1991) จากโครงสร้างของโทโคฟีรอลและโทโคไทรินอลในส่วนที่เป็น 6-ไฮดรอกซีโครเมน ทำหน้าที่จับอนุมูลอิสระ ไม่ให้ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัว และส่วนสายข้างที่เป็นไอโซพรีนอยด์ช่วยให้เยื่อหุ้มเซลล์ของอวัยวะมีสภาพที่คงทนต่อการเกิดเปอร์ออกซิเดชัน (peroxidation) ของฟอสโฟลิปิดไม่อิ่มตัว (polyunsaturated phospholipid) (สมทรง, 2543) Nevin and Rajamohan (2004) ศึกษาผลของสารโพลีฟีนอลต่อการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิโปโปรตีนชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ โดยเปรียบเทียบปริมาณโคเลสเตอรอล ไตรเอซิลกลีเซอรอล และฟอสโฟลิปิดในเลือดของหนูทดลองที่บริโภคน้ำมันมะพร้าวสดจากกะทิและจากเนื้อมะพร้าวอบแห้ง พบว่าน้ำมันมะพร้าวสดจากกะทิประกอบด้วยสารโพลีฟีนอล 80 มิลลิกรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม สารโพลีฟีนอลทำหน้าที่ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำที่มีทองแดง (copper-induced oxidation) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้มีปริมาณโคเลสเตอรอล ไตรเอซิลกลีเซอรอล และฟอสโฟลิปิดในเลือดเท่ากับ 75.72 7.98 และ 92.41 มิลลิกรัมต่อเลือด

100 กรัม ส่วนน้ำมันมะพร้าวจากเนื้อมะพร้าวแห้งประกอบด้วยสารโพลีฟีนอล 64 มิลลิกรัมต่อ น้ำมัน 100 กรัม จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิโปโปรตีนชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ ทำให้มี ปริมาณโคเลสเตอรอล ไตรเอซิลกลีเซอรอล และฟอสโฟลิปิดในเลือดเท่ากับ 90.43 11.59 และ 126.01 มิลลิกรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม ตามลำดับ

ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันพืชประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ การสกัดน้ำมัน ซึ่งอาจเลือกใช้ตัวทำละลาย (solvent extraction) หรือการบีบ และการผลิตน้ำมันผ่านกรรมวิธี เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียวิตามินอี เช่น น้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกลิ่น การเติมไฮโดรเจน หรือเติมสารกันเสีย ทำให้สูญเสียวิตามินอีประมาณ 10% (Hamm and Hamilton, 2000) และใน น้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ ทำให้สูญเสียวิตามินอีประมาณ 6% ของวิตามินอี ทั้งหมด (Swern, 1964) Gordon and Rahman (1991) ศึกษาผลของกระบวนการผลิตน้ำมันผ่าน กรรมวิธีต่อองค์ประกอบและค่าความคงตัวของการเกิดออกซิเดชัน (oxidative stability) ในน้ำมัน มะพร้าว โดยนำน้ำมันมะพร้าวดิบมากำจัดกรดโดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วกลั่นด้วยก๊าซ ไนโตรเจนภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ฟอกสีโดยการกลั่นด้วยก๊าซ ไนโตรเจนภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นภายใต้ สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส ความดัน 2-4 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันมะพร้าวดิบเริ่มต้นมีความคงตัวของการเกิดออกซิเดชัน 36.9 ชั่วโมง มีสาร โทโคฟีรอล 55.0 ppm การกำจัดกรดและฟอกสีทำให้ความคงตัวของการเกิดออกซิเดชันลดลง เป็น 5.8 ชั่วโมง และมีสารโทโคฟีรอล 8.7 ppm จากนั้นจึงนำไปผ่านการกำจัดกลิ่น พบว่ามี ความคงตัวของการเกิดออกซิเดชัน 8 ชั่วโมง และมีสารโทโคฟีรอล 4.2 ppm แสดงว่าการกำจัด กลิ่นมีผลต่อค่าความคงตัวของการเกิดออกซิเดชันและสารโทโคฟีรอลเพียงเล็กน้อย

1.3 ประเภทของน้ำมันมะพร้าว

กระทรวงสาธารณสุข (2544) แบ่งน้ำมันมะพร้าวตามกระบวนการผลิตเป็น 3 ชนิด คือ น้ำมันมะพร้าวธรรมชาติ น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี และน้ำมันมะพร้าวอื่นๆ น้ำมันมะพร้าว ธรรมชาติ หมายถึง น้ำมันมะพร้าวที่ได้จากวิธีธรรมชาติ โดยการบีบอัด การใช้ความร้อน หรือ วิธีธรรมชาติอื่น อาจทำให้สะอาดโดยการล้าง การตั้งไว้ให้ตกตะกอน การกรอง หรือการหมუნ เหยียงเท่านั้น น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี หมายถึง น้ำมันมะพร้าวที่ได้จากการผ่านกรรมวิธี โดย นำน้ำมันมะพร้าวที่ได้จากวิธีธรรมชาติหรือสกัดด้วยสารละลาย มากำจัดกรดไขมันอิสระ การฟอก

สี และการกำจัดกลิ่น และน้ำมันมะพร้าวอื่นๆ หมายถึง น้ำมันมะพร้าวที่ได้จากวิธีการอื่นๆ ที่ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการอาหารและยา น้ำมันมะพร้าวจากวิธีการอื่นๆ อาจเตรียมได้หลายวิธี เช่น การแช่แข็งและทำละลาย การเหวี่ยงแยกน้ำมันและโปรตีน หรือใช้ร่วมกับการลดอุณหภูมิ การใช้เอนไซม์ และการใช้กรด เป็นต้น (Gunetileke and Laurentius, 1974; Che Man *et al.*, 1996)

กระทรวงสาธารณสุขกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานน้ำมันมะพร้าวดังนี้ น้ำมันมะพร้าวธรรมชาติ มีค่าของกรด (acid value) ไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม มีค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) ไม่เกิน 10.0 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม และน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี มีค่าของกรดไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม มีค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน 10.0 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม

น้ำมันบริสุทธิ์หรือน้ำมันสด (virgin oil) หมายถึงน้ำมันที่ได้จากธรรมชาติ ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี มีคุณภาพตามธรรมชาติ อาจได้จากการบีบอัด เช่น น้ำมันมะกอก น้ำมันงา เป็นต้น น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์หรือน้ำมันมะพร้าวสด ผลิตได้จากน้ำกะทิโดยการทำให้มีล้น น้ำกะทิละเอียดแล้วแยกน้ำมันและโปรตีนออกจากกัน น้ำมันที่เตรียมโดยวิธีการนี้ มีลักษณะใส ไม่มีสี มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ (สุคนธ์ชื่น, 2542) ซึ่งสอดคล้องกับ Thailand Institute of Scientific and Technological Research (2006) รายงานว่าน้ำมันมะพร้าวสดเป็นน้ำมันที่แยกได้จากเนื้อมะพร้าวสด (fresh coconut meat หรือ non-copra) โดยกระบวนการแยกแบบแห้ง (fresh dry process) และแบบเปียก (wet mill process) ภายใต้สภาวะการใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส น้ำมันที่ได้จะมีสีใส มีวิตามินและมีกลิ่นมะพร้าวอย่างอ่อนๆ ถึงแรงขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ส่วนน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีเป็นน้ำมันที่แยกได้จากเนื้อมะพร้าวแห้ง แล้วบีบน้ำมันออกด้วยเครื่องบีบแบบเกลียวอัด (hydraulic press หรือ expeller) หรือตัวทำละลาย น้ำมันที่ได้มักมีเศษเนื้อมะพร้าวแห้งปะปนมาด้วย ต้องนำไปกรองเพื่อให้ได้น้ำมันมะพร้าวคือน้ำตาลเข้มใส ปราศจากเศษเจือปน กระบวนการของการผลิตน้ำมันผ่านกรรมวิธี ประกอบด้วยการจัดสารเหนียวหรือกัม (degumming) การกำจัดกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการเคมีหรือกายภาพ (chemical refining, physical refining) กำจัดสี (bleaching) และกำจัดกลิ่น (deodorization)

Guart *et al.* (1996) ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งเนื้อมะพร้าวต่อคุณภาพน้ำมันมะพร้าว พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งจาก 40 เป็น 90 องศาเซลเซียส ในเวลา 21 ชั่วโมง ทำให้ความชื้นในเนื้อมะพร้าวคงเหลือเพียง 7% ของน้ำหนักเปียก และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งจาก 40 เป็น 100 องศาเซลเซียส ในเวลา 18 ชั่วโมง พบว่าการเพิ่มช่วงอุณหภูมิจาก 90 เป็น 100 องศาเซลเซียส ความชื้นกลับมีแนวโน้มคงที่ เนื้อมะพร้าวยังคงมีกลิ่นตามธรรมชาติแม้มีสีเข้มขึ้นเล็กน้อย และมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันต่างๆ ในน้ำมันมะพร้าวเพียงเล็กน้อย แสดงว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงในเวลาสั้น และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับอบแห้งเนื้อมะพร้าว

Villarino *et al.* (2007) เปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีกับน้ำมันมะพร้าวสดที่ผลิตจากการหมักกะทิกับน้ำมันมะพร้าวโดยวิธีธรรมชาติ และน้ำมันมะพร้าวสดที่ได้จากการหมักโดยวิธีธรรมชาติแล้วนำน้ำมันไปให้ความร้อนภายหลังการหมัก ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนการจำแนกกลิ่นรสและลักษณะปรากฏจำนวน 11 คน พบว่าน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีมีสีเหลือง ไม่มีกลิ่น และมีรสเค็มเล็กน้อย ส่วนน้ำมันมะพร้าวสดไม่มีสี มีกลิ่นตามธรรมชาติ และมีรสหวาน แต่น้ำมันมะพร้าวสดที่มีการให้ความร้อนภายหลังการหมัก มีลักษณะกลิ่น Cocos aroma, acid aroma, Latik aroma และ nutty aroma อ่อนกว่าน้ำมันมะพร้าวสดที่ไม่ให้ความร้อน

1.3.1 น้ำมันมะพร้าวสด

น้ำมันมะพร้าวที่ได้จากเนื้อมะพร้าวสดมีคุณภาพเหมาะสมกับการบริโภค คือ มีลักษณะใส และมีกลิ่นหอมตามธรรมชาติของมะพร้าว เรียกว่า น้ำมันมะพร้าวสด (Villarino *et al.*, 2007) สามารถทำได้โดยการสกัดน้ำมันและโปรตีนจากเนื้อมะพร้าวสด (fresh coconut meat) ด้วยการใช้น้ำชะล้างได้เป็นกะทิ (coconut milk) กะทิเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion) ซึ่งสามารถคงตัวอยู่ได้เนื่องจากโปรตีนที่เชื่อมระหว่างผิวหน้าอนุภาคน้ำมันและน้ำ (Stauffer, 1996) การแยกน้ำมันออกจากกะทิทำได้โดยทำให้อิมัลชันเสียความคงตัว (emulsion breakdown) เช่น การให้ความร้อน การแช่แข็งและละลาย การหมัก การใช้กรด การใช้เอนไซม์ และการเหวี่ยงแยก

การแยกน้ำมันออกจากกะทิด้วยวิธีแต่ดั้งเดิม คือ การหมักกะทิด้วยจุลินทรีย์ธรรมชาติ (natural microbial flora) ที่ปนเปื้อนอยู่ในเนื้อมะพร้าว จุลินทรีย์เหล่านั้นจะมีการเจริญเติบโตโดยใช้โปรตีนและน้ำตาลในกะทิเป็นแหล่งคาร์บอน การย่อยโปรตีนที่หุ้มล้อมรอบอนุภาคน้ำมัน ทำให้อนุภาคน้ำมันรวมตัวกันเป็นชั้นน้ำมัน แยกออกจากส่วนอื่นๆ ได้ Surat (1970) ศึกษาการแยกน้ำมันมะพร้าวโดยการทำลายอิมัลชันของกะทิด้วยเชื้อจุลินทรีย์ โดยนำเนื้อมะพร้าวแห้ง 100 กรัม ผสมน้ำ 100 มิลลิลิตร นวดผสมแล้วคั้นกะทิออกมา กะทิที่ได้มีปริมาตรรวม 140 มิลลิลิตร หมักกะทิเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ควบคุมชนิดของจุลินทรีย์ตามธรรมชาติในกะทิให้มีการเจริญในภาชนะปิดและภาชนะเปิด ควบคุมความเป็นกรด-ด่างที่ 5.5 อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำลายอิมัลชัน คือ การหมักกะทิในภาชนะเปิด ทำให้เกิดการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน (micro-aerophilic) จุลินทรีย์มีการย่อยโปรตีนที่หุ้มรอบอนุภาคน้ำมัน ทำให้มีน้ำมันแยกตัวออกมา 20 มิลลิลิตรต่อกะทิ 100 มิลลิลิตร ส่วนการหมักกะทิในภาชนะปิด ทำให้มีการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดสร้างก๊าซแต่ไม่สามารถสังเกตเห็นการแยกชั้นของน้ำมัน

จุลินทรีย์บางชนิดสามารถใช้สารอินทรีย์หลายประเภทเป็นแหล่งของคาร์บอน เช่น *Pseudomonas cepacia* สามารถใช้สารอินทรีย์ประมาณ 90 ชนิด เป็นแหล่งคาร์บอน สตาร์ช และโปรตีน เป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ จุลินทรีย์มีกลไกการย่อยสลายสตาร์ชและโปรตีนให้มีขนาดเล็กลงเป็นน้ำตาลกลูโคส (glucose) และกรดอะมิโน (amino acid) เพื่อใช้เป็นอาหารในการเจริญเติบโต (Garbutt, 1997)

McGlone *et al.* (1986) สกัดน้ำมันมะพร้าวจากกะทิโดยการผสมเอนไซม์ α -amylase, polygalacturonase และ protease กับเนื้อมะพร้าวที่บดกับน้ำ (coconut paste) ในอัตราส่วน 1:4 ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ก่อนเหวี่ยงแยกที่ $12,300 \times g$ แยกเป็น 3 ชั้น คือ ชั้นบนเป็นน้ำมันมะพร้าว ชั้นกลางเป็นน้ำ ชั้นล่างเป็นเศษเนื้อมะพร้าว วิธีนี้สามารถแยกน้ำมันได้สูงถึง 80% เนื่องจากเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด สามารถย่อยสลายสตาร์ช เพกตินและโปรตีน ให้มีขนาดเล็กลง และพบว่าโปรตีนที่ละลายน้ำ คือ อัลบูมิน มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลา 10 นาที และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากนั้น Gunetileke and Laurentius (1974) รายงานว่าน้ำมันเป็นองค์ประกอบในเซลล์พืช (vegetative cell) ที่ต่อเชื่อมกับสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecule) คือ คาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ดังนั้นการเกิด

ไฮโดรไลซิสเพียงบางส่วน (partial hydrolysis) โดยเอนไซม์ที่มีความจำเพาะ จึงทำให้น้ำมันถูกปลดปล่อยออกมาได้

Che Man *et al.* (1996) ศึกษาประสิทธิภาพการใช้เอนไซม์ผสมของ α -amylase, cellulose, protease และ polygalacturonase โดยใช้เนื้อมะพร้าวสด 150 กรัม ผสมน้ำ 150 มิลลิลิตร นวดผสมนาน 5 นาที แล้วคั้นน้ำกะทิออกมา นำน้ำกะทิที่ได้ไปให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้เย็น หลังจากนั้นเติมน้ำ 600 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน และเติมเอนไซม์ 0.1% (w/w) ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 7.0 ควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่าการใช้เอนไซม์ที่ผสมกันหลายชนิด สามารถให้ปริมาณน้ำมันออกมามากที่สุด คือ 73.8% ของน้ำมันที่มีในกะทิ Che Man *et al.* (1997) ทดลองสกัดน้ำมันมะพร้าวโดยแบคทีเรีย *Lactobacillus plantarum* 1041 IAM โดยใช้เนื้อมะพร้าวสดผสมน้ำในอัตราส่วน 1:1 (w/v) นวดผสมนาน 5 นาที แล้วคั้นกะทิออกมา ควบคุมอุณหภูมิกะทิที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วเติม *L. plantarum* ปริมาณ 5% ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จะให้ปริมาณน้ำมันมะพร้าวออกมามากที่สุด คือ 95.06% ของน้ำมันที่มีในกะทิ

Thailand Institute of Scientific and Tecnological Research (2006) เปรียบเทียบปริมาณผลผลิต (% yield) และคุณภาพของน้ำมันมะพร้าวสด โดยการแยกน้ำมันจากกะทิด้วยกระบวนการแบบเปียก (wet process) คือ การแยกน้ำมันด้วยเอนไซม์ตามธรรมชาติในกะทิ โดยการคั้นกะทิจากเนื้อมะพร้าวสดโดยไม่เติมน้ำ นำกะทิมาเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วน 1:1 และ 2:1 ของน้ำหนักกะทิ และตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง พบว่ามีน้ำมันแยกชั้นออกมาคิดเป็น 20.7 และ 25.8% ของน้ำหนักระกะทิ และได้น้ำมันที่มีลักษณะใสและมีกลิ่นหืน ส่วนการแยกน้ำมันด้วยวิธีการลดอุณหภูมิกะทิ (refrigeration process) เป็น 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 40 องศาเซลเซียส พบว่ามีน้ำมันแยกชั้นออกมาเพียง 7.4% ของน้ำหนักระกะทิเท่านั้น แต่ได้น้ำมันที่มีลักษณะใสและมีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ Gunetileke and Laurentius (1974) รายงานว่าการแยกน้ำมันโดยการเหวี่ยงแยกกะทีก่อนนำมาลดอุณหภูมิ เม็ดไขมันจะเรียงตัวอัดแน่นในชั้นครีม และหากใช้เวลาการเหวี่ยงแยกนานขึ้น เม็ดไขมันจะยิ่งเรียงตัวอัดแน่นขึ้นและมีโอกาสสัมผัสกันมากขึ้น เมื่อนำไปแช่เย็นและละลาย ไขมันที่ห่อหุ้มละลายสามารถรวมตัวกันเป็นชั้นน้ำมันแยกตัวออกมา

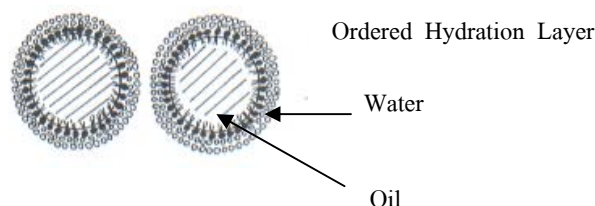
1.3.2 น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี

นอกจากน้ำมันดิบจะประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลแล้ว ยังมีสารประกอบอื่นปนอยู่ด้วย ได้แก่ ฟอสโฟลิปิด (phospholipid) สารประกอบเชิงซ้อนของไขมันและโปรตีน (fat-protein complex) กรดไขมันอิสระ รงควัตถุ (pigments) ไข (waxes) สารประกอบซัลเฟอร์ (sulfur compounds) สารที่ให้กลิ่นรส (flavor) และสารประกอบที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นหืนและเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์ จึงต้องกำจัดสารเหล่านี้ออกในขั้นตอนการผลิตน้ำมันผ่านกรรมวิธี (Johnson, 1998) ได้แก่ การกำจัดสารเหนียว (degumming) โดยการล้างด้วยน้ำหรือกรด กำจัดกรดไขมันอิสระ (refining) ด้วยด่าง ฟอกสี (bleaching) ด้วยผงถ่านฟอกสี และกำจัดกลิ่น (deodorization) โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ (Stauffer, 1996) Swern (1964) รายงานว่าในขั้นตอนกำจัดกลิ่น กรดไขมันถูกกำจัดออกไปพร้อมกับสารให้กลิ่น

ก. การกำจัดสารเหนียว

สารเหนียวประกอบด้วยสารฟอสโฟลิปิด (phospholipid) น้ำตาล (sugar) เรซิน (resin) และสารประกอบโปรตีน (proteinaceous compounds) (Mcdonnell *et al.*, 1995) สารดังกล่าวหากไม่ถูกกำจัดออกจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของน้ำมันและทำให้เกิดฟองในน้ำมันเมื่อได้รับความร้อน

สารเหนียวมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำและชอบน้ำมัน (amphiphilic) การกำจัดสารเหนียวอาจทำ 2-3 ครั้ง (Alton, 1996) โดยทำให้สารเหนียวอยู่ในรูปจับกับน้ำ (hydrate) ไม่ละลายในน้ำมัน (Stauffer, 1996) สารเหนียวมีทั้งประเภทที่เมื่อเติมน้ำแล้วเกิดชั้นน้ำรอบอนุภาคน้ำมันได้ง่าย ดังแสดงในภาพที่ 3 จากการเกิดแรงไฮเดรชัน (hydration force) ทำให้สารเหนียวละลายน้ำและแยกตัวไปอยู่ในส่วนน้ำ อีกส่วนหนึ่งเป็นประเภทที่ไม่เกิดชั้นน้ำรอบอนุภาคน้ำมัน สามารถกำจัดโดยเติมกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) หรือกรดอะซิติก (acetic acid) ลงในน้ำที่ใช้ล้าง (Kerrel, 1973) แล้วนำไปให้ความร้อนต่ำในระยะเวลาสั้น กรดจะช่วยเปลี่ยนเหล็กและทองแดงให้อยู่ในรูปที่แยกออกได้ง่าย (Gorden and Rahman, 1991) จากนั้นจึงเหวี่ยงแยกส่วนที่ละลายน้ำและส่วนที่ละลายในน้ำมันออกจากกัน (Swern, 1964)



ภาพที่ 3 การเกิดชั้นน้ำรอบอนุภาคน้ำมัน (hydration layer)

ที่มา : Kerrel (1973)

กรดไขมันอิสระและสารให้กลิ่น ได้แก่ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน เป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้ว อัลคิลไฮด์และคีโตน เป็นสารประกอบที่มีขั้ว ซึ่งชนิดที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก หรือมีจำนวนคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม สามารถละลายน้ำได้ดีเพราะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ (Pai *et al.*, 1979) ดังนั้นจึงสามารถกำจัดกรดไขมันอิสระและสารให้กลิ่นเหล่านี้ออกได้ด้วยกระบวนการเช่นเดียวกับการกำจัดสารเหนียวในน้ำมัน

Mcdonnell *et al.* (1995) กำจัดสารเหนียวออกจากน้ำมันเมล็ดเรพ (rapeseed oil) ด้วยน้ำร้อน พบว่าการใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 65 ถึง 68 องศาเซลเซียส ทำให้สารฟอสโฟลิปิด โปรตีน และคอลลอยด์ เกิดความหนืดและมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำมัน จึงแยกออกมาได้โดยการกรองหรือเครื่องเหวี่ยง นอกจากนี้การลดขนาดของอนุภาคน้ำมันโดยการผสมน้ำมันเมล็ดเรพกับสารป้องกันการเผาไหม้ (anti-coking) เพื่อทำให้โมเลกุลของน้ำมันสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารเหนียวได้มากขึ้น

Indira *et al.* (2000) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารเหนียวออกจากน้ำมันรำข้าว (rice bran oil) โดยการแยกด้วยน้ำ แล้วนำสารเหนียวที่ได้จากการแยกมาทำแห้งเพื่อชั่งน้ำหนักและหาปริมาณฟอสโฟลิปิด (phospholipid) ในกัมแห้ง วิธีการแยกกัมทำโดยการเติมน้ำกลั่น 0.5-4.0% ของน้ำมัน ลงในน้ำมันรำข้าว จากนั้นนำไปให้ความร้อนเป็นเวลา 10-180 นาที ในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 26-90 องศาเซลเซียส พร้อมกับเขย่าที่ความเร็วรอบ 30-400 รอบต่อ นาที หลังจากนั้นจึงนำไปให้ความเย็นหรือความร้อนจนมีอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แล้วเหวี่ยงแยกที่ 3000 รอบต่อ นาที พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการแยกสารเหนียว คือ การใช้ปริมาณน้ำกลั่น 3.9-4.0% ให้ความร้อนเป็นเวลา 95 นาที ที่อุณหภูมิ 68-73 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว

รอบ 215 รอบต่อนาที ทำให้ได้สารเหนียว 14.6 กรัม และฟอสฟอลิปิด 17.5% ของน้ำหนักแห้ง

ข. การกำจัดกรดไขมันอิสระ

กระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระประกอบด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางกายภาพ การกำจัดกรดไขมันอิสระด้วยวิธีทางเคมีทำโดยนำสารละลายต่าง เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นประมาณ 10-15% เติมลงในน้ำมันที่มีอุณหภูมิ 43-53 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งกวนผสมตลอดเวลา เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสม่ำเสมอ หลังจากนั้นเพิ่มความร้อนเป็น 98-153 องศาเซลเซียส ปริมาณและความเข้มข้นของสารละลายต่างที่ใช้จะขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายต่างและกรดไขมันทำให้ได้เป็นสบู่ โดยน้ำสบู่จะแยกชั้นอยู่ด้านล่างเรียกว่า foots หรือ soapstock จากนั้นแยกสบู่ที่เกิดขึ้นโดยอาจตั้งทิ้งไว้หรือใช้เครื่องเหวี่ยงแยก น้ำมันที่ได้อาจมีสบู่ปนอยู่ จึงต้องนำมาล้างด้วยน้ำร้อนอีกครั้ง แล้วแยกน้ำมันออกโดยใช้เครื่องเหวี่ยงแยก (Alton, 1996)

อย่างไรก็ตามการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยใช้ด่าง อาจมีการสูญเสียคุณสมบัติที่ดีของน้ำมัน คือ มีการสูญเสียสารต้านการเกิดออกซิเดชัน ได้แก่ โทโคฟีรอล บีตา-แคโรทีน (β -carotene) และเซซามอล (sesamol) เป็นต้น ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงไม่เหมาะสำหรับการกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันสด การกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันสดอาจทำโดยวิธีทางกายภาพ โดยผ่านไอน้ำเข้าไปในน้ำมันร้อน (steam refining) กรดไขมันอิสระจะระเหยออกไปพร้อมกับช่วยกำจัดสารประกอบไฮโดรคาร์บอน อัลดีไฮด์ คีโตน และสารระเหยอื่นๆ จึงเป็นการกำจัดกลิ่นพร้อมกันไปด้วย (Hamm and Hamilton, 2000; Alton, 1996)

ค. การฟอกสี

สารสีในน้ำมันเกิดจากรงควัตถุ เช่น คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) แชนโทฟิลล์ (xanthophyll) กอสสิพอล (gossypol) และแคโรทีนอยด์ (carotenoid) เป็นต้น การกำจัดรงควัตถุออกทำให้น้ำมันมีสีจางลง วิธีกำจัดรงควัตถุทำโดยการใส่สารฟอกสี (bleaching agent) ในน้ำมันที่อุณหภูมิ 128-148 องศาเซลเซียส พร้อมกวนผสมตลอดเวลา หลังจากนั้นกรองสารฟอกสีออก น้ำมันที่ได้จะมีสีอ่อนลงโดยรงควัตถุจะถูกแยกออกมาพร้อมกับสารฟอกสี เช่น แชน

โทฟิลล์เป็นสารสีเหลือง ในโมเลกุลมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) สามารถกำจัดออกโดยวิธีดูดซับโดยใช้ bleaching clay คลอโรฟิลล์เป็นสารมีขี้ว สามารถกำจัดออกโดย activated carbon ส่วนแคโรทีนอยด์ไม่สามารถถูกกำจัดโดยวิธีดูดซับ แต่สลายตัวได้โดยความร้อน (Alton, 1996; Stauffer, 2000)

ง. การกำจัดกลิ่น (deodorization)

กลิ่นในน้ำมันเกิดจากกรดไขมันอิสระ อัลดีไฮด์ และคีโตน ซึ่งกลิ่นที่เกิดขึ้นนี้ไม่เป็นที่ต้องการจึงต้องกำจัดออก การกำจัดกลิ่นในระดับอุตสาหกรรม เป็นการเป่าไอน้ำร้อนลงในน้ำมันที่อุณหภูมิประมาณ 200-275 องศาเซลเซียส ในภาชนะปิด ภายใต้ความดัน 3-10 มิลลิเมตรปรอท ใช้เวลาประมาณ 5-12 ชั่วโมง ความร้อนทำให้สารให้กลิ่นระเหยกลายเป็นไอปนมากับไอน้ำ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกลิ่นแล้วจะมีกรดไขมันอิสระเหลืออยู่ 0.02-0.04% และควรมีโมโนเอซิลกลีเซอรอล 0.3-0.5% (Stauffer, 1996)

การกลั่น (distillation) เป็นการแยกสารที่ระเหยง่ายออกจากสารที่ระเหยได้ยากหรือสารที่ไม่ระเหย โดยอาศัยความร้อนทำให้สารตัวอย่างเดือดจนกลายเป็นไอ (vaporize) และควบแน่น (condense) กลับเป็นของเหลวอีกครั้ง ซึ่งสารที่ระเหยง่ายจะมีความดันไอสูงที่อุณหภูมิห้อง และสารที่ไม่ระเหยจะมีความดันไอดำ กล่าวคือสารที่ระเหยได้ง่ายจะมีความดันไอสองเท่าแต่จุดเดือดต่ำกว่าสารที่ไม่ระเหย ของเหลวจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอได้ทุกๆ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งการระเหยกลายเป็นไอมะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันภายนอก เช่น เมื่อบรรจุของเหลวชนิดหนึ่งในภาชนะปิด ของเหลวนั้นจะกลายเป็นไอ จนกระทั่งมีความดันไอคงที่ซึ่งเป็นความดันไอของของเหลวที่อุณหภูมินั้น และการระเหยของของเหลวจะเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาหรือเกิดขึ้น เมื่อลดความดันไอเหนือของเหลวนั้น ทำให้การกลั่นดำเนินต่อไปได้ตลอดเวลา (ประเสริฐ, 2538)

การกำจัดกลิ่นโดยวิธีที่เป็นที่นิยม คือ การกลั่นด้วยไอน้ำภายใต้สภาวะสุญญากาศ (vacuum-steam distillation) ที่อุณหภูมิสูง ระหว่างการกลั่น กรดไขมันอิสระ สารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่าง และสารระเหยให้กลิ่นจะถูกกำจัดออกไป (Cvengros, 1995) ประสิทธิภาพของการกลั่นเพื่อกำจัดสารระเหยให้กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์นั้นจะขึ้นอยู่กับความดันไอ (vapor pressure) ของสารแต่ละชนิด ความเข้มข้นของสารระเหยในน้ำมัน และสภาวะในการกลั่นกำจัด

กลั่น ซึ่งสารระเหยให้กลั่นส่วนมากมีความดันไอสูงกว่าไตรเอซิลกลีเซอรอล จึงถูกกลั่นออกมาได้โดยง่าย (Hamm and Hamilton, 2000)

Petrauskaite *et al.* (2000) ศึกษาการกลั่นกำจัดกลั่นน้ำมันมะพร้าวต่อการสูญเสียไตรเอซิลกลีเซอรอล (% neutral oil loss) โดยนำน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านการฟอกสีที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ 3.4% มากลั่นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 190 210 และ 230 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1.6 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 60 นาที พบว่าการกำจัดกลั่นทำให้มีกรดไขมันอิสระในน้ำมันลดลงเป็น 0.235 0.07 และ 0.019% (คิดเป็นกรดลอริก) และมีการสูญเสียไตรเอซิลกลีเซอรอล 0.28 0.57 และ 1.28% (คิดเป็นกรดลอริก) เมื่อทำการกลั่นที่อุณหภูมิสูง คือ 230 องศาเซลเซียส และเพิ่มความดันเป็น 1.6 2.3 และ 3.0 มิลลิบาร์ โดยแปรผันอัตราการป้อนไอน้ำตามระดับความดันพบว่าเมื่อเพิ่มความดันมีการสูญเสียไตรเอซิลกลีเซอรอลน้อยลง คือ 1.28 0.98 และ 0.89% (คิดเป็นกรดลอริก) แสดงว่าการกลั่นกำจัดกลั่นน้ำมันที่มีกรดลอริกเป็นองค์ประกอบสูง ควรกลั่นที่อุณหภูมิต่ำและความดันสูง

ถึงแม้การกลั่นไอน้ำจะเป็นวิธีที่นิยมกันมาก แต่มีข้อเสีย คือ อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ออกซิเดชัน และการสลายตัวของสารต่างๆ ประกอบกับสารระเหยบางชนิดที่มีจุดเดือดสูงจะไม่ถูกพามาโดยไอน้ำ (Schweitzer, 1997) การใช้ก๊าซเฉื่อย (inert gas) หรือก๊าซที่ไม่สามารถเกิดการควบแน่น (noncondensable gas) เช่น ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับสารระเหย จึงมีความสะดวกและไม่ต้องมีขั้นตอนการแยกก๊าซเฉื่อยออกจากสารระเหยที่กลั่นได้ (Marsili, 1997)

Ruiz-Mendez *et al.* (1996) เปรียบเทียบกระบวนการกำจัดกลั่นในน้ำมัน โดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส ความดัน 3 ทอรรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน 0.3% ต่อชั่วโมง และอัตราการป้อนไอน้ำ 2% ต่อชั่วโมง พบว่าการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนทำให้น้ำมันมะกอกมีประสิทธิภาพการกลายเป็นไอ (vaporization efficiency) 135% และในน้ำมันทานตะวัน 61.3% (คิดเป็นกรดโอเลอิก) มากกว่าการกลั่นด้วยไอน้ำซึ่งเท่ากับ 15.1% และ 6.4% (คิดเป็นกรดโอเลอิก) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการกลั่นด้วยอัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน 0.3% ต่อชั่วโมง ทำให้กรดไขมันอิสระลดลงจาก 0.81-6.45 % เป็น 0.07-0.20% (คิดเป็นกรดโอเลอิก) ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมัน

2. สารให้กลิ่นในน้ำมันมะพร้าว

สารให้กลิ่นมีสมบัติละลายได้ทั้งในน้ำมันและน้ำ แต่มีความสามารถในการละลายน้ำเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สารให้กลิ่นมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 250 จึงสามารถระเหยได้ สารจะให้กลิ่นได้ก็ต่อเมื่อสารนั้นสามารถกระตุ้นอวัยวะรับกลิ่นให้เกิดความรู้สึกต่อกลิ่น โดยความเข้มข้นของสารให้กลิ่นในบรรยากาศรอบๆ อวัยวะรับกลิ่น ต้องมีมากกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่จะรับกลิ่นได้ (detection threshold) ความเข้มข้นต่ำสุดที่รับกลิ่นส่วนใหญ่อยู่ในช่วงต่ำกว่า 1 ppb ถึง 2 ppm (Fisher and Scott, 1997)

กลิ่นของอาหารอาจประกอบด้วยสารให้กลิ่นเพียงชนิดเดียว แต่ส่วนมากแล้วประกอบด้วยสารให้กลิ่นหลายชนิด สารให้กลิ่นเป็นสารระเหย (volatile compounds) แต่สารระเหยบางชนิดเท่านั้นที่เป็นสารให้กลิ่น (aroma compounds) และในบรรดาสารให้กลิ่น มีเพียงบางชนิดเท่านั้นที่เป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญ (aroma active compounds) ทั้งนี้เนื่องจากสารให้กลิ่นบางชนิดมีอยู่ในอาหารเป็นปริมาณต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่จะรับกลิ่นได้ จึงไม่สามารถรับรู้กลิ่นของสารชนิดนั้น (Shaikh, 2002)

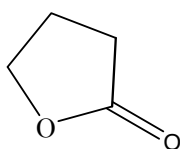
ในบรรดาสารให้กลิ่นที่สำคัญ จะมีเพียงบางชนิดที่เป็นสารที่ให้ลักษณะที่สำคัญของอาหาร (aroma impact compounds หรือ character impact compounds) การขาดสารให้กลิ่นที่สำคัญ ลักษณะของกลิ่นอาหารอาจเพียงแคเปลี่ยนไป แต่ยังสามารถบอกได้ว่าเป็นกลิ่นของอาหารชนิดใด แต่หากขาดสารที่ให้ลักษณะกลิ่นที่สำคัญ กลิ่นจะเปลี่ยนไปจนไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นอาหารชนิดเดิม (Shaikh, 2002)

2.1 กลิ่นตามธรรมชาติของมะพร้าวและน้ำมันมะพร้าว

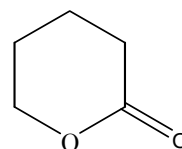
สารระเหยให้กลิ่นที่พบในผลไม้ ได้แก่ สารประกอบในกลุ่มเอสเตอร์ อัลดีไฮด์ คีโตน และแอลกอฮอล์ ผลไม้ส่วนมากประกอบด้วยสารให้กลิ่นที่คล้ายคลึงกัน แตกต่างกันที่อัตราส่วนของสารแต่ละชนิด (Reineccius, 1994)

แอลกอฮอล์เป็นสารให้ลักษณะกลิ่นหอมมันในมะพร้าว และผลิตภัณฑ์นมที่ผ่านการให้ความร้อน (Moran and Rajah, 1994) Lin and Wilkens (1970) รายงานว่าแอลกอฮอล์เป็นองค์

ประกอบหลักของสารให้กลิ่นในเนื้อมะพร้าวสด ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นที่จำเพาะ คือ กลิ่นรสของมะพร้าว แลกโตนเกิดจากการสลายตัวของกรดลิโนเลอิกและลิโนเลนิก ระหว่างการเกิดออกซิเดชัน โดยไตรเอซิลกลีเซอรอลจะรวมกับน้ำเมื่อมีความร้อน ทำให้เกิดไฮโดรไลซิสได้เป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล และจากการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) ได้เป็นกรดไฮดรอกซีซึ่งไม่เสถียร และได้เป็นแกมมาและเดลตาแลกโตน (γ - and δ - lactone) ดังแสดงในภาพที่ 4 (Reineccius, 1994) แลกโตนเป็นสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 5 และ 6 อะตอม ต่อกันเป็นโซ่หรือเป็นวงเรียกว่าไซคลิก และแต่ละวงของโมเลกุลประกอบด้วยอะตอมชนิดอื่น ได้แก่ อะตอมออกซิเจน แลกโตนมีขนาดโมเลกุลเล็ก ระเหยง่ายและเป็นสารที่ให้กลิ่นแรง เนื่องจากมีความเข้มข้นต่ำสุดที่รับกลิ่นได้ 0.1 ppm (Shaikh, 2002)



แกมมาแลกโตน



เดลตาแลกโตน

ภาพที่ 4 สูตรโครงสร้างของแกมมาแลกโตนและเดลตาแลกโตน

ที่มา : Shaikh (2002)

แกมมาแลกโตนพบในพืช เนื้อสัตว์ และการาเมล โดยมีกรดไขมันชนิดอะลิฟาติกที่มีหมู่ไฮดรอกซีตำแหน่งที่ 4 (4-OH aliphatic fatty acid) เป็นสารตั้งต้น (Fisher and Scott, 1997) กลิ่นของแกมมาแลกโตนจะขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชันที่มาจับกับคาร์บอนอะตอม สารกลุ่มนี้ ได้แก่ γ -heptalactone, γ -octalactone, γ -nonalactone เป็นสารให้กลิ่นรสมะพร้าว กลิ่นหอมมัน หรือกลิ่นผลไม้ (Shaikh, 2002)

เดลตาแลกโตนพบในผลไม้และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ มีกรดไขมันชนิดอะลิฟาติกที่มีหมู่ไฮดรอกซีตำแหน่งที่ 5 (5-OH aliphatic fatty acid) เป็นสารตั้งต้น (Fisher and Scott, 1997) เดลตาแลกโตนให้กลิ่นธรรมชาติที่นุ่มนวล ลักษณะกลิ่นเปลี่ยนไปตามหมู่ที่มาจับเช่นเดียวกับแกมมาแลกโตน ในกรณีของเดลตาแลกโตนถ้าสายคาร์บอนของหมู่ที่มาจับยาวขึ้น กลิ่นจะ

เปลี่ยนจากกลิ่นมะพร้าวไปเป็นกลิ่นหอมมันของนม และกลิ่นหอมมันปนผลไม้ ตามลำดับ (Shaikh, 2002)

นอกจากนี้แล็กโตนยังสามารถเกิดจากการทำงานของยีสต์และราบางชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพสลายกรดลาคติก จากการย่อยกรดไขมันในไตรเอซิลกลีเซอรอลผ่านปฏิกิริยาบีตา-ออกซิเดชัน (β -oxidation) จากนั้นยีสต์และราจะรีดิวซ์ (reduce) คาร์บอนอะตอมพันธะคู่ ทำให้กรดลาคติกเปลี่ยนเป็นกรดไฮดรอกซีและแล็กโตน ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แล็กโตน (lactonization) โดยการควบคุมความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความร้อน (Reineccius, 1994) การสังเคราะห์แล็กโตนโดยราแสดงในภาพที่ 5

Lin and Wilkens (1970) แยกสารระเหยให้กลิ่นจากเนื้อมะพร้าวแห้ง พบสารที่เป็นองค์ประกอบหลัก 15 ชนิด สารให้กลิ่นรสของมะพร้าวที่พบในปริมาณมาก คือ δ -octalactone, δ -decalactone และ n-octanol ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคตา-ออกซิเดชัน (δ -oxidation) ของกรดไขมันอิ่มตัว หรือปฏิกิริยาเคตา-ไฮดรอกซิเลชัน (δ -hydroxylation) ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเนื้อมะพร้าวและเป็นสารมัธยันซ์ (intermediate) ในกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพ

Pai *et al.* (1979) ศึกษาสารระเหยในน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านการให้ความร้อน พบว่าสารระเหยที่พบในน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านการให้ความร้อน เป็นสารประกอบในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนและสารประกอบอัลดีไฮด์ นอกจากนี้ยังพบสารประกอบแล็กโตนและเมทิลลาคิโตนเป็นสารระเหยหลักด้วย

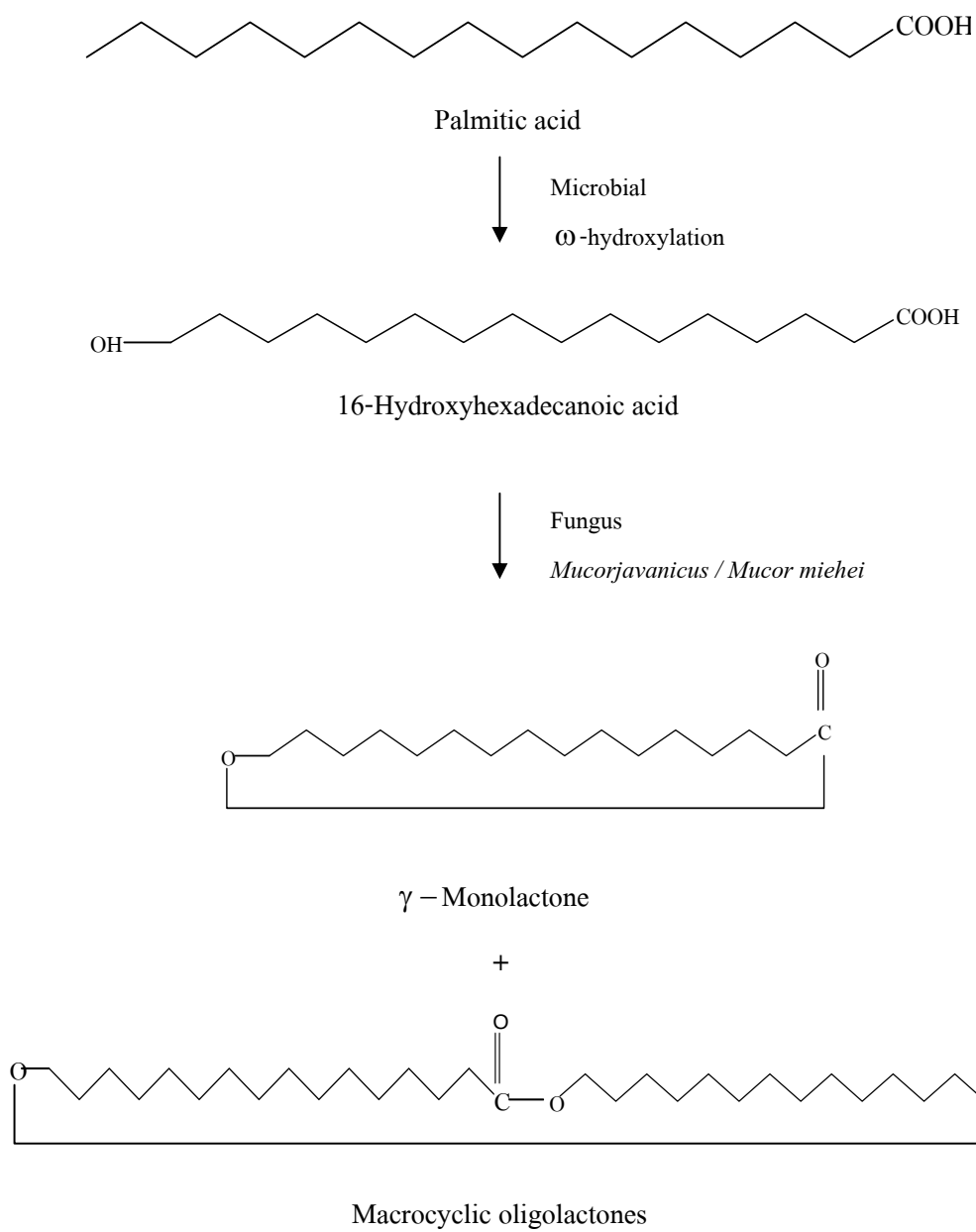
Saittagaroon *et al.* (1984) ศึกษาสารระเหยในเนื้อมะพร้าวและเนื้อมะพร้าวคั่ว (roasted coconut) พบว่าสารระเหยในเนื้อมะพร้าวประกอบด้วยสารประกอบแล็กโตนเป็นสารหลักที่ให้กลิ่นรสมะพร้าว และสารประกอบเอสเทอร์ให้กลิ่นหอมหวานของมะพร้าว แต่สารระเหยในเนื้อมะพร้าวคั่วมีสารประกอบแล็กโตน สารประกอบเอสเทอร์ และสารประกอบลาคิโตนในปริมาณน้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบสารประกอบไพราซีน สารประกอบฟิวแรน และสารประกอบไพโรล ซึ่งคาดว่าเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด Jayalekshmy *et al.* (1991) เปรียบเทียบสารระเหยในมะพร้าวคั่วที่ผ่านการให้ความร้อน พบสารระเหยในมะพร้าวคั่ว คือ สารประกอบเฮเทอโรไซคลิก และสารประกอบไพราซีน ได้แก่ ไพราซีน (pyrazine) เมทิลไพราซีน (methyl pyrazine) ไดเมทิลไพราซีน (dimethyl pyrazine) เอทิลเมทิลไพราซีน (ethyl methyl

pyrazine) ไวนิลไพราซีน (vinyl pyrazine) ไอโซโพรพิลไพราซีน (isopropyl pyrazine) และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะพบสารไพราซีนในมะพร้าวคั่วเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 ชนิดของแอลกอฮอล์ที่สังเคราะห์โดยยีสต์และรา

ยีสต์และรา	แอลกอฮอล์
<i>Candida globiformis</i>	5-Decanolide
<i>C. pseudotropicalis</i>	5-Decanolide
<i>Ceratocystis moniliformis</i>	4- และ 5-Decanolide
<i>Cledosporium butyri</i>	5-Decanolide
<i>Ischnoderma benzionum</i>	4-Butanolide, 4-pentanolide, 4-hexanolide, 2-hexen-4-olide, 4-heptanolide, 2-hepten-4-olide, 4-octanolide, 2-octen-4-olide
<i>Pityrosporum sp.</i>	4-Hexanolide, 4-heptanolide, 4-octanolide, 4-nonaolide, 4-decanolide, 4-dodecanolide
<i>Plyporus durus</i>	4-Butanolide, 4-pentanolide, 3-penten-4-olide, 4-hexanolide, 2-hexen-4-olide, 5-hexen-4-olide, 5-hexanolide, 2-hepten-4-olide, 4-heptanolide, 2-,5-, and 6-octen-4-olide, 4-octanolide, 2-nonen-4-olide, 2-decen-4-decanolide, 4-methoxy-6-methyl-2H-pyran-2-one
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5-Decanolide
<i>S. fermenti</i>	4-butanolide, 5-ketohexan-4-olide
<i>S. fragilis</i>	5-Decanolide
<i>Sporobolomyces odoratus</i>	4-Decanolide, 5-Decanolide, cis-7-decen-5-olide, cis-6-dodecen-4-one
<i>Trichoderma viride.</i>	6-(pent-1-enyl)- α -pyrone, 6-pentyl- α -pyrone

ที่มา : Reineccius (1994)



ภาพที่ 5 การสังเคราะห์แลกโตน (lactone) โดยรา

ที่มา : Mukherjee (1998)

2.2 กลิ่นจากการหืนแบบไฮโดรไลติก

การหืนแบบไฮโดรไลติก (Hydrolytic rancidity) เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในไขมันหรือน้ำมัน เมื่อเก็บไว้นานและก่อให้เกิดการเสื่อมเสีย ทำให้คุณภาพของน้ำมันลดลง ซึ่งการเสื่อมเสียนี้เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีวภาพ จากการกระทำของเอนไซม์และจุลินทรีย์ การหืนแบบไฮโดรไลติกเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสหรือไลโปไลซิสระหว่างกรดไขมันและกลีเซอรอลในไตรเอซิลกลีเซอรอล ทำให้เกิดการปลดปล่อยกรดไขมันอิสระ เมื่อมีน้ำและตัวเร่ง (catalytic agent) คือ เอนไซม์ไลเปส หรือเอสเทอเรส (esterase) (Allen , 1994)

กรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลเล็กทำให้เกิดปัญหากลิ่นรสผิดปกติ (off-flavor) ในอาหารเนื่องจากกลิ่นรสที่เฉพาะตัวของกรดไขมัน ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นกับน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดคาร์ปริก กรดลอริกและกรดไมริสติก ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นคล้ายสบู่ที่เรียกว่า “soapy flavor” โดยปกติกรดไขมันที่มีสายสั้นจะมีความเข้มข้นของกลิ่นต่ำสุดที่รับกลิ่นได้ ต่ำกว่ากรดไขมันที่มีสายยาว เช่น กรดคาร์ปริกและกรดลอริก มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่รับกลิ่นได้ 200 และ 700 ppm ตามลำดับ (Rossell, 1994) ดังนั้นการมีกรดไขมันสายสั้นเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยจึงสามารถทำให้กลิ่นรสของอาหารเปลี่ยนไปได้ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่รับกลิ่นรสได้ของกรดไขมันบางชนิดแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความเข้มข้นต่ำสุดที่รับกลิ่นได้ (threshold) ของกรดไขมันบางชนิด

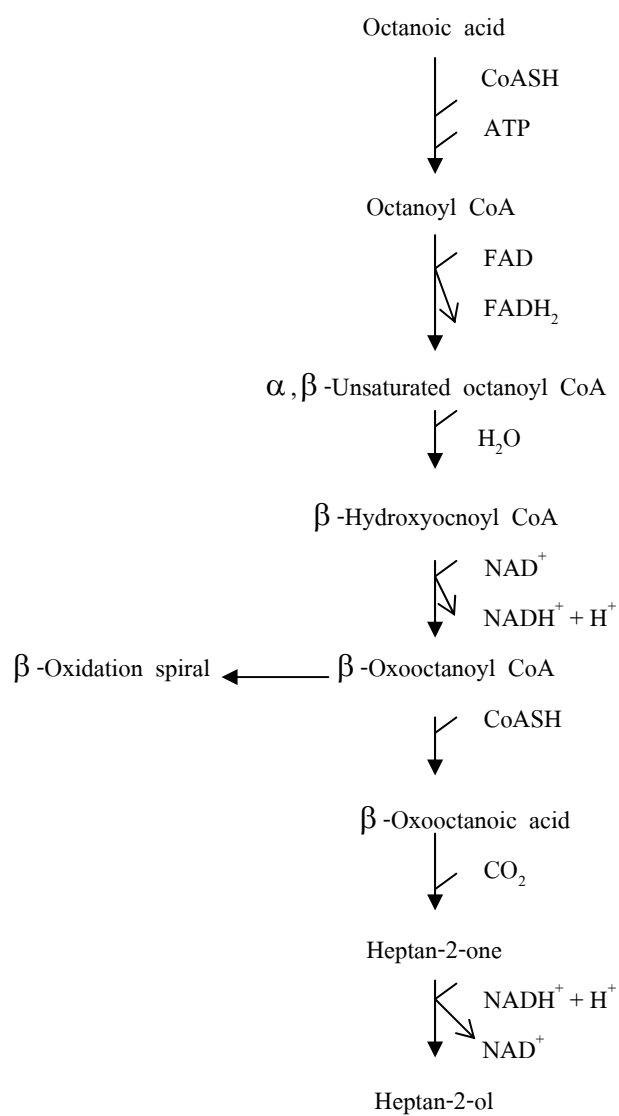
ชนิดของกรดไขมัน	ความเข้มข้นต่ำสุดที่รับกลิ่นได้ (ppm)
กรดบิวไทริก (C4:0)	0.6
กรดคาร์โพรอิก (C6:0)	2.5
กรดคาร์ปรีลิก (C8:0)	350
กรดคาร์ปริก (C10:0)	200
กรดลอริก (C12:0)	700
กรดสเตียริก (C18:0)	15,000

ที่มา : Shukla (1995)

2.3 กลิ่นจากการหืนแบบคีโตนิก

การหืนแบบคีโตนิก (ketonic rancidity) เป็นปัญหาที่เกิดกับอาหารที่มีกรดไขมันอิ่มตัว เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติในเนื้อมะพร้าวแห้ง (desiccated coconut) และเนย เกิดจากการทำงานของเชื้อราในกลุ่ม *Eurotium amstelodami*, *Eurotium chevalieri* และ *Penicillium citrinum* ในสภาวะที่มีน้ำ ออกซิเจน ซึ่งคีโตนที่เกิดจากการกระทำของเชื้อรา จะเกิดขึ้นเฉพาะกับกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง แต่จะไม่เกิดกับกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่ากรดไมลิสติก (C14:0) หรือต่ำกว่ากรดคาโปรอิก (caproic acid, C6:0) โดยขั้นแรกจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแล้วปล่อยกรดไขมันอิสระสายโซ่สั้น (C8:0, C10:0, C12:0) ออกมา หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาบีตา-ออกซิเดชัน ทำให้เกิด β -Oxo-octanoyl CoA และได้สารประกอบ 2 ชนิด ที่ให้กลิ่นแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของกรดคีโตนิก คือ สารเมทิลคีโตน และอะลิฟาติกแอลกอฮอล์ (aliphatic alcohol) ซึ่งมีจำนวนคาร์บอนและพันธะคู่เท่ากัน (homologouse series) (Kellard *et al.*, 1984) การหืนแบบคีโตนิกทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะ คือ musty และ stale (Rossell, 1994) แผนภาพการเกิดปฏิกิริยาบีตา-ออกซิเดชันของกรดไขมันแสดงในภาพที่ 6

การเจริญของเชื้อราจะเกิดขึ้นระหว่างการทำมะพร้าวแห้งโดยการตากแดด ในสภาพอากาศที่มีฝนตก การแห้งเกิดได้ช้า ทำให้เนื้อมะพร้าวขึ้นราเน่าเสียก่อนแห้ง โดยในเนื้อมะพร้าวเปียกจะมีการเจริญของเชื้อราสีขาว (*Rhizopus* spp.) สร้างกลุ่มไมซีเลียมสีขาว เมื่อนำไปทำแห้งจนมีความชื้น 12% จะพบการเจริญของ *Aspergillus niger* ซึ่งผลิตสปอร์สีดำในเนื้อมะพร้าวแห้ง ทำให้เนื้อมะพร้าวแห้งมีสีดำ เนื้อมะพร้าวแห้งที่มีความชื้นลดลงเหลือ 8-12% มีการเจริญของเชื้อราสีน้ำตาลและสีเหลือง (กลุ่ม *Aspergillus* species) และพบการเจริญของเชื้อราสีเขียว คือ *Penicillium glaucum*, *Aspergillus glaucus* ในเนื้อมะพร้าวแห้งที่มีความชื้นน้อยกว่า 7% (Salunkhe *et al.*, 1992)



ภาพที่ 6 การเกิดปฏิกิริยาปิตา-ออกซิเดชันของกรดไขมัน ได้เป็นสารคีโตนและแอลกอฮอล์
ที่มา : Padley (1994)

กลิ่นหืนแบบคีโตนิกที่เกิดขึ้นนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกรดไขมัน ทำให้ปริมาณกรดคาร์ปรีลิก (carprilic acid, C8:0) กรดคาร์ปริก (carpric acid, C10:0) และกรดลอริก (lauric acid, C12:0) ลดลง กล่าวคือเมื่อน้ำมันเกิดกลิ่นหืน กรดไขมันสายสั้นและปานกลางเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นสารเมทิลคีโตน ชนิดและปริมาณกรดไขมันในเนื้อมะพร้าวแห้งแสดงในตารางที่ 5 (Kellard *et al.*, 1984)

ตารางที่ 5 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในเนื้อมะพร้าวแห้งที่มีกลิ่นหืนและไม่หืนแบบคีโตนิก

ชนิดของกรดไขมัน	น้ำมันจากเนื้อมะพร้าวแห้ง	
	ไม่มีกลิ่นหืน	มีกลิ่นหืน
กรดคาร์โพรอิก (C6:0)	Trace	Trace
กรดคาร์ปรีลิก (C8:0)	12.22	4.17
กรดคาร์ปริก (C10:0)	7.57	4.51
กรดลอริก (C12:0)	46.09	44.80
กรดไมริสติก (C14:0)	19.18	24.80
กรดปาล์มมิก (C16:0)	8.02	9.41
กรดสเตียริก (C18:0)	2.80	5.37
กรดโอเลอิก (C18:1)	4.11	6.98
กรดลิโนเลอิก (C18:2)	Trace	Trace

ที่มา : Kellard *et al.* (1984)

น้ำมันที่สกัดจากเนื้อมะพร้าวที่มีการปนเปื้อนเชื้อราจะเร่งการเสื่อมคุณภาพน้ำมัน เนื่องจากจุลินทรีย์มีการย่อยสลายไขมัน เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ ทำให้จุดเกิดควัน (smoke point) และจุดหลอมเหลว (melting point) ลดลง รวมทั้งมีค่าไอโอดีน (iodine value) ค่าการทำปฏิกิริยากับด่าง (saponification value) และค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) เพิ่มขึ้น (Palaniswami *et al.*, 1989)

2.4 กลิ่นจากการหืนแบบออกซิเดชัน

กลิ่นหืนในน้ำมันส่วนใหญ่เกิดจากการออกซิเดชันได้เองโดยอากาศ (autooxidation rancidity) เป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างออกซิเจนและกรดไขมันไม่อิ่มตัวในไตรเอซิลกลีเซอรอล ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีออกซิเจนและตัวเร่ง เช่น ความร้อน แสง รังสีที่มีพลังงานสูงและโลหะหนัก เป็นต้น โดยการเกิดปฏิกิริยาเริ่มจากออกซิเจนที่มีพลังงาน (singlet oxygen) เข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวบริเวณพันธะคู่ เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี ($\text{ROO}^\bullet$) อนุมูลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) และอนุมูลไฮโดรคาร์บอน ($\text{R}^\bullet$) อนุมูลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นสารไม่มีกลิ่นและเป็นสารมัธยันต์ที่ไม่มีความคงตัวและสามารถแตกตัวต่อทำให้เกิดสารประกอบชนิดใหม่ที่มีขนาดโมเลกุลต่างๆ ที่ทำให้เกิดกลิ่นหืน ได้แก่ สารประกอบประเภทอัลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ และไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น (Hamilton, 1994)

สุคนธ์ชื่นและศิริวรรณ (2532) รายงานว่าปัญหาการเกิดกลิ่นหืนในน้ำมันมะพร้าว หรือผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนประกอบ น่าจะมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและการเกิดสารคีโตนมากกว่าออกซิเดชัน เนื่องจากทั้งสองปฏิกิริยาให้กลิ่นรุนแรง และมีโอกาสเกิดได้ง่ายจากเอนไซม์ไลเปสที่เหลืออยู่ตามธรรมชาติและการปนเปื้อนของจุลินทรีย์

2.5 กลิ่นจากการเน่าเสีย

แบคทีเรียมีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดกลิ่นเน่าเสีย จากแบคทีเรียในกลุ่มที่เจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน (facultative anaerobe) รวมทั้งแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศหรือออกซิเจน (anaerobe) บางชนิด แบคทีเรียเหล่านี้ทำให้เกิดกลิ่นเน่าเสียในลักษณะกลิ่นเปรี้ยว (stinking sour fermentative) หรือกลิ่นเน่าของโปรตีน (putrefaction) จากการย่อยสลายโปรตีนเป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์ก่อนดูดซึมเข้าสู่เซลล์ และมีการสร้างก๊าซและกรดที่ระเหยได้ (volatile acid) เช่น กรดฟอร์มิก กรดแอซติก กรดบิวทีริก กรดโพรพิโอนิก กรดแลคติก และกรดซัคซินิก เป็นต้น (บุษกร, 2547)

การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในเนื้อมะพร้าวมักเกิดขึ้นในช่วงการทำแห้ง โดยการตากแดดและการตากแดดรวมกับการอบแห้ง ประกอบกับมะพร้าวแห้งส่วนใหญ่ได้จากมะพร้าวที่เหลือจากการขายเป็นมะพร้าวผล บางครั้งมีผลเน่าเสียปะปนทำให้มีการเจริญของจุลินทรีย์ สายพันธุ์

ของจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในเนื้อมะพร้าว โดยเมื่อเนื้อมะพร้าวมีความชื้นมากกว่า 20% จะมีการเจริญของ *Bacillus subtilis*, *Enterobacter aerogenes*, *Pseudomonas fluorescens* และ *Sarcina lutea* และในเปลือกนอกของเนื้อมะพร้าวมีการเจริญของ *Acinetobacter*, *Enterobacterium*, *Micrococcus*, *Flavobacterium* และ *Mycobacterium* (Salunkhe et al. , 1992)

Parliment (1994) รายงานว่า กลิ่นเน่าเสีย (putrid aroma) ที่ตรวจพบในผลแปะก๊วย (*Ginkgo biloba*) เป็นสารระเหยให้กลิ่นในกลุ่ม butanoic acid และ hexanoic acid Arctander (1969) ให้คำจำกัดความของกลิ่นที่เกิดจากกรดทั้งสองว่า “reminiscent” หรือกลิ่นคล้ายเหงื่อ (sweat-like) ปริมาณของกรดดังกล่าวจะแปรผันตามระยะการเจริญเติบโต ผลแปะก๊วยดิบจะประกอบด้วย n-butanoic acid และ n-hexanoic acid เท่ากับ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และในผลสุกเต็มที่จะเท่ากับ 300 และ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ของน้ำหนักผลสด ตามลำดับ

3. การวิเคราะห์สารระเหยให้กลิ่น

อาหารโดยทั่วไปแล้วประกอบด้วยสารระเหยให้กลิ่นในปริมาณน้อยมาก และมีสารบางจำพวกที่ไม่มีความสำคัญต่อการให้กลิ่น ดังนั้นการวิเคราะห์หาปริมาณและระบุชนิดของสารระเหยโดยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี จึงจำเป็นต้องมีการแยกสารระเหยออกจากตัวอย่างอาหาร และการทำให้สารระเหยมีความเข้มข้น

3.1 การสกัดสารระเหยด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

ไอของสารระเหยที่อยู่เหนืออาหารเป็นสิ่งที่แสดงถึงกลิ่นที่แท้จริงของอาหารชนิดนั้นๆ แต่ไอดังกล่าวมักมีปริมาณน้อยไม่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ ในการวิเคราะห์เพื่อบ่งชี้ชนิดและปริมาณของสารระเหย จำเป็นต้องมีการสะสมของสารระเหยจากไอในปริมาณมากๆ ดังนั้นจึงต้องทำการแยกสารระเหยให้กลิ่นจากอาหารโดยตรงแทนที่จะแยกจากไอ และต้องทำการแยกหลายๆ ครั้ง (เกรียงศักดิ์, 2531)

การสกัดโดยตรงด้วยตัวทำละลายอินทรีย์จะใช้ในการแยกสารระเหยออกจากตัวอย่างอาหาร หรือใช้แยกออกจากสารละลายเจือจางที่ได้จากการกลั่น โดยอาศัยคุณสมบัติของความสามารถในการละลายที่แตกต่างกันของสารระเหยในตัวทำละลายอินทรีย์ ถ้าต้องการศึกษาสาร

ระเหยทั้งหมดอาจไม่จำเป็นต้องใช้ตัวทำละลายที่จำเพาะ แต่ถ้าต้องการศึกษาสารระเหยประเภทใดประเภทหนึ่งจะต้องเลือกตัวทำละลายที่สามารถแยกสารระเหยได้ดี และไม่ละลายสารอื่นๆ ที่ไม่ต้องการออกมา (เกรียงศักดิ์, 2531)

การเลือกตัวทำละลายที่จะใช้ควรพิจารณาคุณสมบัติของตัวทำละลายอินทรีย์ด้วย เช่น คุณสมบัติความมีขั้ว โดยควรเลือกตัวทำละลายที่มีค่าความเป็นขั้วใกล้เคียงกับกลุ่มสารระเหยที่ต้องการ เพื่อที่จะสกัดสารเหล่านั้นออกมาให้ได้มากที่สุด และจำเป็นต้องพิจารณาถึงจุดเดือดของสารระเหยในตัวอย่างอาหารด้วย โดยทั่วไปการสกัดมักจะใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำ ซึ่งช่วยให้สามารถกลั่นแยกออกได้ง่ายหลังการสกัดในกรณีที่ต้องการทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้น อีกทั้งต้องเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีความบริสุทธิ์สูงสำหรับสกัด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสารแปลกปลอมรบกวนการวิเคราะห์ ไดเอทิลอีเทอร์เป็นตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วและมีจุดเดือดต่ำ สามารถใช้สกัดสารระเหยได้ดีในตัวอย่างหลากหลายกลุ่ม เช่น กิโตน อัลดีไฮด์ เอสเทอร์ และไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น (Reineccius, 1994; Parliment, 2002)

การสกัดด้วยตัวทำละลายให้เกิดประสิทธิภาพสูงนั้น จำเป็นต้องทำการสกัดซ้ำหลายครั้ง (multiple extractions) โดยในแต่ละรอบที่สกัดควรใช้ปริมาณตัวทำละลายในปริมาณที่จำกัด ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการสกัดครั้งเดียวด้วยตัวทำละลายปริมาณมาก (Reineccius, 1994)

ประสิทธิภาพของการสกัดสารระเหยจะเพิ่มขึ้น หากเติมเกลือเพื่อให้สารละลายอิ่มตัว โดยควรเติมตัวทำละลายก่อน เกลือส่วนใหญ่ที่ใช้ ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมซัลเฟต การเติมจะช่วยให้การสกัดมีความจำเพาะต่อสารระเหยดีขึ้น รวมถึงลดการเกิดอิมัลชันได้ด้วย นอกจากนี้สามารถแยกตัวทำละลายจากการสกัดที่เกิดปัญหาอิมัลชันด้วยการหมุนเหวี่ยง แต่ต้องระมัดระวังกรณีใช้ตัวทำละลายที่ติดไฟได้ง่าย (เกรียงศักดิ์, 2531)

สารสกัดอาจมีน้ำปนอยู่บ้างจึงต้องกำจัดออก โดยใช้สารดูดน้ำหรือทำให้น้ำแข็งตัว สารที่ใช้ดูดน้ำนั้นจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาการสกัด เช่น แคลเซียมซัลเฟต หรือโซเดียมซัลเฟต หากเป็นน้ำปริมาณเล็กน้อยที่ปนมาหลังการสกัดด้วยอีเทอร์ สามารถกำจัดได้โดยการจุ่มลงในไนโตรเจนเหลวชั่วขณะหนึ่ง แล้วค่อยๆ รินเอาสารละลายอีเทอร์ออกมา (เกรียงศักดิ์, 2531)

3.2 การกลั่นสุญญากาศ

การแยกสารระเหยโดยการกลั่นภายใต้สุญญากาศ เหมาะสำหรับการใช้ร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ในกรณีสกัดตัวอย่างอาหารที่มีไขมัน เพื่อช่วยแยกส่วนของสารที่ไม่ระเหยออกจากสารละลาย ทำให้สารละลายมีความบริสุทธิ์และเข้มข้นเพิ่มขึ้น (Reineccius, 1994)

เครื่องมือประกอบด้วยชุดเครื่องแก้วใส่ตัวอย่างต่อกับขวดกลั่นสองขวด ได้แก่ ขวดรองรับสารระเหยและขวดรองรับของเสีย ซึ่งชุดเครื่องแก้วทั้งหมดจะต่อเข้ากับระบบทำสุญญากาศ สารตัวอย่างจะบรรจุในขวดสารตัวอย่างซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดสุญญากาศ จะถูกทำให้เย็นลงถึง -180 องศาเซลเซียส โดยแช่ลงในไนโตรเจนเหลว แล้วจึงทำให้เกิดสุญญากาศ จากนั้นทำการปิดท่อเครื่องดูดสุญญากาศ การกลั่นจะเริ่มขึ้นร่วมกับการใช้ระบบทำความเย็น คือ แช่ขวดกลั่นทั้งสองขวดลงในไนโตรเจนเหลวตลอดระยะเวลาการกลั่น สารระเหยที่ต้องการก็จะถูกดูดเข้าไปอยู่ในขวดรองรับ (เกรียงศักดิ์, 2531) ข้อดีของวิธีนี้คือ ไม่เกิดสารแปลกปลอมเพราะทำที่อุณหภูมิต่ำ และเหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีไขมันสูง (Parliment, 2002)

ในกรณีที่ตัวอย่างอาหารเป็นสารละลายในตัวทำละลายที่ได้จากการสกัดจากอาหารโดยตรง การกลั่นสุญญากาศไม่เพียงแต่แยกสารระเหยออกจากอาหารเท่านั้น แต่สามารถใช้แยกสารระเหยออกจากสารไม่ระเหย เช่น การแยกสารให้กลิ่นออกจากสารสี เป็นต้น (เกรียงศักดิ์, 2531)

3.3 การทำให้สารระเหยเข้มข้น

หลังการสกัดด้วยตัวทำละลายจะต้องมีขั้นตอนทำให้สารระเหยมีความเข้มข้น โดยการระเหยตัวทำละลาย เพราะความเข้มข้นของสารประกอบบางชนิดอาจต่ำถึง 1 ในร้อยล้านส่วน (1 ppb) หรือน้อยกว่านั้น ทำให้ต้องใช้ตัวอย่างอาหารเป็นปริมาณมากเพื่อให้ได้สารที่จะนำมาวิเคราะห์เพียงพอ (เกรียงศักดิ์, 2531) ส่วนมากการทำให้สารระเหยมีความเข้มข้นจะใช้การเป่าด้วยก๊าซไนโตรเจน การใช้ก๊าซไนโตรเจนเป่าควรเป่าเบาๆ เพียงแค่ผิวหน้าของเหลวให้มีการกระเพื่อมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การเป่าแรงๆ เพื่อเร่งให้ตัวทำละลายระเหยเร็วขึ้น อาจทำให้สูญเสียสารระเหยได้ โดยเฉพาะสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ การระเหยจะต้องระวังไม่ให้ตัวทำละลายระเหยไปจนหมด (Reineccius, 1994)

สารระเหยในตัวทำละลายในสภาพที่เข้มข้นแล้ว จะผ่านคอลัมน์ที่บรรจุโซเดียม ซัลเฟตแอนไฮดรัสเพื่อได้น้ำที่ตกค้าง เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ที่ค่อนข้างมีขี้จะ เสื่อมสภาพได้ง่าย หากตัวอย่างมีน้ำปนอยู่ (Reineccius, 1994)

3.4 การวิเคราะห์สารระเหยด้วยก๊าซโครมาโทกราฟี

ก๊าซโครมาโทกราฟีเป็นกระบวนการแยกสารออกจากสารผสมในระหว่าง 2 เฟส คือ เฟสคงที่ (stationary phase) และเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) โดยให้สารที่ต้องการแยกอยู่ใน สภาพะก๊าซที่อุณหภูมิหนึ่ง ถ้าหากสารใดเปลี่ยนเป็นก๊าซยาก อาจใช้เทคนิคการเปลี่ยนสารให้เป็น อนุพันธ์อื่นๆ โดยปฏิกิริยาเคมี หรืออาจใช้หลักการแยกสลายด้วยความร้อน เมื่อสารนั้นถูกเปลี่ยน ให้เป็นก๊าซแล้วผ่านเข้าไปยังคอลัมน์ที่บรรจุด้วยเฟสคงที่ (stationary phase) โดยอาศัยการพาของ เฟสเคลื่อนที่หรือก๊าซตัวพา (carrier gas) สารผสมนั้นจะเกิดการแยกขึ้น (Littlewood, 1970)

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) และปริมาณ (Quantitative analysis) ด้วยก๊าซโครมาโทกราฟีเป็นการตรวจวิเคราะห์เอกลักษณ์ของสารแต่ละชนิดในตัวอย่าง การตรวจ วิเคราะห์สารหรือปริมาณของสารต้องประกอบด้วยเวลาที่สารแต่ละชนิดผ่านคอลัมน์จากจุดเริ่มต้น จนถึงจุดสูงสุดของพีคในโครมาโทแกรม เรียกว่า retention time สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ เชิงคุณภาพ และขนาดของพีคอาจเป็นพื้นที่หรือความสูง สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิง ปริมาณ (แม้น, 2534)

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยค่า retention time เป็นการตรวจสอบว่าสารที่แยกได้ใน แต่พีคเป็นสารชนิดใด โดยการเปรียบเทียบค่า retention time ของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน ว่ามีค่าเหมือนกันหรือไม่ หากมีค่าเหมือนกันแสดงว่าอาจจะเป็นสารชนิดเดียวกัน ค่า retention time จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอัตราการไหลของก๊าซตัวพา นอกจากนี้ขนาดของสารที่ฉีดเข้าไปใน เครื่องก็มีผลต่อค่า retention time เช่นกัน ดังนั้นการเปรียบเทียบค่า retention time ของสาร ตัวอย่างกับสารมาตรฐานนั้นจึงไม่ได้เป็นการแสดงว่าจะต้องเป็นสารชนิดเดียวกันเสมอไป ทั้งนี้ เพราะว่ามีสารหลายชนิดที่มีค่า retention time เท่ากัน ดังนั้นจึงควรใช้คอลัมน์มากกว่าหนึ่งชนิด ขึ้นไป เพื่อตรวจสอบค่า retention time (McNair and Bonelli, 1969) ในการเปรียบเทียบชนิดของ สารจากโครมาโทแกรมมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง คือ ความสามารถในการควบคุมอัตราการไหลของ ก๊าซพาและอุณหภูมิที่ใช้กับคอลัมน์ให้คงที่ หากต้องการเปรียบเทียบสารตัวอย่างกับการทดลอง

อื่นๆ สามารถทำได้โดยนำค่า retention time ของตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน n-alkane ที่สถานะเดียวกัน แล้ววิเคราะห์ค่า retention index จากค่า retention time ของสารตัวอย่าง ที่อยู่ระหว่าง retention time ของสารมาตรฐานที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนอยู่ระหว่างกลาง (แม้น, 2534)

การวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยอาศัยหลักการพื้นที่ใต้พีคของสารตัวอย่างจะแปรตาม ปริมาณสาร internal standard ทำได้โดยเติม internal standard ที่ทราบความเข้มข้นลงในตัวอย่าง ในปริมาณใกล้เคียงกับสารตัวอย่าง แล้วนำส่วนผสมนี้ไปฉีดเข้าเครื่อง GC แล้วนำผลที่ได้จาก โครมาโทแกรมไปสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของพื้นที่ของตัวอย่างสารต่อพื้นที่ของ internal standard จะสามารถหาปริมาณความเข้มข้นของสารตัวอย่างได้ (ศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2534)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 น้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติ ผลิตโดยกรรมวิธีทำลายอิมัลชันกะทิ

2. สารเคมี

2.1 สารเคมีสำหรับกำจัดกลิ่น

- 2.1.1 โซเดียมคลอไรด์ (Merck, เยอรมนี)
- 2.1.2 ก๊าซไนโตรเจนเกรดอุตสาหกรรม (industrial grade) (TIG, ไทย)

2.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid)

- 2.2.1 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (BDH, อังกฤษ)
- 2.2.2 ไดเอทิลอีเทอร์ (Panreac, อิตาลี)
- 2.2.3 เอทิลแอลกอฮอล์ (Carlo ERBA, ฝรั่งเศส)
- 2.2.4 ฟีนอล์ฟทาลิน (Ajax Finechem, ออสเตรเลีย)

2.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์สารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่าง (unsaponifiable matter)

- 2.3.1 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (BDH, อังกฤษ)
- 2.3.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Ajax Finechem, ออสเตรเลีย)
- 2.3.3 เอทิลแอลกอฮอล์ (Carlo ERBA, ฝรั่งเศส)
- 2.3.4 ไดเอทิลอีเทอร์ (Panreac, อิตาลี)
- 2.3.5 อะซิโตน (Merck, เยอรมนี)
- 2.3.6 ฟีนอล์ฟทาลิน (Ajax Finechem, ออสเตรเลีย)

2.4 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหย

2.4.1 สารมาตรฐาน (internal standard)

- 2-methyl-3-heptanone (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)
- 2-ethylbutyric acid (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)

2.4.2 สารมาตรฐาน *n*-alkanes series (hydrocarbons, C6-C30) (Aldrich, สหรัฐอเมริกา)

2.4.4 ไดเอทิลอีเทอร์ HPLC grade (Lab-Scan, ไอร์แลนด์)

2.4.5 เมทานอล HPLC grade (Lab-Scan, ไอร์แลนด์)

2.4.6 โซเดียมคลอไรด์ (Merck, เยอรมนี)

2.4.7 โซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ (Merck, เยอรมนี)

2.4.8 ไยแก้ว

2.4.9 ไนโตรเจนเหลว (BIG, ไทย)

2.4.10 ก๊าซฮีเลียม 99.999% UHP grade (TIG, ไทย)

2.4.11 ก๊าซไนโตรเจน 99.999% UHP grade (TIG, ไทย)

3. อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1 เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบทำความเย็น (refrigerated centrifuge) รุ่น RC 5C Plus (Sorvall, สหรัฐอเมริกา)

3.2 ชุดรีฟลักซ์

3.3 เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (shaking water bath) รุ่น BS-11 (Jeio Tech, เกาหลี)

3.4 เครื่องกลั่นไอน้ำระดับห้องปฏิบัติการ (steam distillation) (VN Supply, ไทย)

3.5 ปัมสุญญากาศ (vacuum pump) รุ่น VCP 8101 (Harmony, ไต้หวัน)

3.6 ปัมน้ำ (water pump) รุ่น AP 1600 (Sonic, จีน)

3.7 เตาควบคุมอุณหภูมิ (heating mantle) รุ่น MS-E104 (MTOPS, สหรัฐอเมริกา)

3.8 เทอร์โมมิเตอร์

3.9 เครื่องกลั่นไนโตรเจนระดับห้องปฏิบัติการ (nitrogen distillation) (VN Supply, ไทย)

3.10 มาตรวัดความดัน (pressure regulator) รุ่น FMD 502-14MA (BOC, เยอรมนี)

3.11 เครื่อง sonicator รุ่น Bransonic 32 (Branson Instruments, สหรัฐอเมริกา)

- 3.12 เครื่องกลั่นระบบสุญญากาศ (high vacuum distillation) รุ่น B62426952 (Edwards, อังกฤษ)
- 3.13 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) รุ่น 600 D 06060 (Mettler, เยอรมนี)
- 3.14 เครื่องกวนแบบแม่เหล็ก (hot plate stirrer) รุ่น T. Are 2 (VELP Scientifica, อิตาลี)
- 3.15 แก๊สโครมาโตกราฟี (gas chromatography) รุ่น HP 6890 (Agilent Technologies, สหรัฐอเมริกา) คู่กับ mass selective detector (MSD) รุ่น HP 5973 (Agilent Technologies, สหรัฐอเมริกา)
- 3.16 แคปิลารีคอลัมน์ (capillary column) ชนิด FFAP ความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 320 ไมโครเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร รุ่น 90709A (Quadrex, สหรัฐอเมริกา)
- 3.17 เข็มฉีดยา (syringe) รุ่น HP 5182-3499 (Agilent Technologies, สหรัฐอเมริกา)
- 3.18 ตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -30°C (freezer) รุ่น MDF-235 (Sanyo, ญี่ปุ่น)
- 3.19 ตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -40°C (freezer) รุ่น MDF-435 (Sanyo, ญี่ปุ่น)
- 3.20 อุปกรณ์การทดสอบทางประสาทสัมผัส
- 3.21 อุปกรณ์เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ

วิธีการ

1. การเตรียมน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียและกลั่นคืนแบบคีโตนิคจากน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นธรรมชาติ

1.1 การเตรียมน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสีย

นำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นธรรมชาติมาเติมกะทิ ในอัตราส่วนน้ำมันมะพร้าวสดกับกะทิ 5:1 โดยน้ำหนัก หมักของผสมในภาชนะปิดสนิท ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน เพื่อเพิ่มจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในกะทิตามธรรมชาติ (normal flora) จากนั้นนำไปเหวี่ยงแยกตะกอนและน้ำออกจากน้ำมัน โดยเครื่องหมุนเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ 8000×g เป็นเวลา 15 นาที เทน้ำมันมะพร้าวสดออก แล้วจึงเก็บตัวอย่างน้ำมันที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส เพื่อรักษากลิ่นและป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ระหว่างรอการทดลองในขั้นต่อไป

1.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นหีบแบบคีโตนิค

นำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นธรรมชาติมาเติมเนื้อมะพร้าวเน่าเสียด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติประมาณ 1-2 วัน (มีลักษณะเนื้อมัน มีราสีน้ำตาลและเหลือง) ในอัตราส่วน 12:1 โดยน้ำหนัก และตั้งทิ้งไว้ในภาชนะเปิด ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน ตามวิธีของสุคนธ์ ชื่นและศิริวรรณ (2533) เพื่อเพิ่มจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ แล้วกรองแยกเนื้อมะพร้าวและเชื้อจุลินทรีย์ออกจากน้ำมัน โดยผ้าขาวบางและเครื่องกรองแบบสุญญากาศ ตามลำดับ แล้วเก็บตัวอย่างน้ำมันที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับข้อ 1.1

2. อิทธิพลของอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการสกัดต่อความสามารถในการกำจัดกลิ่นโดยการสกัดด้วยน้ำ

2.1 อิทธิพลของอุณหภูมิการสกัด

นำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียจากข้อ 1.1 ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีกลิ่นแรงมาสกัดสารให้กลิ่นด้วยน้ำ โดยใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อน้ำเป็น 1:1 โดยปริมาตร ใส่ในภาชนะปิดด้านบนด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียสารให้กลิ่นจากการระเหย เขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (shaking water bath) ที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที สกัดซ้ำ 5 ครั้ง โดยเปลี่ยนน้ำใหม่และใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อน้ำเป็น 1:1 โดยปริมาตรทุกครั้งของการสกัด แยกน้ำมันจากการสกัดครั้งสุดท้ายโดยการเติมโซเดียมคลอไรด์ 4 กรัม เพื่อทำลายอิมัลชันที่เกิดจากการเขย่า แล้วหมุนเหวี่ยงที่ $5000 \times g$ เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ไขมันแยกตัวออกมาอย่างสมบูรณ์ นำตัวอย่างมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีจัดอันดับตัวอย่างตามความแรงของกลิ่น (ranking test) ให้อันดับ 1 เป็นตัวอย่างที่มีกลิ่นแรงที่สุด แล้วเปลี่ยนอันดับเป็นคะแนนตามวิธีของ Fisher and Yates (1942) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนเบื้องต้นจำนวน 10 คน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) และวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดกลิ่นเพื่อหาอุณหภูมิการสกัดที่เหมาะสม

2.2 อิทธิพลของจำนวนครั้งของการสกัด

นำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียมาสกัดสารให้กลั่นด้วยน้ำ โดยใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อน้ำเป็น 1:1 โดยปริมาตร ควบคุมอุณหภูมิการสกัดที่เหมาะสมตามที่ได้จากข้อ 2.1 สกัดซ้ำจำนวน 4 และ 6 ครั้ง เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดกลิ่น เพื่อหาจำนวนครั้งในการสกัดที่เหมาะสม โดยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีจัดอันดับตัวอย่างตามความแรงของกลิ่น เช่นเดียวกับวิธีการข้างต้น

3. อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาต่อความสามารถในการกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ

3.1 อิทธิพลของอุณหภูมิการกลั่นด้วยไอน้ำ

นำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียจากข้อ 1.1 ผสมกับน้ำในอัตราส่วนน้ำมันต่อน้ำ 1:7 โดยปริมาตร กลั่นด้วยเครื่องกลั่นไอน้ำที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันสัมบูรณ์ 220 270 และ 320 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แยกน้ำมันจากน้ำ โดยการเติมโซเดียมคลอไรด์ 16 กรัม แล้วหมุนเหวี่ยง ณ อุณหภูมิห้องที่ $5000 \times g$ เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ไขมันแยกตัวออกอย่างสมบูรณ์ เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดกลิ่นเพื่อหาอุณหภูมิการกลั่นที่เหมาะสม โดยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีจัดอันดับตัวอย่างตามความแรงของกลิ่น เช่นเดียวกับข้อ 2 วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) และวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.2 อิทธิพลของเวลาการกลั่นด้วยไอน้ำ

นำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียมากำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ โดยใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อน้ำเป็น 1:7 โดยปริมาตร ควบคุมอุณหภูมิการกลั่นที่เหมาะสมตามที่ได้จากข้อ 3.1 เป็นเวลา 2 3 และ 4 ชั่วโมง เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดกลิ่นเพื่อหาเวลาการกลั่นที่เหมาะสม โดยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีจัดอันดับตัวอย่างตามความแรงของกลิ่นเช่นเดียวกับข้อ 2

4. อิทธิพลของอัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจนและเวลาต่อความสามารถในการกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

4.1 อิทธิพลของอัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน

นำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียมากลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน ควบคุมอุณหภูมิการกลั่น เช่นเดียวกับที่ใช้ในการกลั่นด้วยไอน้ำที่เหมาะสมจากข้อ 3 ที่อัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน 0.2 0.3 และ 0.4 บาร์ ที่ความดันสัมบูรณ์ 495 545 และ 595 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดกลิ่นเพื่อหาอัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจนที่เหมาะสม โดยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีจัดอันดับตัวอย่างตามความแรงของกลิ่น เช่นเดียวกับข้อ 2 วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) และวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2 อิทธิพลของเวลาการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

นำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียมากำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน ควบคุมอัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจนตามที่ได้จากข้อ 4.1 กลั่นเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดกลิ่นเพื่อหาเวลาการกลั่นที่เหมาะสม โดยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีจัดอันดับตัวอย่างตามความแรงของกลิ่น เช่นเดียวกับข้อ 2

5. การศึกษาวิธีการกำจัดกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดที่เหมาะสม

นำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสีย ซึ่งกำจัดกลิ่นโดยวิธีสกัดด้วยน้ำ กลั่นด้วยไอน้ำ และกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน ในสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละวิธีจากข้อ 2 3 และ 4 มาเปรียบเทียบความแรงของกลิ่นด้วยการจัดอันดับตัวอย่างตามความแรงของกลิ่น เช่นเดียวกับข้อ 2 และวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนและหลังการกำจัดกลิ่น ตามวิธีของ AOCS (1997) พิจารณาการเปลี่ยนแปลงความแรงของกลิ่นควบคู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสีย เพื่อหาวิธีที่เหมาะสม โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD)

และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

6. อิทธิพลของวิธีการที่เหมาะสมต่อการกำจัดกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบโตนิก

นำน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติ (ตัวอย่างควบคุม) กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบโตนิก จากข้อ 1 มากำจัดกลิ่นด้วยวิธีและสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 5 และตรวจวัดคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและกายภาพ ดังนี้

6.1 ความแรงของกลิ่น เปรียบเทียบความแรงของกลิ่นในน้ำมันมะพร้าวสดก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นของน้ำมันแต่ละชนิด โดยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบเปรียบเทียบคู่ (Paired comparison test) ในด้านความแรง โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 30 คน กำหนดให้เลือกตัวอย่างน้ำมันที่มีกลิ่นแรงกว่า วิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยวิธี chi-square test

6.2 กรดไขมันอิสระ วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวสดก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นของน้ำมันแต่ละชนิด ตามวิธีของ AOCS (1997) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบเปรียบเทียบคู่ (Paired comparison test) และวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยวิธี Paired-sample T test

6.3 สารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่าง วิเคราะห์ปริมาณสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่าง ในน้ำมันมะพร้าวสดก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นของน้ำมันแต่ละชนิด ตามวิธีของ AOCS (1997) วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ค่าทางสถิติเช่นเดียวกับข้อ 6.2

6.4 ชนิดและปริมาณกรดไขมัน วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวสดก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นของน้ำมันแต่ละชนิด โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) (วิเคราะห์โดยศูนย์บริการประกันคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหาร สถาบันคั้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร)

6.5 ชนิดและปริมาณสารระเหยให้กลิ่น วิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยให้กลิ่นในน้ำมันมะพร้าวสดก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นของน้ำมันแต่ละชนิด โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS) ดัดแปลงจากวิธีของ ศุภศิริ (2550) ดังนี้

เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ 50 กรัม ลงในขวดฝาเกลียว ซึ่งบรรจุน้ำมันมะพร้าวสดปริมาตร 70 มิลลิลิตร เติมไดเอทิลอีเทอร์ 150 มิลลิลิตร และสารละลาย internal standard ในเมทานอล คือ 2-ethylbutyric acid และ 2-methyl-3-heptanone เข้มข้นอย่างละ 6.31 และ 5.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาณ 20 ไมโครลิตร ลงในตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวสด กวนตัวอย่างด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็ก ด้วยความเร็วรอบต่ำ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที แยกของเหลวออกเก็บในขวดฝาเกลียว

นำของเหลวมาทำให้เข้มข้นด้วยการเป่าด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.999% จนเหลือปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปกลั่นแยกสารระเหยออกจากสารอื่นๆ ที่ไม่ระเหย โดยวิธีกลั่นภายใต้ระบบสุญญากาศด้วยเครื่องกลั่นสุญญากาศ โดยนำของเหลวเข้มข้นใส่ในขวดกันกลม แล้วแช่แข็งโดยการแช่ในไนโตรเจนเหลว กลั่นตัวอย่างที่ระบบสุญญากาศที่ความดัน 10^{-5} ทอร์ร โดยช่วงแรกกลั่นที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส โดยหล่อน้ำอุ่นที่ขวดกันกลมที่ใส่ตัวอย่าง แล้วกลั่นต่ออีก 1 ชั่วโมง นำสารที่กลั่นได้ในขวดกักเก็บแรก (first trap) ไปทำให้เข้มข้นโดยการเป่าก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ จนได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทำให้แห้งโดยเติมโซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ 10 กรัม และกรองผ่านหลอดหยดที่ภายในบรรจุด้วยใยแก้วและโซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ ทำให้ตัวอย่างเข้มข้นขึ้นด้วยเป่าก๊าซไนโตรเจนจนตัวอย่างมีปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชาฝาเกลียว ในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส

วิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยให้กลิ่น โดยก๊าซโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี ใช้การฉีดแบบ splitless โดยใช้ก๊าซฮีเลียมบริสุทธิ์ 99.999% เป็นก๊าซตัวพา มีอัตราไหลอยู่ที่ 1.7 มิลลิลิตรต่อนาที แยกสารระเหยด้วยแคปิลารีคอลัมน์ชนิด FFAP ความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 320 ไมโครเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร โดยตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นของตู้อบที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วเพิ่มเป็น 60 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที เพิ่มเป็น 90 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที คงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 25 นาที

ระบุชนิดของสารแต่ละชนิดกับฐานข้อมูล Wiley 275 library และคำนวณค่า Retention index (RI) จากค่า retention time (RT) ของสารแต่ละชนิด กับค่า RT ของสารมาตรฐาน *n*-alkanes (C6-C30) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์และสภาวะการวิเคราะห์เดียวกันกับตัวอย่าง ตามสมการข้อ 1 ในภาคผนวก ก คำนวณปริมาณสารแต่ละชนิด โดยการหาพื้นที่ใต้กราฟของแต่ละสารด้วย Chemstation Software B.02.05 (Copyright 1987-1997, Hewlett Packard) เปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของ internal standard คือ 2-ethylbutyric acid สำหรับสารในกลุ่มกรด และ 2-methyl-3-heptanone สำหรับสารในกลุ่มอื่นๆ รายงานเป็นความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารชนิดนั้นๆ ในตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวสด (นาโนกรัม/มิลลิลิตร หรือ ppb)

7. สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

ห้องวิจัยปริญญาโท ห้องปฏิบัติการเคมีทางอาหาร และห้องทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

8. ระยะเวลาทำการวิจัย

การทดลองเริ่มเดือนมีนาคม พ.ศ. 2549 สิ้นสุดเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2550

ผลและวิจารณ์

1. น้ำมันมะพร้าวสด

น้ำมันมะพร้าวสดกลั่นธรรมชาติมีลักษณะใส ไม่มีสี มีกลิ่นหอมหวานร่วมกับกลิ่นไขมัน และกลิ่นครีมเล็กน้อย คล้ายกลิ่นหอมของเนื้อมะพร้าวสดอย่างอ่อนๆ เป็นกลิ่นเฉพาะตัวของน้ำมันมะพร้าว

1.1 น้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสีย

กะทิเป็นผลผลิตที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าว ซึ่งปกติแล้วเนื้อมะพร้าวจะปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ การปนเปื้อนของจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นในระหว่างการสกัดน้ำกะทิ จากการทดลองนำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นธรรมชาติมาเติมกะทิ ในอัตราส่วนน้ำมันต่อกะทิ 5:1 เป็นเวลา 7 วัน ในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัดและมีความชื้น พบว่าน้ำมันมะพร้าวสดที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นอย่างชัดเจน เนื่องจากแบคทีเรียที่ปนเปื้อนทำการย่อยโปรตีนในกะทิ และมีการสร้างก๊าซและกรดที่ระเหยได้ทำให้เกิดกลิ่นเน่าเสีย (putrid odor) ในลักษณะกลิ่นเปรี้ยวหรือกลิ่นเน่าของโปรตีน ซึ่งมีกลิ่นแรงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และคาดว่าน่าจะเป็นแบคทีเรียพวก *Bacillus subtilis*, *Enterobacter aerogenes*, *Pseudomonas fluorescens* และ *Sarcina lutea* ที่เจริญในเนื้อมะพร้าว เมื่อมีความชื้นมากกว่า 20% (Salunkhe *et al.*, 1992) กะทิเป็นอาหารที่ดีสำหรับจุลินทรีย์ที่ต้องการน้ำในการเจริญเติบโต จึงเชื่อว่าแบคทีเรียเป็นสาเหตุของกลิ่นเน่าเสียในน้ำมันมะพร้าวสด

1.2 น้ำมันมะพร้าวสดกลั่นหืนแบบคีโตนิก

น้ำมันมะพร้าวที่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในรูปเนื้อมะพร้าวเน่าเสีย จากการนำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นธรรมชาติ มาเติมเนื้อมะพร้าวเน่าเสียประมาณ 1-2 วัน ที่มีลักษณะเนื้อมัน และมีการเจริญของราเป็นจุดสีน้ำตาลและดำบริเวณผิวเนื้อมะพร้าว ในอัตราส่วน 12:1 โดยน้ำหนัก และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 วัน ในสภาวะที่มีออกซิเจนและมีความชื้นเล็กน้อย พบว่าน้ำมันมะพร้าวสดที่ได้จากการหมักมีการเปลี่ยนแปลงของสีจากเริ่มต้นซึ่งมีลักษณะใส ไม่มีสี กลายเป็นสีเหลืองอ่อนและมีกลิ่นหืนแบบคีโตนิก (ketonic odor) เนื่องจากในระหว่างกระบวนการหมักจะสังเกต

เห็นมีการเจริญของเชื้อราสร้างสีซึ่งมีลักษณะเป็นเมือกสีขาวและเชื้อราสีน้ำตาลแดง ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นเชื้อราในกลุ่ม *Rhizopus* spp. สร้างไมซีเลียมาจากเชื้อราสีขาว และเชื้อราสีน้ำตาลและสีเหลืองในกลุ่ม *Aspergillus* spp. (Salunkhe *et al.*, 1992) เชื้อราเหล่านี้จะย่อยน้ำมันแล้วเกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันอิสระ เปลี่ยนเป็นกรดไขมันแล้วเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้คาร์บอนไดออกไซด์และสารคีโตน กลิ่นหืนที่เกิดขึ้นนี้น่าจะเป็นกลิ่นจากสารคีโตนที่ให้กลิ่นหืนเฉพาะตัวร่วมกับกลิ่นของกรดไขมันอิสระ

2. ผลของอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการสกัดต่อความสามารถในการกำจัดกลิ่นจากน้ำมันมะพร้าวสดโดยการสกัดด้วยน้ำ

การกำจัดกลิ่นเน่าเสียในน้ำมันมะพร้าวสดโดยการสกัดสารให้กลิ่นด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นับตั้งแต่อุณหภูมิในอ่างน้ำร้อนถึงอุณหภูมิที่ต้องการสกัดซ้ำ 5 ครั้ง และจัดอันดับความแรงของกลิ่นที่คงเหลือในน้ำมัน ผลของการสกัดแสดงในตารางที่ 6 พบว่าภายหลังการสกัดด้วยน้ำยังคงเหลือกลิ่นเน่าเสียในน้ำมันอยู่บ้างเล็กน้อย สารให้กลิ่นสามารถละลายได้ทั้งในน้ำและน้ำมัน สารให้กลิ่นที่มีโมเลกุลขนาดเล็กหรือมีจำนวนคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม จะสามารถละลายน้ำได้ดี เพราะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ (Pai *et al.*, 1979) และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอนุภาคน้ำมันจะแพร่ในน้ำได้ดีขึ้น ทำให้สารให้กลิ่นในน้ำมันมีโอกาสเคลื่อนที่ไปอยู่ในส่วนน้ำได้มากขึ้น แต่จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าการสกัดจำนวน 5 ครั้ง ที่ทุกอุณหภูมิสามารถลดกลิ่นเน่าเสียในน้ำมันมะพร้าวสดได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงว่ายังมีสารให้กลิ่นในน้ำมันบางส่วน ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญหรือเป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้วจึงไม่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้วได้ (Pai *et al.*, 1979) จึงยังคงเหลืออยู่ในน้ำมันแม้จะเพิ่มอุณหภูมิสกัดก็ตาม ดังนั้นจึงควรเลือกใช้อุณหภูมิต่ำที่สุดเพียง 75 องศาเซลเซียส เพื่อลดการใช้พลังงานและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากผลของความร้อนต่อองค์ประกอบในน้ำมันมะพร้าวสด

ตารางที่ 6 ผลของอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการสกัดด้วยน้ำต่อความแรงของกลั่นน้ำมันมะพร้าวสดเน่าเสีย

สภาวะ	ผลรวมอันดับ*	ค่าเฉลี่ยคะแนนอันดับ**
75 ^o ซ 5 ครั้ง	54	0.17 ns
85 ^o ซ 5 ครั้ง	64	-0.11 ns
95 ^o ซ 5 ครั้ง	62	-0.06 ns
75 ^o ซ 4 ครั้ง	49	0.31 a
75 ^o ซ 5 ครั้ง	67	-0.20 b
75 ^o ซ 6 ครั้ง	64	-0.11 b

หมายเหตุ * ผลรวมอันดับจากผู้ทดสอบจำนวน 10 คน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

** การแปลงอันดับเป็นคะแนน; อันดับ 1 = 0.85, อันดับ 2 = 0, อันดับ 3 = -0.85
(Fisher and Yates, 1942)

ns ค่าเฉลี่ยคะแนนอันดับในกลุ่มเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

a-b ค่าเฉลี่ยคะแนนอันดับที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียมาสกัดกลั่นที่อุณหภูมิที่เหมาะสมจากข้างต้น คือ 75 องศาเซลเซียส สกัดจำนวน 4 5 และ 6 ครั้ง เพื่อคัดเลือกจำนวนครั้งในการสกัดที่เหมาะสม โดยการจัดอันดับตามความแรงของกลั่น เช่นเดียวกับวิธีการข้างต้น จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จำนวน 5 ครั้ง ให้กลั่นลดลงจากการสกัด 4 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การเพิ่มจำนวนครั้งในการสกัดทำให้สารให้กลั่นมีโอกาสมะพร้าอยู่ในส่วนน้ำมากขึ้น เมื่อเพิ่มการสกัดเป็น 6 ครั้ง ไม่สามารถลดกลั่นได้อีก แสดงว่าสารให้กลั่นชนิดที่ละลายน้ำแพร่ออกมาในน้ำได้มากที่สุดแล้ว และคงเหลือสารให้กลั่นที่ละลายในน้ำมันเป็นส่วนใหญ่

เมื่อพิจารณาผลการสกัดสารให้กลั่นในน้ำมันมะพร้าวสดที่อุณหภูมิและจำนวนครั้งในการสกัดต่างๆ อาจสรุปได้ว่าควรสกัดสารให้กลั่นออกจากน้ำมันด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และสกัดจำนวน 5 ครั้ง ซึ่งเป็นสภาวะที่ดีที่สุดของวิธีการนี้ แม้ว่ายังคงเหลือกลั่นในน้ำมันอยู่บ้าง

Indira *et al.* (2000) รายงานว่าอุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำมีผลต่อการแยกสารที่สามารถละลายในน้ำออกจากน้ำมัน การใช้น้ำและอัตราการเขย่ามากเกินไประหว่างขั้นตอนการสกัดเป็นการเพิ่มโอกาสให้น้ำมันเกิดไฮโดรไลซิสและออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษา

3. ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อความสามารถในการกำจัดกลิ่นจากน้ำมันมะพร้าวสดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ

เมื่อนำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียมากำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ควบคุมให้เกิดสุญญากาศที่ความดันสัมบูรณ์ 220 270 และ 320 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ จากการกลั่นที่อุณหภูมิและความดันดังกล่าวนาน 3 ชั่วโมง ความแรงของกลิ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิการกลั่นสูงขึ้น ผลของการกลั่นด้วยไอน้ำต่อความแรงของกลิ่นแสดงในตารางที่ 7 การกลั่นที่อุณหภูมิ 90 และ 100 องศาเซลเซียส มีกลิ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่อ่อนกว่าที่ 80 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การมีความแรงของกลิ่นลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากสารให้กลิ่นมีความสามารถในการระเหยแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความดันไอ (vapour pressure) ของสารแต่ละชนิด สารให้กลิ่นในน้ำมันมะพร้าวสดส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่มีความดันไอสูงสามารถระเหยง่าย จึงเกิดการระเหยได้ทุกอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ประกอบกับเป็นการเพิ่มอุณหภูมิการกลั่นในสภาพสุญญากาศ ทำให้ของเหลวเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ สารให้กลิ่นมีค่าความดันไอสูงขึ้นจึงเกิดการระเหยมากขึ้น น้ำ และควบแน่นกลับเป็นของเหลว ซึ่งจากการสังเกตความแรงของกลิ่นในของเหลวที่กลั่นได้ (distillate) พบว่าของเหลวมีกลิ่นแรงเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการเกิดไอน้ำ

จากการทดลองกลั่นที่ 100 องศาเซลเซียส ทำให้กลิ่นที่คงเหลือในน้ำมันต่างจากกลิ่นที่ 80 และ 90 องศาเซลเซียส เนื่องจากเกิดสารแปลกปลอมจากการเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนสูง Parliament (1998) กล่าวว่า การกลั่นไอน้ำที่อุณหภูมิสูง สารประกอบเอสเทอร์จะถูกไฮโดรไลซ์ให้เป็นกรดและแอลกอฮอล์ได้ง่าย ดังนั้นจึงควรกลั่นที่อุณหภูมิต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงและเป็นการประหยัดพลังงานที่ใช้กระบวนการ การกลั่นไอน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จึงมีความเหมาะสมกว่า

ตารางที่ 7 ผลของอุณหภูมิและเวลาการกลั่นด้วยไอน้ำต่อความแรงของกลั่นน้ำมันมะพร้าวสด
เน่าเสีย

สภาวะ	ผลรวมอันดับ*	ค่าเฉลี่ยคะแนนอันดับ**
80 °ซ 3 ชม.	48	0.28 a
90 °ซ 3 ชม.	62	-0.11 b
100 °ซ 3 ชม.	70	-0.20 b
90 °ซ 2 ชม.	49	0.31 a
90 °ซ 3 ชม.	66	-0.17 b
90 °ซ 4 ชม.	65	-0.14 b

หมายเหตุ * ผลรวมอันดับจากผู้ทดสอบจำนวน 10 คน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

** การแปลงอันดับเป็นคะแนน; อันดับ 1 = 0.85, อันดับ 2 = 0, อันดับ 3 = -0.85

(Fisher and Yates, 1942)

a-b ค่าเฉลี่ยคะแนนอันดับที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียมากำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 3 และ 4 ชั่วโมง พบว่าการกลั่นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง น้ำมันมะพร้าวสดยังคงมีกลิ่นเน่าเสียแรงอยู่ แต่การกลั่นนานขึ้นเป็น 3 และ 4 ชั่วโมง ทำให้กลิ่นเน่าเสียลดลงไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่าสารให้กลิ่นส่วนใหญ่เกิดการระเหยออกจากร้ำมันที่เวลา 3 ชั่วโมง และคงเหลือสารที่ระเหยยากหรือไม่ระเหย แม้เพิ่มเวลา กลั่นเป็น 4 ชั่วโมง ก็ไม่สามารถกลั่นแยกสารที่ระเหยยากออกได้อีก จึงสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นด้วยไอน้ำ คือ 90 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง

4. ผลของอัตราการป้อนก๊าซในโตรเจนและเวลาต่อความสามารถในการกำจัดกลิ่นจากน้ำมันมะพร้าวโดยการกลั่นด้วยก๊าซในโตรเจน

เมื่อนำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียมากำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซในโตรเจนที่อุณหภูมิเดียวกับที่ใช้ในการกลั่นด้วยไอน้ำ คือ 90 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการป้อนก๊าซ

ไนโตรเจน 0.2 0.3 และ 0.4 บาร์ ควบคุมให้เกิดสุญญากาศที่ความดันสัมบูรณ์ 495 545 595 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ กลิ่นที่สภาวะดังกล่าวเป็นเวลา 30 นาที นับตั้งแต่น้ำมันมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ (90°C) และจัดอันดับความแรงของกลิ่นที่เหลือ ผลของการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนต่อกลิ่นแสดงในตารางที่ 8 พบว่าการกลั่นที่อัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจนทุกระดับสามารถลดกลิ่นเน่าเสียในน้ำมันมะพร้าวสดได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และยังคงเหลือกลิ่นในน้ำมันบ้างเล็กน้อย ซึ่งคาดว่าสารให้กลิ่นที่เหลืออาจเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจึงไม่เกิดการระเหยออกจากร้ำมัน แม้มีก๊าซไนโตรเจนทำหน้าที่เป็นตัวพาในสภาวะสุญญากาศก็ตาม แสดงว่าการกลั่นที่อัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน 0.2 บาร์ น่าจะเพียงพอสำหรับกำจัดสารให้กลิ่นในน้ำมันมะพร้าวสด

ตารางที่ 8 ผลของอัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจนและเวลาการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนต่อความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดเน่าเสีย

สภาวะ	ผลรวมอันดับ*	ค่าเฉลี่ยคะแนนอันดับ**
0.2 บาร์ 30 นาที	58	0.06 ns
0.3 บาร์ 30 นาที	55	0.14 ns
0.4 บาร์ 30 นาที	67	-0.20 ns
0.2 บาร์ 20 นาที	55	0.14 ns
0.2 บาร์ 30 นาที	56	0.11 ns
0.2 บาร์ 40 นาที	69	-0.26 ns

หมายเหตุ * ผลรวมอันดับจากผู้ทดสอบจำนวน 10 คน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

** การแปลงอันดับเป็นคะแนน; อันดับ 1 = 0.85, อันดับ 2 = 0, อันดับ 3 = -0.85

(Fisher and Yates, 1942)

ns ค่าเฉลี่ยคะแนนอันดับในกลุ่มเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียมากำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนที่อัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจนที่เหมาะสมคือ 0.2 บาร์ เป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที พบว่าช่วง 10 นาทีแรกของการกลั่น ก๊าซไนโตรเจนสามารถพาสารให้กลิ่นให้เกิดการระเหยและแพร่กระจาย

กลืนเน่าเสียออกมาอย่างแรง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลากลับอย่างชัดเจน แสดงว่าการกลืนด้วยก๊าซไนโตรเจนมีประสิทธิภาพในการพากลืนออกมา และกลืนที่มีความดันไอสูงสามารถออกมาได้ภายใน 10 นาทีแรก ส่วนที่เหลือในน้ำมันเป็นพวกที่มีความดันไอต่ำกว่า และภายหลังจากนั้นกลืนจะค่อยๆ อ่อนลงจนครบเวลากลับ แต่กลืนที่คงเหลือมีความแรงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) จึงเลือกกลืนที่เวลาสั้นที่สุด คือ 20 นาที เพื่อลดปริมาณการใช้ก๊าซไนโตรเจนสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการกลืนด้วยก๊าซไนโตรเจน คือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน 0.2 บาร์ เวลากลับ 20 นาที

5. วิธีการกำจัดกลืนน้ำมันมะพร้าวสดที่เหมาะสม

เมื่อน้ำมันมะพร้าวสดกลืนเน่าเสีย ซึ่งเป็นน้ำมันชนิดที่มีกลิ่นแรงที่สุดมากำจัดกลืนโดยวิธีการทั้ง 3 วิธี ในสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละวิธี จากการทดลองที่ 2 3 และ 4 คือ การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส สกัดจำนวน 5 ครั้ง การกลืนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และการกลืนด้วยก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน 0.2 บาร์ เป็นเวลา 20 นาที ได้ผลดังต่อไปนี้

5.1 ความแรงของกลืนน้ำมันมะพร้าวสด

เมื่อเปรียบเทียบผลการกำจัดกลืนน้ำมันมะพร้าวสดกลืนเน่าเสียทั้ง 3 วิธีที่สภาวะที่เหมาะสม พบว่าการสกัดด้วยน้ำยังคงเหลือกลิ่นแรงสุดไม่แตกต่างจากการกลืนด้วยไอน้ำ ($p>0.05$) และการกลืนด้วยไอน้ำไม่แตกต่างจากการกลืนด้วยก๊าซไนโตรเจนที่มีกลิ่นอ่อนกว่า ($p>0.05$) ผลของวิธีการกำจัดกลืนต่อกลิ่นในน้ำมันมะพร้าวสดแสดงในตารางที่ 9 เมื่อเปรียบเทียบการกลืนด้วยไอน้ำและก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิเดียวกัน (90 องศาเซลเซียส) เห็นได้ว่าการกลืนด้วยก๊าซไนโตรเจนสามารถกำจัดกลืนได้ในเวลาที่สั้นกว่าการกลืนด้วยไอน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนสามารถให้ความดันสูงกว่าและคงที่ตามอัตราการป้อน ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิการกลืน ในขณะที่ไอน้ำที่เกิดในการกลืนด้วยไอน้ำมีความดันต่ำกว่าและไม่คงที่ ขึ้นกับอุณหภูมิการกลืน

ตารางที่ 9 ผลของวิธีการกำจัดกลิ่นต่อความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นเน่าเสีย

วิธีการกำจัดกลิ่น	ผลรวมอันดับ*	ค่าเฉลี่ยคะแนนอันดับ**
การสกัดด้วยน้ำ	53	0.20 a
การกลั่นไอน้ำ	58	0.06 ab
การกลั่นในโตรเจน	69	-0.26 b

หมายเหตุ * ผลรวมอันดับจากผู้ทดสอบจำนวน 10 คน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

** การแปลงอันดับคะแนน; อันดับ1 = 0.85, อันดับ2 = 0, อันดับ3 = -0.85

(Fisher and Yates, 1942)

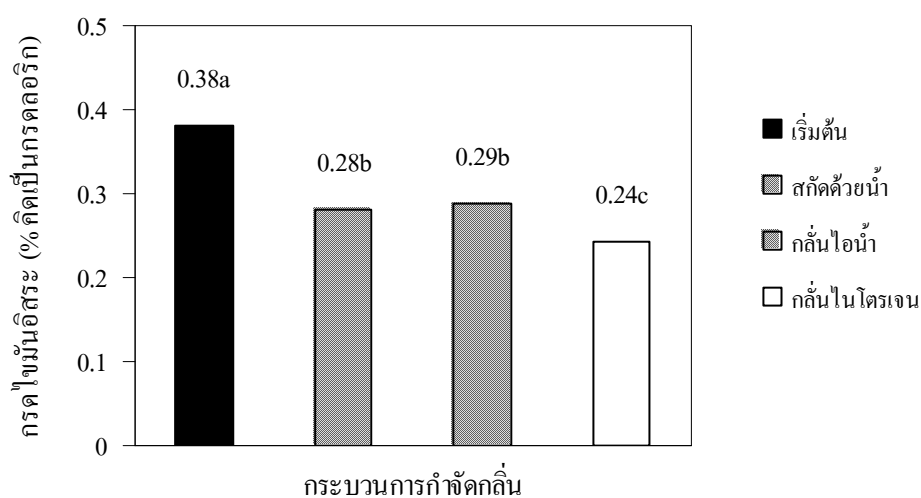
a-b ค่าเฉลี่ยคะแนนอันดับที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การกำจัดกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำใช้เวลาการกลั่น 3 ชั่วโมง น้ำมันสัมผัสกับน้ำและได้รับความร้อนเป็นเวลานาน ดังนั้นน้ำมันจึงอาจเกิดปฏิกิริยาสลายตัวหรือเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเนื่องจากความร้อน (Marsili, 1997) และเมื่อสิ้นสุดการกลั่นจะต้องมีขั้นตอนการแยกน้ำมันออกจากน้ำ ทำให้มีการสูญเสียน้ำมันบางส่วน ในขณะที่การกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนใช้เวลาเพียง 20 นาที ประกอบกับก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมัน และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการ ก๊าซไนโตรเจนแยกออกจากน้ำมันได้เองทำให้ไม่มีการสูญเสียน้ำมัน (Marsili, 1997)

5.2 กรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวสด

น้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นเน่าเสียเกิดจากการปนเปื้อนของแบคทีเรียที่เร่งการเสื่อมสภาพของน้ำมัน แบคทีเรียมีกลไกการย่อยสลายโปรตีนเป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์ แล้วสร้างกรดที่ระเหยได้ เช่น กรดฟอร์มิก กรดแอซิดิก กรดบิวทิริก กรดโพรพิโอนิก กรดแลคติก และกรดซัคซินิก เป็นต้น (บุษกร, 2547) ประกอบกับเชื้อราที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสและเอสเทอร์เอส ในการย่อยสลายไขมันและปลดปล่อยกรดไขมันอิสระออกมา (Lee, 1996) จากการทดลองพบว่า น้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นเน่าเสียเริ่มต้นมีกรดไขมันอิสระ 0.38% (คิดเป็นกรดลอริก) และเมื่อน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นเน่าเสียเริ่มต้นมากำจัดกลิ่น พบว่าการกำจัดกลิ่นทั้ง 3 วิธีที่สภาวะที่เหมาะสม

สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระจากตัวอย่างเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การสกัดด้วยน้ำทำให้น้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระ 0.28% (คิดเป็นกรดลอริก) ไม่แตกต่างจากการกลั่นด้วยไอน้ำที่มี 0.29% (คิดเป็นกรดลอริก) ($p > 0.05$) และการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระจากตัวอย่างเริ่มต้นให้เหลือเพียง 0.24% (คิดเป็นกรดลอริก) และแตกต่างจากการกำจัดกลั่นอีก 2 วิธี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลของวิธีการกำจัดกลั่นต่อปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวสดแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (% คิดเป็นกรดลอริก) ของน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสีย จากการสกัดด้วยน้ำ กลั่นด้วยไอน้ำ และกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

หมายเหตุ a-c อักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบการสกัดด้วยน้ำและการกลั่นด้วยไอน้ำ พบว่าการสกัดด้วยน้ำแม้จะเป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาสั้นและไม่ต่อเนื่อง แต่มีการสกัดซ้ำโดยเปลี่ยนน้ำทุกครั้ง จึงเป็นการเพิ่มโอกาสให้กรดไขมันอิสระที่มีโมเลกุลขนาดเล็กสามารถแพร่และเคลื่อนที่ออกมาในส่วนน้ำมันมากขึ้น ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันจึงลดลง อย่างไรก็ตามยังมีกรดไขมันอิสระบางส่วนที่ละลายได้ดีในน้ำมัน จึงคงเหลือกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวสดภายหลังการสกัดอยู่บ้าง ส่วนการกลั่นด้วยไอน้ำเป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส แก่น้ำมันตลอดเวลา ความร้อนจะทำให้กรดไขมันอิสระมีความดันสูงขึ้น จึงเกิดการระเหยปนมากับไอน้ำและควบแน่นอยู่ในน้ำ นอกจากนี้การกำจัดกลั่นน้ำมันโดยใช้ไอน้ำยังเป็น

การพาสารประกอบบางชนิด เช่น สารประกอบอัลคิลไฮด์ คีโตน และสารระเหยอื่นๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ให้ระเหยออกจากร้ำมันพร้อมกับกรดไขมันอิสระด้วย (นิธิยา, 2548) ส่วนการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้มากที่สุด และแตกต่างจากการกลั่นด้วยไอน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความร้อนและก๊าซไนโตรเจนจะเป็นตัวพาให้กรดไขมันอิสระเคลื่อนที่ออกจากน้ำมันตามอัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน ประกอบกับสามารถให้ความดันในการพากรดไขมันอิสระออกจากน้ำมันได้มากกว่า ในขณะที่ไอน้ำที่เกิดในการกลั่นด้วยไอน้ำมีความดันต่ำกว่าและไม่คงที่ ขึ้นกับอุณหภูมิการกลั่น

หากพิจารณาจากน้ำมันมะพร้าวสดเน่าเสียที่ประกอบด้วยกรดไขมันอิสระ 0.38% (คิดเป็นกรดลอริก) กระบวนการกำจัดกลิ่นทั้ง 3 วิธี สามารถลดกรดไขมันอิสระเพียงเล็กน้อย กล่าวคือน้ำมันเน่าเสียที่ถูกสกัดด้วยน้ำยังคงเหลือกรดไขมันอิสระส่วนที่ไม่ละลายในน้ำ ส่วนน้ำมันเน่าเสียที่ถูกกลั่นด้วยไอน้ำและก๊าซไนโตรเจนยังคงเหลือกรดไขมันอิสระส่วนที่ไม่ระเหยเช่นกัน แสดงว่ากรดไขมันอิสระที่ถูกกำจัดออกไปเป็นเพียงส่วนหนึ่งของสารให้กลิ่นทั้งหมดเท่านั้น อย่างไรก็ตาม การกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวสดคงเหลือให้น้อยที่สุดในระยะเวลาสั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นวิธีกำจัดกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดที่เหมาะสมที่สุดภายใต้สภาวะการทดสอบ

6. ผลของการกำจัดกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบคีโตนิก โดยวิธีการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

จากการทดลองที่ 5 การกำจัดกลิ่นเน่าเสียในน้ำมันมะพร้าวสดโดยกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนโดยการกลั่นกำจัดกลิ่นในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติ (ตัวอย่างควบคุม) กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบคีโตนิก เปรียบเทียบความแรงของกลิ่น และการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำมันมะพร้าวสดหลังการกำจัดกลิ่น ได้ผลดังต่อไปนี้

6.1 กลิ่นน้ำมันมะพร้าวสด

ก่อนการกำจัดกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติเป็นน้ำมันที่มีกลิ่นหอมอย่างอ่อนๆ คล้ายกลิ่นเนื้อมะพร้าวสด น้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นเน่าเสียเป็นน้ำมันที่มีกลิ่นแรงมากกว่าน้ำมันกลิ่นธรรมชาติ น้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นเน่าเสียให้ลักษณะกลิ่นเปรี้ยว คล้ายกลิ่นผลิตภัณฑ์เน่าเสีย ซึ่งกลิ่นที่เกิดขึ้นเกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายโปรตีนที่มีในกะทิ แล้วสร้างสารประกอบในกลุ่มกรดที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและมีกลิ่นเฉพาะตัว Villarino *et al.* (2007) กล่าวว่าน้ำมันมะพร้าวสดจากการหมักกะทิกับน้ำมันมะพร้าว ทำให้น้ำมันมีกลิ่นคล้ายกรดอะซิติก ส่วนน้ำมันหั่นแบบคีโตนิคเป็นน้ำมันที่มีความรุนแรงของกลิ่นน้อยกว่าน้ำมันเน่าเสีย ให้ลักษณะกลิ่นคล้ายเนื้อมะพร้าวคั่ว (coconut roasted like odor) หรือกลิ่นคล้ายถั่ว (nut like odor) ผลการทดสอบความแตกต่างด้านกลิ่นของน้ำมันมะพร้าวสดก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบความแตกต่างด้านกลิ่นของน้ำมันมะพร้าวสดก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นด้วยวิธีเปรียบเทียบคู่

ชนิดน้ำมันมะพร้าวสด	ผู้ทดสอบที่ตอบว่าน้ำมันก่อนกำจัดกลิ่นมีกลิ่นแรงกว่า (คน)	ความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (p)
น้ำมันกลิ่นธรรมชาติ	29	0.000
น้ำมันกลิ่นเน่าเสีย	30	0.000
น้ำมันกลิ่นคีโตนิค	28	0.000

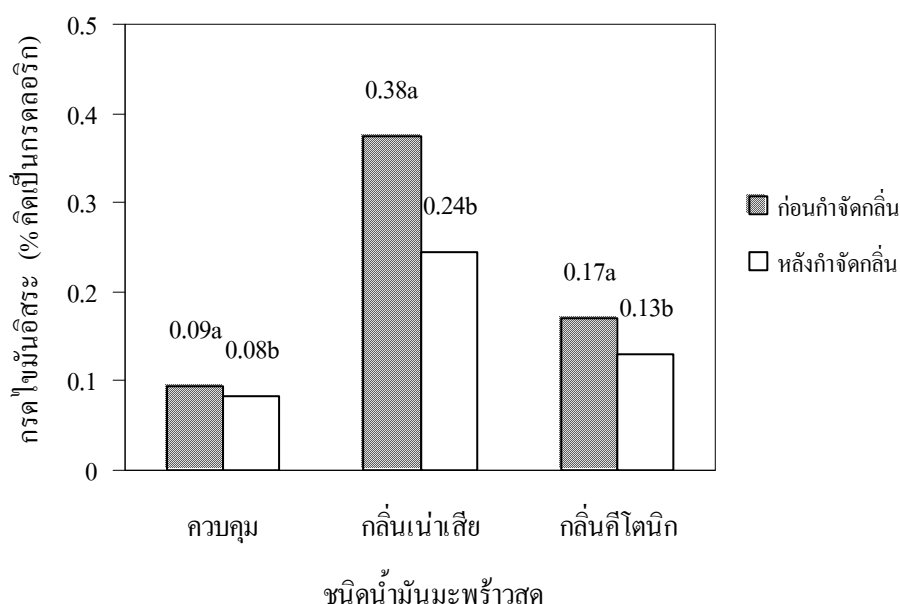
หมายเหตุ การทดสอบ chi-square แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในน้ำมันชนิดเดียวกัน

การกำจัดกลิ่นทำให้ความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดทั้ง 3 แบบ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p=0.000$) การกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนสามารถลดกลิ่นแรงตามธรรมชาติของน้ำมันมะพร้าวให้คงเหลือเพียงเล็กน้อย โดยกลิ่นที่เหลือในน้ำมันให้กลิ่นหอมหวานอ่อนๆ ของเนื้อมะพร้าว การกลั่นสามารถลดกลิ่นเน่าเสียได้อย่างชัดเจน แม้ว่าเป็นน้ำมันที่มีกลิ่นแรงก็ตาม ผู้ทดสอบสามารถบอกความแตกต่างกับน้ำมันก่อนกำจัดกลิ่นได้ทุกคน นอกจากนี้การกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนยังทำให้กลิ่นคล้ายเนื้อมะพร้าวคั่วหรือกลิ่นคล้ายถั่วในน้ำมันคีโตนิคลดลง น้ำมันมะพร้าวสดภายหลังการกำจัดกลิ่นทั้ง 3 แบบดังกล่าว มีกลิ่นอ่อนลงมากและอยู่ในช่วงที่ผู้ทดสอบ

ยอมรับได้ แสดงว่าการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนสามารถลดความแรงกลิ่นกลิ่นได้ทั้ง 3 แบบ คือ กลิ่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบคีโตนิค

6.2 กรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวสด

น้ำมันมะพร้าวสด 3 ชนิด มีปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นแตกต่างกัน น้ำมันกลิ่นธรรมชาติมีกรดไขมันอิสระน้อยที่สุด 0.09% (คิดเป็นกรดลอริก) การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันเน่าเสียเพิ่มขึ้นเป็น 0.38% (คิดเป็นกรดลอริก) และในน้ำมันคีโตนิคมีกรดไขมันอิสระน้อยกว่าน้ำมันเน่าเสียคือ 0.17% (คิดเป็นกรดลอริก) เนื่องจากกรดไขมันอิสระบางส่วนเปลี่ยนเป็นสารประกอบคีโตน มีรายงานว่าจุลินทรีย์มีการสร้างเอนไซม์ย่อยสลายโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ได้เป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล และออกซิไดส์กรดไขมันอิสระต่อไปเป็นกรดคีโตนิค (Kellard *et al.*, 1985) การกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันทุกชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวสดแสดงในภาพที่ 8



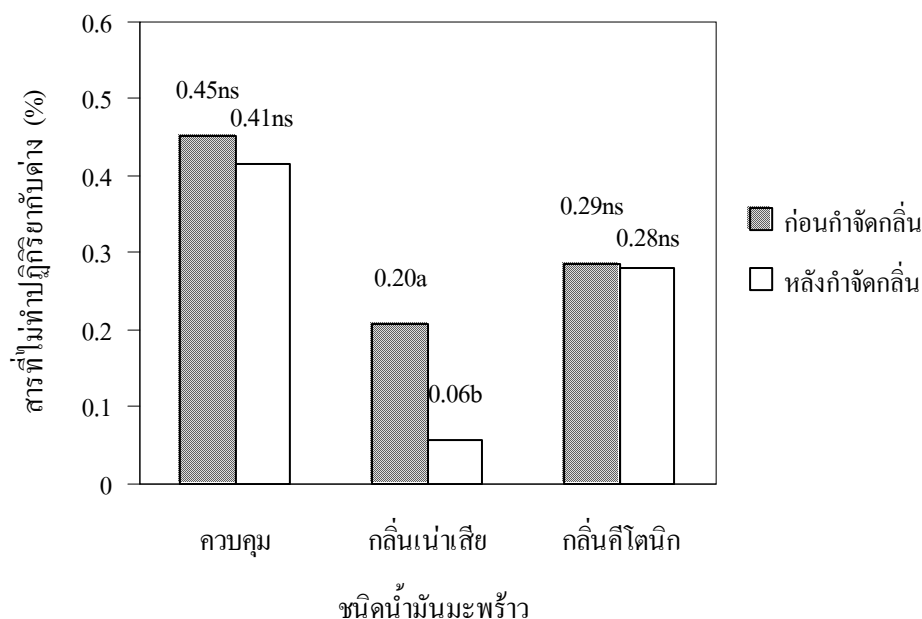
ภาพที่ 8 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (% คิดเป็นกรดลอริก) ของน้ำมันมะพร้าวสด 3 ชนิด จากการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

หมายเหตุ a-b อักษรที่แตกต่างกันในน้ำมันชนิดเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

น้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงที่สุดคือ 0.38 เปอร์เซ็นต์ การกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนทำให้กรดไขมันอิสระลดลงเหลือ 0.24 เปอร์เซ็นต์ เพราะการกลั่นทำให้กรดไขมันอิสระเคลื่อนย้ายออกจากร้าน้ำมันพร้อมกับก๊าซไนโตรเจน ยังมีกรดไขมันอิสระปริมาณมากก็เคลื่อนย้ายได้ง่าย อย่างไรก็ตามการกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันทั้ง 3 ชนิด และมีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในช่วงที่กำหนดในค่ามาตรฐานน้ำมันมะพร้าวสด APCC (Asian and Pacific Coconut Community) คือน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์

6.3 สารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่างในน้ำมันมะพร้าวสด

น้ำมันประกอบด้วยโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล และสารประกอบอื่นๆ ได้แก่ ฟอสโฟลิปิด ผลิตภัณฑ์จากการเกิดออกซิเดชัน และสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่าง คือ สเตอรอล โทโคฟีรอล และสารให้กลิ่นในน้ำมัน (Hamm and Hamilton, 2000) เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนในสถานะที่มีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ฟอสโฟลิปิด และไขมัน จะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของด่างได้เป็นเกลือของกรดไขมัน คือสบู่ สบู่ที่เกิดขึ้นนี้สามารถละลายในน้ำ และคงเหลือสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่างในน้ำมัน ซึ่งโดยปกติน้ำมันมะพร้าวจะมีปริมาณสารเหล่านี้ไม่เกิน 0.2-0.5% (Boekennoogen, 1964) น้ำมันมะพร้าวสด 3 ชนิด มีปริมาณสารไม่ทำปฏิกิริยากับด่างเริ่มต้นแตกต่างกัน ปริมาณสารไม่ทำปฏิกิริยากับด่างในน้ำมันมะพร้าวสดแสดงในภาพที่ 9 น้ำมันกลั่นเน่าเสียและน้ำมันกลั่นคิโดนิก็มีสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่าง 0.20 และ 0.29% น้อยกว่าน้ำมันกลั่นธรรมชาติที่มี 0.45% เนื่องจากสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่างอาจถูกจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำมันย่อยสลายให้เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก



ภาพที่ 9 ปริมาณสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับต่าง (%) ของน้ำมันมะพร้าวสด 3 ชนิด ที่ผ่านการกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

หมายเหตุ a-b อักษรที่แตกต่างกันในน้ำมันชนิดเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนสามารถลดปริมาณสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับต่างในน้ำมันกลิ่นเน่าเสีย แต่ไม่มีผลต่อน้ำมันกลิ่นธรรมชาติและน้ำมันกลิ่นคิโตนิก ซึ่งการลดลงในน้ำมันกลิ่นเน่าเสียอาจเนื่องจากสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับต่างในน้ำมันกลิ่นเน่าเสียเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กกว่าในน้ำมันอีก 2 ชนิด ก๊าซไนโตรเจนสามารถพาสารประกอบเหล่านี้ให้ระเหยออกจากน้ำมัน หรืออาจสลายตัวด้วยความร้อนระหว่างกลั่น ส่วนสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับต่างในน้ำมันกลิ่นธรรมชาติและน้ำมันกลิ่นคิโตนิก อาจประกอบด้วยสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับต่างที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงยังคงเหลือในน้ำมัน

6.4 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวสด

เมื่อเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบคิโตนิก ก่อนและหลังกำจัดกลิ่นที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ ไม่พบกรดคาโปรอิก (C 6:0) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ทั้งนี้อาจ

เนื่องจากไม่มีในน้ำมันมะพร้าวสดทั้ง 3 ชนิด หรือประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ไม่เพียงพอ ชนิดและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวสดแสดงในตารางที่ 11 ความแตกต่างของกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวกลั่นเน่าเสียและกลั่นคีโตนิกเกิดจากจุลินทรีย์ย่อยสลายกรดไขมันในน้ำมัน ทำให้กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่เหลือเปลี่ยนแปลงไปจากน้ำมันกลั่นธรรมชาติ

อย่างไรก็ตามน้ำมันมะพร้าวสดทุกชนิดประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบหลัก (92.71-93.40%) กรดไขมันอิ่มตัวที่ตรวจพบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนน้อย จึงสามารถระเหยได้ง่าย กรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลเล็กทำให้เกิดปัญหาหากกลั่นรสผิดปกติ เพราะกลั่นรสที่เฉพาะตัวของกรดไขมัน ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นกับน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดคาปริก กรดลอริกและกรดไมริสติก (Rossell, 1994) กรดไขมันสำคัญที่ตรวจพบในน้ำมันมะพร้าวสด คือ กรดลอริกพบในประมาณ 49.28-50.15% น้ำมันมะพร้าวสดทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณกรดคาปริลิกและกรดคาปริกเริ่มต้นแตกต่างกัน โดยน้ำมันกลั่นเน่าเสียมีปริมาณน้อยสุด คือ 4.04 และ 5.35% การกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนทำให้ปริมาณกรดคาปริลิกและกรดคาปริกในน้ำมันกลั่นธรรมชาติและน้ำมันกลั่นคีโตนิกลดลง แต่เพิ่มขึ้นในน้ำมันกลั่นเน่าเสียเป็น 6.84 และ 6.29% ส่วนกรดไขมันอื่นๆ ก่อนและหลังการกำจัดกลั่นมีค่าใกล้เคียงกัน Stauffer (2000) กล่าวว่า กระบวนการกำจัดกลั่นไม่มีผลต่อชนิดและปริมาณกรดไขมันในน้ำมัน การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบกรดไขมันทั้งจากการเน่าเสียหรือการหั่นแบบคีโตนิก และจากการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน ยังไม่สามารถยืนยันผลการวิเคราะห์ได้ อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันมะพร้าวสดทั้ง 3 ชนิดหลังการกำจัดกลั่นยังคงอยู่ในช่วงมาตรฐานของน้ำมันมะพร้าวสดที่ Asian and Pacific Coconut Community กำหนด

ตารางที่ 11 ชนิดและปริมาณกรดไขมัน (%ของกรดไขมันทั้งหมด) ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นคาวคาว
ก่อนและหลังกำจัดกลิ่นด้วยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

ชนิดและปริมาณกรดไขมัน (%)	น้ำมัน มาตรฐาน*	น้ำมันกลั่นธรรมชาติ		น้ำมันกลั่นเน่าเสีย		น้ำมันกลั่นคาวคาว	
		ก่อนกำจัดกลิ่น	หลังกำจัดกลิ่น	ก่อนกำจัดกลิ่น	หลังกำจัดกลิ่น	ก่อนกำจัดกลิ่น	หลังกำจัดกลิ่น
กรดคาโพรอิก (C 6:0)	0.4-0.6	-	-	-	-	-	-
กรดคาปรีอิก (C 8:0)	5.0-10.0	6.75	6.00	4.04	6.84	7.45	5.89
กรดคาพริก (C 10:0)	4.5-8.0	6.26	5.77	5.35	6.29	6.47	5.90
กรดลอริก (C 12:0)	43.0-53.0	49.56	49.26	50.15	49.58	49.28	49.40
กรดไมริสติก (C 14:0)	16.0-21.0	18.89	19.33	20.23	18.75	18.40	19.16
กรดปาล์มติก (C 16:0)	7.5-10.0	8.70	9.12	9.49	8.68	8.61	9.18
กรดสเตียริก (C 18:0)	2.0-4.0	3.24	3.43	3.51	3.19	3.00	3.18
กรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด	92.5	93.40	92.91	92.77	93.33	93.21	92.71
กรดโอเลอิก (C 18:1)	5.0-10.0	5.51	5.98	6.13	5.59	5.71	6.13
กรดลิโนเลอิก (C 18:2)	1.0-2.5	1.09	1.11	1.10	1.08	1.08	1.16
(C 18:3 – C 24:1)	< 0.5	-	-	-	-	-	-
กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมด	9.25	6.60	7.09	7.23	6.67	6.79	7.29

หมายเหตุ * APCC - Asian and Pacific Coconut Community

6.5 ชนิดและปริมาณสารระเหยในน้ำมันมะพร้าวสด

การเปรียบเทียบชนิดและปริมาณสารระเหยทั้งหมดในน้ำมันมะพร้าวสด 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันกลั่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบคีโตนิก ผลการวิเคราะห์พบว่าสารระเหยที่พบในน้ำมันทุกชนิดมีกลุ่มสารส่วนใหญ่คล้ายกัน สามารถแบ่งกลุ่มสารระเหยออกเป็น 6 กลุ่ม ดังตารางที่ 12 แสดงชนิดและความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยที่พบในน้ำมันมะพร้าวสดชนิดต่างๆ น้ำมันกลั่นธรรมชาติประกอบด้วยสารระเหยทั้งสิ้น 22 ชนิด คือ คีโตน 1 ชนิด เอสเทอร์ 4 ชนิด แอลกอฮอล์ 2 ชนิด กรดอินทรีย์ 4 ชนิด ไฮโดรคาร์บอน 5 ชนิด และแอลเคน 6 ชนิด น้ำมันกลิ่นเน่าเสียประกอบด้วยสารระเหยทั้งสิ้น 23 ชนิด คือ คีโตน 2 ชนิด เอสเทอร์ 4 ชนิด แอลกอฮอล์ 3 ชนิด กรดอินทรีย์ 7 ชนิด ไฮโดรคาร์บอน 3 ชนิด แอลเคน 3 ชนิด และอื่นๆ 1 ชนิด ส่วนน้ำมันกลั่นคีโตนิกประกอบด้วยสารระเหยทั้งสิ้น 32 ชนิด คือ คีโตน 3 ชนิด เอสเทอร์ 5 ชนิด แอลกอฮอล์ 6 ชนิด กรดอินทรีย์ 5 ชนิด ไฮโดรคาร์บอน 4 ชนิด และแอลเคน 6 ชนิด และอื่นๆ 3 ชนิด หากพิจารณาปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของสารประกอบในกลุ่มต่างๆ ที่พบในน้ำมันทั้ง 3 ชนิด พบว่าน้ำมันกลั่นธรรมชาติและน้ำมันกลิ่นเน่าเสียมีปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของกรดอินทรีย์มากที่สุด เท่ากับ 8358.62 และ 123040.3 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนน้ำมันกลั่นคีโตนิกมีปริมาณความเข้มข้นของคีโตนมากที่สุด เท่ากับ 100122.3 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของสารระเหยในแต่ละกลุ่มแสดงในภาพที่ 10

การกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนทำให้จำนวนสารระเหยในกลุ่มต่างๆ ของน้ำมันทั้ง 3 ชนิดลดลง สารระเหยบางชนิดในกลุ่มคีโตน แอลกอฮอล์ และแอลเคนของน้ำมันกลั่นธรรมชาติถูกกำจัดออกไปภายหลังการกลั่นทำให้คงเหลือสารระเหย 20 ชนิด เช่นเดียวกับน้ำมันเน่าเสีย สารระเหยบางชนิดในกลุ่มคีโตน แอลกอฮอล์ และกรดอินทรีย์ถูกกำจัดออกไปทำให้คงเหลือสารระเหย 21 ชนิด ส่วนน้ำมันคีโตนิกสารระเหยบางชนิดในทุกกลุ่มถูกกำจัดออกไปและคงเหลือสารระเหยในน้ำมันเพียง 21 ชนิด การเปลี่ยนแปลงสารระเหยในแต่ละกลุ่มของน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบคีโตนิกมีดังนี้

6.5.1 คีโตน

สารระเหยกลุ่มคีโตนเกิดจากราบางชนิดปลดปล่อยเอนไซม์ออกมาเพื่อย่อยไขมัน และเกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน ได้เป็น β -keto acid แล้วสูญเสียคาร์บอนโดยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลท (decarboxylate) เป็นสารเมทิลคีโตน (Reinccius, 1994) น้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติตรวจพบสารระเหยในกลุ่มคีโตนเพียงเล็กน้อย คือ 3-hydroxy-2-butanone หรือ acetoin เป็นสารให้ลักษณะกลิ่นครีมและกลิ่นเนย (Leffingwell, 2004) เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ *Streptococcus citrovorus* และ *Streptococcus paracitrovorus* ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันรีดิฟายให้กลิ่น diacetyl ไปเป็น acetoin โดยเอนไซม์ acetoin dehydrogenase (Adda, 1993) และมีงานวิจัยพบว่า acetoin เป็นสารระเหยที่สำคัญของเชดดาร์ชีส (cheddar cheese) ซึ่งให้กลิ่นเนย (Singh *et al.*, 2003) จากตารางที่ 12 จะเห็นว่าน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติพบ 3-hydroxy-2-butanone ปริมาณ 52.42 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศุภศิริ (2550) สามารถตรวจพบ 3-hydroxy-2-butanone ในกะทิสด 103.4 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และภายหลังการกำจัดกลิ่นไม่สามารถตรวจพบสารระเหยชนิดนี้ ซึ่งคาดว่าจะเป็นสารที่มีค่าความดันไอสูงจึงถูกกำจัดออกระหว่างกระบวนการกลั่น แสดงว่า 3-hydroxy-2-butanone ที่ถูกกำจัดออก เป็นสาเหตุทำให้กลิ่นครีมและกลิ่นเนยในน้ำมันภายหลังกำจัดกลิ่นหายไป

น้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นเน่าเสียพบ 3-hydroxy-2-butanone ปริมาณ 2872.3 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และ 2-heptanone ปริมาณ 4858.1 นาโนกรัม/มิลลิลิตร 2-heptanone ได้จากการย่อยสลายของกรดไขมันที่มีโมเลกุลสายสั้น คือ octanoic acid โดยเชื้อรา เกิดเป็น 2-heptanol และ 2-heptanone เป็นสารให้ลักษณะกลิ่นชีสและกลิ่นอบเชย (Kellard *et al.*, 1984) และมีรายงานว่า 2-heptanone เป็นสารให้กลิ่นหืนในน้ำมันถั่วเหลือง (Kochhar, 1996) และภายหลังการกำจัดกลิ่นไม่สามารถตรวจพบสารระเหยทั้งสองชนิด ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าลักษณะกลิ่นของสารทั้งสองคือ กลิ่นครีม กลิ่นเนย กลิ่นชีส และกลิ่นอบเชยถูกกำจัดออกไป และคงเหลือเพียงกลิ่นเน่าเสียบ้างเล็กน้อย

น้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นคิโตนิกมีปริมาณสารระเหยกลุ่มคีโตนเป็นองค์ประกอบหลัก และมีความเข้มข้นสัมพันธ์โดยรวมของสารกลุ่มนี้มากกว่าน้ำมันชนิดอื่น คีโตนที่พบมากสุดในน้ำมันคิโตนิก ได้แก่ 2-heptanone เท่ากับ 77733.69 นาโนกรัม/มิลลิลิตร 3-hydroxy-2-butanone เท่ากับ 471.23 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และ 2-nonanone เท่ากับ 21917.36 นาโนกรัม/

มิลลิลิตร 2-nonanone เป็นสารสำคัญที่ทำให้ลักษณะกลิ่นไขมันและกลิ่นชีส (Leffingwell, 2004) และเป็นสารที่ให้กลิ่นหืนในเนื้อมะพร้าวแก้ว (Kellard *et al.*, 1984) ภายหลังจากกำจัดกลิ่นไม่พบสารระเหย 2-heptanone และ 3-hydroxy-2-butanone ในน้ำมัน แต่ยังคงเหลือ 2-nonanone ปริมาณ 1338.32 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งพบเฉพาะในน้ำมันกลิ่นคีโตนิกเท่านั้น อาจเนื่องจาก 2-nonanone มีค่าความดันไอต่ำและมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า ก๊าซไนโตรเจนจึงพาโมเลกุลของสารให้ระเหยออกมาได้น้อย ส่งผลให้น้ำมันยังคงมีกลิ่นหืนอยู่บ้างเล็กน้อย

6.5.2 เอสเทอร์

เอสเทอร์ให้ลักษณะกลิ่นหอมหวานของมะพร้าว (Saittagaroon *et al.*, 1984) เอสเทอร์เกิดจากปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันระหว่างสารประกอบกลุ่มกรดและกลุ่มแอลกอฮอล์ จากการเผาลาญไขมัน (Peterson and Chang, 1982) น้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติประกอบด้วย ethyl carphylate (กลิ่นแหลม) ปริมาณ 469.43 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ethyl acetate (กลิ่นคล้ายไวน์-บรันดี) ปริมาณ 540.58 นาโนกรัม/มิลลิลิตร สารระเหยทั้งสองชนิดนี้พบมากในเนื้อมะพร้าว สารที่พบในปริมาณรองลงมาคือ ethyl carprate (กลิ่นหวานมันและกลิ่นคล้ายถั่ว) ปริมาณ 59.61 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และ ethyl laurate (กลิ่นไขมัน) ปริมาณ 0.72 นาโนกรัม/มิลลิลิตร การกลั่นทำให้สารระเหยในกลุ่มเอสเตอร์ลดลง น้ำมันกลั่นธรรมชาติภายหลังจากกำจัดกลิ่นตรวจพบ ethyl carphylate ปริมาณ 137.06 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ethyl acetate ปริมาณ 98.64 นาโนกรัม/มิลลิลิตร นอกจากนี้พบ ethyl carprate และ ethyl laurate ในปริมาณเล็กน้อย แสดงว่าการกำจัดกลิ่นทำให้ลักษณะกลิ่นโดยรวมของน้ำมันมีกลิ่นแหลม กลิ่นไขมัน และกลิ่นหวานมันของเนื้อมะพร้าวน้อยลง

ethyl carphylate, ethyl acetate และ ethyl carprate เป็นสารระเหยที่พบมากในน้ำมันกลั่นเน่าเสีย คือ ethyl carphylate 1836.31 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ethyl acetate 642.22 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และ ethyl carprate 340.41 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยซึ่งไม่สามารถตรวจพบ ethyl carphylate และ ethyl carprate ในน้ำตาลสดที่ได้จากส่วนจันทมะพร้าว (coconut sap) แต่หากนำน้ำตาลสดไปหมักเพื่อผลิตเป็นสุรา (neera) สามารถตรวจพบในปริมาณเล็กน้อย คือ 503 และ 749 นาโนกรัม/มิลลิลิตร (Borse *et al.*, 2006) จึงมีความเป็นไปได้ว่าสารทั้ง 2 ชนิด อาจเกิดได้จากปฏิกิริยาการหมัก การกำจัดกลิ่นส่งผลให้สารระเหย

ดังกล่าวลดลงเหลือ 271.85 75.08 และ 80.41 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วน ethyl laurate มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยภายหลังการกำจัดกลิ่น

น้ำมันกลิ่นคีโตนิกประกอบด้วยระเหยในกลุ่มเอสเทอร์มากกว่าน้ำมันชนิดอื่น คือ พบสาร ethyl hexanoate ปริมาณ 940.78 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ethyl-2-hydroxypropanoate ปริมาณ 1234.08 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งให้กลิ่นผลไม้และกลิ่นไวน์ (Leffingwell, 2004) ethyl carphylate 3587.48 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และ ethyl acetate 431.82 นาโนกรัม/มิลลิลิตร การกำจัดกลิ่นทำให้สาร ethyl hexanoate และ ethyl-2-hydroxypropanoate หดหายไป และคงเหลือ ethyl carphylate และ ethyl acetate 3216.54 และ 11.29 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาปริมาณของสาร ethyl acetate แล้วแสดงว่า ethyl acetate มีความสำคัญน้อยต่อการได้กลิ่น ดังนั้น ethyl carphylate จึงน่าจะเป็นสารให้กลิ่นที่สำคัญในน้ำมันคีโตนิกภายหลังกำจัดกลิ่น

6.5.3 แอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างโมเลกุลของออกซิเจนกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวในฟอสโฟลิปิดและยังเกิดขึ้นในระหว่างการสร้างกรดไขมัน (Shipe *et al.*, 1978) น้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติพบสาร N-octanol ปริมาณ 27.25 นาโนกรัม/มิลลิลิตร N-octanol เป็นสารมัธยันตร์ (intermediate) ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสร้างกรดไขมันและแอลกอฮอล์ในเนื้อมะพร้าว ให้ลักษณะกลิ่นคล้ายเนื้อมะพร้าวสด (Lin and Wilkens, 1970) และพบสาร 2-undecanol (กลิ่นไขมันและกลิ่นผลไม้) ปริมาณ 31.20 นาโนกรัม/มิลลิลิตร น้ำมันกลิ่นธรรมชาติภายหลังการกำจัดกลิ่นประกอบด้วยสารในกลุ่มแอลกอฮอล์เพียงชนิดเดียวคือ N-octanol ในปริมาณเล็กน้อยเท่ากับ 6.92 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ดังนั้นกลิ่นที่คงเหลือในน้ำมันภายหลังกำจัดกลิ่นจึงไม่น่าเป็นกลิ่นจากสารระเหยในกลุ่มแอลกอฮอล์

น้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นเน่าเสียประกอบด้วยสาร 2-heptanol (กลิ่นเลมอนและกลิ่นสมุนไพร) ปริมาณ 446.05 นาโนกรัม/มิลลิลิตร N-octanol ปริมาณ 148.94 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และ phenethyl alcohol (กลิ่นน้ำผึ้งและกลิ่นดอกไม้) 17.93 นาโนกรัม/มิลลิลิตร จากการทดลองความร้อนและก๊าซไนโตรเจนสามารถพาสาร N-octanol และ 2-heptanol ออกจากน้ำมันกลิ่นเน่าเสีย และยังคงเหลือสาร phenethyl alcohol เล็กน้อยเท่ากับ 2.86 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jayalekshmy *et al.* (1991) พบว่าการให้ความร้อนที่

อุณหภูมิ 130 และ 145 องศาเซลเซียส แก่น้ำมันมะพร้าวที่สภาวะบรรยากาศ สามารถลดปริมาณสาร N-octanol และ 2-heptanol ให้ต่ำลง ดังนั้นสารระเหยในกลุ่มแอลกอฮอล์จึงไม่เป็นสารให้กลิ่นในน้ำมันภายหลังการกำจัดกลิ่นเช่นเดียวกับน้ำมันกลิ่นธรรมชาติ

น้ำมันกลิ่นคีโตนิกตรวจพบสารระเหยในกลุ่มแอลกอฮอล์ในปริมาณมากกว่าน้ำมันชนิดอื่น และถูกกำจัดออกได้ในปริมาณมากภายหลังการกลั่น สารระเหยในกลุ่มแอลกอฮอล์ที่พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นคีโตนิก คือ 3-methyl butanol (กลิ่นแอลกอฮอล์) ปริมาณ 782.55 นาโนกรัม/มิลลิลิตร 2-heptanol ปริมาณ 9338.33 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และ 1-hexanol (กลิ่นไวน์) ปริมาณ 1066.54 นาโนกรัม/มิลลิลิตร กลิ่นจากสารระเหยทั้งสามถูกกำจัดออกหมดภายหลังการกลั่น นอกจากนี้ น้ำมันคีโตนิกยังตรวจพบ N-octanol ปริมาณ 378.19 นาโนกรัม/มิลลิลิตร 2-undecanol ปริมาณ 1590.87 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และ phenethyl alcohol ปริมาณ 105.51 นาโนกรัม/มิลลิลิตร น้ำมันภายหลังกำจัดกลิ่นยังคงเหลือ 2-undecanol ในปริมาณสูงเท่ากับ 611.21 นาโนกรัม/มิลลิลิตร แต่อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้วสารประกอบกลุ่มแอลกอฮอล์ไม่ค่อยมีความสำคัญมากนัก เนื่องจากสารประกอบแอลกอฮอล์เป็นสารที่มีค่าต่ำสุดที่รับกลิ่นได้สูง (Buttery *et al.*, 1988)

ตารางที่ 12 ชนิดและความเข้มข้นของสารระเหย (ppb) ที่วิเคราะห์พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นคาวคาวก่อนและหลังกำจัดกลิ่นด้วยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

ลำดับ	สารระเหย	RI	น้ำมันกลั่นธรรมชาติ		น้ำมันกลั่นเน่าเสีย		น้ำมันกลั่นคีโตนิค	
			ก่อนกำจัดกลิ่น	หลังกำจัดกลิ่น	ก่อนกำจัดกลิ่น	หลังกำจัดกลิ่น	ก่อนกำจัดกลิ่น	หลังกำจัดกลิ่น
คีโตน								
1	2-heptanone	<1203	-	-	4858.10	-	77733.69	-
2	3-hydroxy-2-butanone	1244	52.42	-	2872.30	-	471.23	-
3	2-nonanone	1377	-	-	-	-	21917.36	1338.32
เอสเทอร์								
4	ethyl hexanoate	1203	-	-	-	-	940.78	-
5	ethyl-2-hydroxypropanoate	1328	-	-	-	-	1234.08	-
6	ethyl carphylate	1418	469.43	137.06	1836.31	271.85	3587.48	3216.54
7	ethyl acetate	1500	540.58	98.64	642.22	75.08	431.82	11.29
8	ethyl caprate	1628	59.61	36.61	340.41	80.41	281.65	128.72
9	ethyl laurate	1839	0.72	3.03	36.38	39.07	-	26.38
แอลกอฮอล์								
10	3-methyl butanol	1219	-	-	-	-	782.55	-

ตารางที่ 13 (ต่อ)

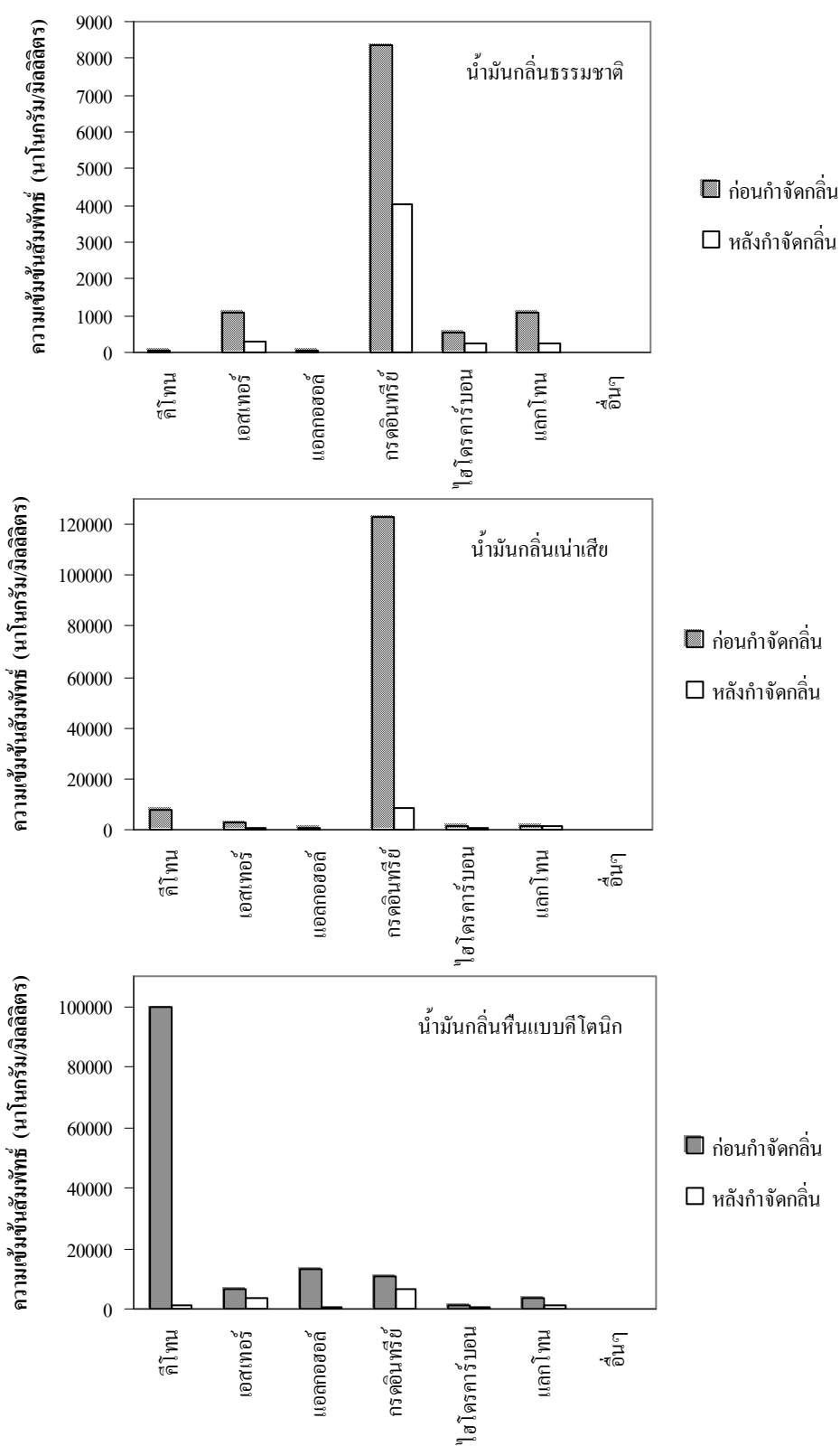
ลำดับ	สารระเหย	RI	น้ำมันกลิ่นธรรมชาติ		น้ำมันกลิ่นเน่าเสีย		น้ำมันกลิ่นทีโตนิก	
			ก่อนกำจัดกลิ่น	หลังกำจัดกลิ่น	ก่อนกำจัดกลิ่น	หลังกำจัดกลิ่น	ก่อนกำจัดกลิ่น	หลังกำจัดกลิ่น
แอลกอฮอล์								
11	2-heptanol	1298	-	-	446.05	-	9338.33	-
12	1-hexanol	1347	-	-	-	-	1066.54	-
13	N-octanol	1547	27.25	6.92	148.94	-	378.19	61.75
14	2-undecanol	1585	31.20	-	-	-	1590.87	611.21
15	phenethyl alcohol	1908	-	-	17.93	2.86	105.51	18.30
กรดอินทรีย์								
16	acetic acid	1446	5888.92	2414.06	28500.90	1636.64	2298.94	4635.87
17	2-methly propanoic acid	1557	-	-	2291.78	-	-	-
18	butanoic acid	1621	-	-	34214.30	125.14	2397.21	-
19	3-methyl butanoic acid	1662	-	-	5071.47	36.81	-	-
20	benzoic acid	1655	508.32	482.04	-	-	-	-
21	pentanoic acid	1733	417.9	82.69	41065.20	2500.96	1587.16	167.83
22	hexanoic acid	1845	-	-	9560.06	1357.69	2612.43	-
23	2-ethyl hexanoic acid	1925	-	-	-	720.86	-	-

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ลำดับ	สารระเหย	RI	น้ำมันกลิ่นธรรมชาติ		น้ำมันกลิ่นเน่าเสีย		น้ำมันกลิ่นทีโตนิก	
			ก่อนกำจัดกลิ่น	หลังกำจัดกลิ่น	ก่อนกำจัดกลิ่น	หลังกำจัดกลิ่น	ก่อนกำจัดกลิ่น	หลังกำจัดกลิ่น
กรดอินทรีย์								
24	octanoic acid	1982	1543.48	1040.61	2336.60	2232.59	1647.50	1487.95
ไฮโดรคาร์บอน								
25	nephthalene	1727	3.93	2.87	19.52	3.04	-	4.66
26	eicosane	2000	319.69	137.54	1426.91	393.09	980.94	336.03
27	heneicosane	2151	64.70	30.20	-	-	109.90	-
28	tricosane	>2153	123.01	62.36	93.41	7.09	179.59	119.73
29	octacosane	>2153	32.41	23.56	-	20.10	71.50	55.89
แอลกอฮอล์								
30	tetrahydro-6-methyl-2H-pyran-2-one	1788	62.99	17.72	-	38.28	318.07	45.11
31	delta-hexalactone	1789	130.46	56.35	846.96	93.35	1051.17	169.93
32	gamma-octalactone	1909	-	-	-	-	93.76	39.34
33	delta-octalactone	1936	745.91	99.07	-	1045.93	1837.35	584.38

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ลำดับ	สารระเหย	RI	น้ำมันกลิ่นธรรมชาติ		น้ำมันกลิ่นเน่าเสีย		น้ำมันกลิ่นคัสโตนิค	
			ก่อนกำจัดกลิ่น	หลังกำจัดกลิ่น	ก่อนกำจัดกลิ่น	หลังกำจัดกลิ่น	ก่อนกำจัดกลิ่น	หลังกำจัดกลิ่น
แอลกอฮอล์								
34	delta-dodecalactone	1938	65.09	43.98	-	-	51.09	-
35	beta-methyl-gamma-decalactone	1970	-	-	41.79	14.79	-	-
36	delta-decalactone	2152	56.19	35.96	458.61	206.05	288.00	247.33
37	tridecalactone	2153	13.66	-	-	-	-	-
อื่นๆ								
38	2,5 dimethyltetrahydrofuran	1595	-	-	43.42	-	-	-
39	dihdro-5-methyl-2-furanone	1596	-	-	-	-	35.89	-
40	5-ethyldihydro-2-(3H)-furanone	1693	-	-	-	-	145.36	6.68
41	dihydro-5-penthyl-2(H)-furanone	1910	-	-	-	-	83.77	-
42	unknown	1525	7501.53	5032.58	31603.98	7340.32	25571.36	2464.21



ภาพที่ 10 ปริมาณความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของสารประกอบในกลุ่มต่างๆ ที่พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นธรรมดา กลั่นน้ำเสีย และกลั่นหั่นแบบคีโตนิค

6.5.4 กรดอินทรีย์

สารระเหยในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติประกอบด้วย acetic acid (กลิ่นเปรี้ยวและกลิ่นแหลม) ปริมาณ 5888.92 นาโนกรัม/มิลลิลิตร benzoic acid (กลิ่นไม้และกลิ่นไหม้) ปริมาณ 508.32 นาโนกรัม/มิลลิลิตร pentanoic acid (กลิ่นเหม็นอับและกลิ่นคล้ายชีส) ปริมาณ 419.9 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และ octanoic acid (กลิ่นไขมันและกลิ่นหืน) ปริมาณ 1543.48 นาโนกรัม/มิลลิลิตร การกลั่นทำให้ปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำมันกลั่นธรรมชาติลดลงเพียงเล็กน้อยยกเว้นคือ ยังคงเหลือ acetic acid ปริมาณ 2414.06 นาโนกรัม/มิลลิลิตร benzoic acid ปริมาณ 482.04 นาโนกรัม/มิลลิลิตร pentanoic acid ปริมาณ 82.69 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และ octanoic acid ปริมาณ 1040.61 นาโนกรัม/มิลลิลิตร จึงคาดว่าสารให้กลิ่นที่คงเหลือโดยรวมในน้ำมันกลั่นธรรมชาติอาจเป็นสารระเหยในกลุ่มกรดเป็นส่วนใหญ่

น้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียประกอบด้วยกรดอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก กรดไขมันเป็นสารตั้งต้นสำคัญในปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้เกิดสารระเหยให้กลิ่น (Saittagaroon *et al.*, 1984) 2-methyl propanoic acid (2291.78 นาโนกรัม/มิลลิลิตร) และ 3-methyl butanoic acid (5071.47 นาโนกรัม/มิลลิลิตร) เป็นสารประกอบที่พบเฉพาะในน้ำมันเน่าเสียเท่านั้น ให้ลักษณะกลิ่นเปรี้ยว ซึ่งเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในอาหารหมัก การกำจัดกลิ่นทำให้สารทั้งสองชนิดลดลงมาก เนื่องจากกรดอินทรีย์ดังกล่าวเป็นกรดสายสั้น จึงสามารถถูกกลั่นออกได้โดยง่าย สาร butanoic acid เป็นกรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลเล็กและมีกลิ่นเฉพาะตัว คือ กลิ่นเปรี้ยวและกลิ่นหืน (Leffingwell, 2004) และเป็นสารระเหยที่พบในน้ำมันเน่าเสียปริมาณมากคือ 34214.30 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และหลังกำจัดกลิ่นลดลงเหลือ 125.14 นาโนกรัม/มิลลิลิตร เนื่องจากเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็กระเหยง่าย เช่นเดียวกับ hexanoic acid ที่พบในปริมาณในน้ำมันเน่าเสีย 9560.06 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และ 1357.69 นาโนกรัม/มิลลิลิตร หลังกำจัดกลิ่น

acetic acid (2298.94 นาโนกรัม/มิลลิลิตร) butanoic acid (2397.21 นาโนกรัม/มิลลิลิตร) pentanoic acid (1587.16 นาโนกรัม/มิลลิลิตร) hexanoic acid (2612.43 นาโนกรัม/มิลลิลิตร) และ octanoic acid (1647.50 นาโนกรัม/มิลลิลิตร) เป็นสารระเหยหลักที่พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นหืนแบบคีโตนิค น้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นแล้วมีปริมาณ pentanoic acid (167.83 นาโนกรัม/มิลลิลิตร) และ octanoic acid (1487.95 นาโนกรัม/มิลลิลิตร) ลดลง รวมทั้ง butanoic acid และ hexanoic acid สามารถถูกกำจัดจนหมดภายหลังจากการกลั่น เว้นแต่ acetic acid

ในน้ำมันมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากน้ำมันได้รับความร้อนจากการกลั่น ทำให้กลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซิส ส่งผลให้เกิด acetic acid เพิ่มขึ้น (Jayalekshymy *et al.*, 1991) แสดงว่ากลิ่นที่คงเหลือในน้ำมันกลั่นคือนิกเป็นสารระเหยให้กลิ่นจาก acetic acid และ octanoic acid

6.5.5 ไฮโดรคาร์บอน

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้จากการย่อยสลายกรดไขมันโดยเอนไซม์ (Reineccius, 1994) สารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนสามารถตรวจพบในน้ำมันทั้ง 3 ชนิดในปริมาณใกล้เคียงกัน การกำจัดกลิ่นสามารถลดความเข้มข้นของสารไฮโดรคาร์บอนได้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากสารระเหยที่พบส่วนใหญ่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง คือ 20-28 อะตอม จึงเกิดการระเหยออกจากน้ำมันได้ยาก ประกอบกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีค่าต่ำสุดที่รับกลิ่นได้สูงมาก (Tanchotikul and Hsieh, 1989) ทำให้เป็นสารกลุ่มที่มีความสำคัญน้อยต่อการให้กลิ่น

6.5.6 แล็กโตน

สารระเหยในกลุ่มแล็กโตนเกิดจากปฏิกิริยาเตลตา-ออกซิเดชันของกรดไขมันอิ่มตัวหรือปฏิกิริยาเตลตา-ไฮดรอกซิเลชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเนื้อมะพร้าว (Lin and Wilkens, 1970) สารระเหยในกลุ่มแล็กโตนที่พบในน้ำมันกลั่นธรรมชาติมีทั้งสิ้น 6 ชนิด ได้แก่ tetrahydro-6-methyl-2H-pyran-2-one ปริมาณ 62.99 นาโนกรัม/มิลลิลิตร delta-hexanolactone ปริมาณ 130.46 นาโนกรัม/มิลลิลิตร delta-octalactone ปริมาณ 745.91 นาโนกรัม/มิลลิลิตร delta-dodecalactone ปริมาณ 65.09 นาโนกรัม/มิลลิลิตร delta-decalactone ปริมาณ 56.19 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และ tridecalactone ปริมาณ 13.66 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งเป็นสารให้ลักษณะคล้ายกลิ่นเนื้อมะพร้าวสดและกลิ่นครีม การกำจัดกลิ่นทำให้ tridecalactone ในน้ำมันถูกกำจัดหมดไป แต่ยังมีสารระเหยในกลุ่มนี้ชนิดอื่นๆ อยู่ ดังนั้นน้ำมันภายหลังจากกำจัดกลิ่นจึงยังคงเหลือกลิ่นคล้ายเนื้อมะพร้าวสดและกลิ่นครีมจากสารระเหยในกลุ่มแล็กโตนอยู่

น้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียประกอบด้วยสารในกลุ่มแล็กโตนคือ delta-hexanolactone 745.91 นาโนกรัม/มิลลิลิตร beta-methyl-gamma-decalactone 41.79 นาโนกรัม/มิลลิลิตร และ delta-decalactone 458.61 นาโนกรัม/มิลลิลิตร การกำจัดกลิ่นทำให้ delta-octalactone ซึ่งเป็นสารระเหยชนิดเดียวในกลุ่มแล็กโตนที่ตรวจพบเพิ่มขึ้น (1045.93 นาโนกรัม/

มิลลิลิตร) ในน้ำมันภายหลังกำจัดกลิ่น การพบ delta-octalactone เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากการสลายตัวโดยความร้อน (thermal breakdown) ของ delta-hydroxyacid ซึ่งเป็นการเร่งให้เกิดออกซิเดชันของกรดไขมันมากขึ้น (Dimick *et al.*, 1969; Pai *et al.*, 1984)

สารระเหยในกลุ่มแลกโตนที่พบในน้ำมันกลิ่นคิโตนิกมีทั้งสิ้น 6 ชนิด ได้แก่ tetrahydro-6-methyl-2H-pyran-2-one ปริมาณ 318.07 นาโนกรัม/มิลลิลิตร delta-hexanolactone ปริมาณ 1051.17 นาโนกรัม/มิลลิลิตร gamma-octalactone ปริมาณ 93.76 นาโนกรัม/มิลลิลิตร delta-octalactone ปริมาณ 1837.35 นาโนกรัม/มิลลิลิตร delta-dodecalactone ปริมาณ 51.09 นาโนกรัม/มิลลิลิตร delta-decalactone ปริมาณ 288 นาโนกรัม/มิลลิลิตร การกำจัดกลิ่นทำให้ปริมาณสารระเหยส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง รวมทั้งทำให้ delta-dodecalactone ในน้ำมันกลิ่นคิโตนิกถูกกำจัดหมดไป เนื่องจากสารในกลุ่ม delta-lactone เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก มีจำนวนคาร์บอน 6-14 อะตอม จึงสามารถถูกกำจัดออกไปบางส่วนภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Pai *et al.*, 1978) และคาดว่าสารให้กลิ่นที่คงเหลือในน้ำมันภายหลังการกำจัดกลิ่นน่าจะเป็นสารระเหยในกลุ่มแลกโตน เนื่องจากแลกโตนมีค่าต่ำสุดที่รับกลิ่นได้ต่ำ คือ 0.1 ppm (shaikh, 2002)

6.6.7 อื่นๆ

สารระเหยอื่นๆ ที่พบ ได้แก่ สารประกอบฟูแรน คือ 2,5-dimethyltetrahydrofuran ในน้ำมันเน่าเสีย และสารประกอบฟูราโนน คือ 2,5 dimethyltetrahydrofuran, dihydro-5-methyl-2-furanone, 5-ethyl-dihydro-2-(3H)-furanone และ dihydro-5-pentyl-2(H)-furanone ในน้ำมันคิโตนิก สารกลุ่มนี้ให้ลักษณะของกลิ่นคาราเมลและกลิ่นหวานในผลไม้สุก กลิ่นคล้ายยา และกลิ่นน้ำผึ้งในอาหารแปรรูป เช่น ชีส น้ำเชื่อม (Sanz *et al.*, 1995) จากการทดลองสารระเหยที่พบมากที่สุดในกลุ่มนี้ คือ 5-ethyl-dihydro-2-(3H)-furanone ปริมาณ 145.36 นาโนกรัม/มิลลิลิตร สารประกอบในกลุ่มฟูราโนนและฟูแรนมีโครงสร้างเป็นวงมีคาร์บอน 5 อะตอม (five-member heterocyclic compound) ต่อกับอะตอมของออกซิเจน (Shaikh, 2002) ก๊าซไนโตรเจนสามารถพาสารประกอบเหล่านี้ให้ระเหยออกมา ทำให้น้ำมันที่ผ่านการกลั่นมีความเข้มข้นของสารเหล่านี้ลดลง

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารระเหยในน้ำมันมะพร้าวสดพบว่า สารระเหยให้กลิ่นในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบคิโตนิก คือ

คีโตน เอสเทอร์ กรดอินทรีย์ และแอลกอฮอล์ กล่าวคือสารระเหยให้กลิ่นที่สำคัญในน้ำมันกลิ่นธรรมชาติ คือ ethyl caprylate, delta-octalactone และ octanoic acid น้ำมันกลิ่นเน่าเสีย คือ 2-methyl propanoic acid และ 3-methyl butanoic acid และน้ำมันกลิ่นหืนแบบคีโตนิก คือ 2-heptanone และ 2-nonanone การกำจัดกลิ่นด้วยก๊าซไนโตรเจนสามารถทำให้สารระเหยส่วนใหญ่มีความเข้มข้นลดลงหรือหมดไป ส่งผลให้คงเหลือกลิ่นในน้ำมันแต่ละชนิดบ้างเล็กน้อย แม้ว่าจะไม่สามารถกำจัดสารให้กลิ่นทุกชนิดในน้ำมันให้หมดสิ้นก็ตาม แต่สามารถสรุปได้ว่าการกำจัดกลิ่นด้วยก๊าซไนโตรเจนมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับกำจัดกลิ่นในน้ำมันมะพร้าวสด

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. เมื่อนำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียซึ่งมีกลิ่นแรงที่สุดมากำจัดสารให้กลิ่นโดยการสกัดด้วยน้ำ พบว่าอุณหภูมิของน้ำไม่มีผลต่อการสกัดสารให้กลิ่นในน้ำมันมะพร้าวสด และการเพิ่มจำนวนครั้งในการสกัดทำให้สารให้กลิ่นมีโอกาสมะพร้าวมายู่ในส่วนน้ำมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มการสกัดเป็น 6 ครั้ง ไม่สามารถลดกลิ่นได้อีก แสดงว่าสารให้กลิ่นชนิดที่ละลายน้ำแพร่ออกมาได้มากที่สุดแล้ว และคงเหลือสารให้กลิ่นที่ละลายในน้ำมันเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดกลิ่นจากน้ำมันมะพร้าวสดโดยการสกัดด้วยน้ำ คือ การสกัดที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จำนวน 5 ครั้ง

2. เมื่อนำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียมากำจัดสารให้กลิ่นโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ พบว่าความแรงของกลิ่นลดลงเมื่ออุณหภูมิการกลั่นสูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 90 และ 100 องศาเซลเซียส มีกลิ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ และการกลั่นนานขึ้นทำให้กลิ่นลดลง แต่เวลาการกลั่น 3 และ 4 ชั่วโมง ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดกลิ่นจากน้ำมันมะพร้าวสดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ คือ การกลั่นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3. เมื่อนำน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นเน่าเสียมากำจัดสารให้กลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน ที่อัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน 0.2 0.3 และ 0.4 บาร์ พบว่าน้ำมันมีความแรงของกลิ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ และการเพิ่มเวลากลั่นเป็น 20 30 และ 40 นาที พบว่าเวลาไม่มีผลต่อความสามารถในการลดกลิ่นเน่าเสียในน้ำมันมะพร้าวสดเช่นกัน ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดกลิ่นจากน้ำมันมะพร้าวสดโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน คือ การกลั่นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน 0.2 บาร์ เป็นเวลา 20 นาที

4. เมื่อเปรียบเทียบการกำจัดกลิ่นทั้ง 3 วิธี คือ การสกัดกลั่นด้วยน้ำ การกลั่นด้วยไอน้ำ และการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน ที่สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละวิธี พบว่าการสกัดกลั่นด้วยน้ำ ยังคงเหลือกลิ่นแรงสุดไม่แตกต่างจากการกลั่นด้วยไอน้ำ และการกลั่นด้วยไอน้ำไม่แตกต่างจากการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนที่มีกลิ่นอ่อนกว่า ประกอบกับการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนสามารถลด

ปริมาณกรดไขมันอิสระจากเริ่มต้น 0.38% ให้เหลือเพียง 0.24% (คิดเป็นกรดลอริก) ดังนั้นการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดภายใต้สภาวะการทดสอบ

5. การกำจัดกลิ่นในน้ำมันกลั่นธรรมชาติ น้ำมันกลั่นเน่าเสีย และน้ำมันกลั่นคีโตนิก โดยทดสอบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการกำจัดกลิ่นแบบเปรียบเทียบคู่ พบว่าการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนสามารถกำจัดกลิ่นได้ทั้ง 3 แบบ และทำให้กรดไขมันอิสระของน้ำมันทุกชนิด และสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่างของน้ำมันกลั่นเน่าเสียลดลง

6. น้ำมันมะพร้าวสดประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบหลัก 92.71-93.40% กรดไขมันอิ่มตัวที่ตรวจพบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนน้อย ได้แก่ กรดคาปรีลิก กรดคาปริก และกรดลอริก การกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจนทำให้ปริมาณกรดไขมันมีการเปลี่ยนแปลงแต่ยังไม่สามารถยืนยันผลการวิเคราะห์ได้ อย่างไรก็ตามกรดไขมันของน้ำมันมะพร้าวสดหลังการกำจัดกลิ่นยังมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานของน้ำมันมะพร้าวสด Asian and Pacific Coconut Community

7. สารระเหยให้กลิ่นในน้ำมันมะพร้าวสดกลั่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบคีโตนิก แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มหลัก คือ คีโตน เอสเทอร์ กรดอินทรีย์ และแอลกอฮอล์ สารให้กลิ่นในน้ำมันกลั่นธรรมชาติ คือ ethyl carphylate, delta-octalactone และ octanoic acid น้ำมันเน่าเสีย คือ 2-methyl propanoic acid และ 3-methyl butanoic acid และน้ำมันหืนแบบคีโตนิก คือ 2-heptanone และ 2-nonanone การกลั่นกำจัดกลิ่นทำให้สารระเหยและความเข้มข้นสัมพัทธ์โดยรวมของน้ำมันทั้ง 3 ชนิดลดลง แต่ยังคงเหลือสารระเหยบางชนิดซึ่งให้กลิ่นในน้ำมันมะพร้าวสดแต่ละชนิดบ้างเล็กน้อย

ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนการกรองแยกเนื้อมะพร้าวและเชื้อจุลินทรีย์ออกจากน้ำมันมะพร้าวสดที่มีกลิ่นหืนแบบคีโตนิค โดยผ้าขาวบางและเครื่องกรองแบบสุญญากาศ อาจทำให้มีเชื้อจุลินทรีย์บางส่วนปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันที่ได้ภายหลังการกรอง และเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดสามารถเจริญในน้ำมันระหว่างรอการทดลองในขั้นตอนต่อไป ทำให้คุณภาพและกลิ่นของน้ำมันก่อนนำไปกำจัดกลิ่นเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นหากต้องการควบคุมคุณภาพน้ำมันให้มีความสม่ำเสมอ ควรนำน้ำมันมากรองผ่านแผ่นกรองจุลินทรีย์ (membrane filtration) อีกครั้ง ก่อนนำไปเก็บรักษา เพื่อป้องกันการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์
2. การควบคุมสถานะที่ใช้ในการกำจัดกลิ่นในน้ำมันมะพร้าวสดโดยกระบวนการสกัดด้วยน้ำ เป็นการควบคุมอุณหภูมิของอ่างน้ำร้อนที่ใช้ในการเขย่า ซึ่งอาจเกิดความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิในการสกัดแต่ละครั้ง และมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนจากอ่างน้ำร้อนสู่น้ำมัน ทำให้ไม่ทราบอุณหภูมิที่แท้จริงที่สารระเหยในน้ำมันได้รับ ดังนั้นจึงควรกำหนดอุณหภูมิที่ใช้เป็นอุณหภูมิในน้ำมันขณะทำการสกัด เพื่อให้ทราบความสามารถของการแพร่ของสารระเหยเมื่อได้รับความร้อน ณ อุณหภูมินั้นๆ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. 2544. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 235 แก้ไขเพิ่มเติมประกาศ
กระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 57 (พ.ศ.2524) เรื่อง น้ำมันมะพร้าว. สำนักงานคณะกรรมการ
อาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข, นนทบุรี
- เกรียงศักดิ์ ไชยโรจน์. 2531. การสกัดสารระเหย. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,
เชียงใหม่.
- บุษกร อุดรภิชาติ. 2547. จุลชีววิทยาทางอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย
ทักษิณ, สงขลา.
- ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. 2538. เทคนิคทางเคมี. สำนักพิมพ์ประกายพรึก, กรุงเทพฯ.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอเดียน
สโตร์, กรุงเทพฯ.
- แม่น อมรสิทธิ์. 2534. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. ชวนพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- ศุภศิริ ศิลาน้อย. 2550. สารระเหยให้กลิ่นสำคัญในข้าวมัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2534. คู่มือหลักสูตรเข้มข้นการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง
แก๊สโครมาโทกราฟี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สุคนธ์ชน ศรีงาม และ ศิริวรรณ เนติวานนท์. 2532. การหมักหั่นของน้ำมันมะพร้าว. วารสาร
เกษตรศาสตร์. 23: 260-266.

_____. 2533. ปัจจัยในการเกิดการเหม็นหืนของน้ำมันมะพร้าวและวิธีป้องกัน. **วารสารเกษตรศาสตร์**. 24: 291-296.

สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2542. การแยกน้ำมันมะพร้าวจากน้ำกะทิ. **วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย)**. 33 : 444 – 451.

สมทรง เลขะกุล. 2543. **ชีวเคมีของวิตามิน**. ศุภวณิชการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

Adda, J. 1986. Flavour of dairy products, pp. 151-172. In G.G. Birch and M.G. Lindley, eds. **Developments in Food Flavours**. Elsevier Applied Science Publishers, New York.

Akoh, C.C. 1998. Structured Lipids, p 718. In C.C. Akoh and D.B. Min, eds. **Food Lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology**. Marcel Dekker, New York.

Allen, J.C. and R.J. Hamilton. 1994. **Rancidity in Foods**. 3th ed. Blackie Academic & Professional, London.

Alton, E.B. 1996. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. Wiley, New York

AOCS. 1997. **Official Methods and Recommended Practices of the AOCS**. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.

Arctander, S. 1969. Characterization of the Putrid Aroma Compounds of *Ginkgo biloba* Fruits, pp. 176-279. In R.L. Rouseff and M.M. Leahy, eds. **Fruit Flavor**. American Chemical Society, Washington, DC.

Asian and Pacific Coconut Community. 1991. APCC Standard for Virgin Coconut Oil.

Asian and Pacific Coconut Community. Available source:

<http://www.apccsec.org/document/VCO-STANDARDS>. September 12, 2007.

- Baldiviano, P.F., A.C. Laurena and E. Tecson-Mendoza. 1999. Phenolic Compounds in Coconut (*Cocos nucifera* L.) Endosperm. **Philipp. Agri. Sci.** 82: 268-277.
- Borse, B.B., L.J.M. Rao, K. Ramalakshmi and B. Ragavan. 2006. Chemical Composition of Volatiles from Coconut Sap (*neera*) and Effect of Processing. **Food Chem.** 101: 877-880.
- Boekennoogen, H.A. 1964. **Analysis and Characterization of Oils, Fats and Fat Products.** Interscience publishers. London.
- Bruce, F. n.d. Coconut Oil. **Nature's Fat-Burning Miracle.** Available source: http://www.ecoviva.com/articles_about_health/vco_report.htm, February 21, 2007.
- Che Man, Y.B., A.B. Asbi, M.N. Azudin and L.S. Wei. 1996. Aqueous Enzymatic Extraction of Coconut Oil. **J. Am. Oil. Chem. Soc.** 73: 683-686.
- _____. M.I.B. Abdul Karim and C.T. Teng. 1997. Extraction of Coconut Oil with *Lactobacillus plantarum*. **J. Am. Oil. Chem. Soc.** 74: 115-119.
- Cvengros, J. 1995. Physical Refining of Edible Oils. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 72: 1193-1195.
- Dimick, P.S., N.J. Walker and S. Pattern. 1969. Occurrence and Biochemical Origin of Aliphatic Lactones in Milk Fat – A Review. **J. Agric. Food Chem.** 50: 6835-6840.
- Fisher, C. and T.R. Scott. 1997. **Food Flavors: Biology and Chemistry.** Athenaeum Press Ltd., Gateshead, Tyne and Wear, Cambridge.
- Fisher, R.A. and F. Yates. 1942. **Statistics Tables.** Oliver and Boyd Ltd., London.
- Garbutt, J. 1997. **Essentials of Food Microbiology.** Arnold, London.

- Gopalakrishnan, C.S., C.S. Narayanan, A.G. Mathew and C. Arumughan. 1987. Lipid Composition of Coconut Cake Oil. **J. Am. Oil. Chem. Soc.** 39: 230-233.
- Gordon, M.H. and I.A. Rahman. 1991. Effect of Processing on the Composition and Oxidative Stability of Coconut Oil. **J. Am. Oil. Chem. Soc.** 68: 574-576.
- Guarte, R.C., W. Muhlbauer and M. Kellert. 1996. Drying Characteristics of Copra and Quality of Copra and Coconut Oil. **Postharvest Biol and Technol.** 9: 361-372.
- Gunatileke, K.G. and S.F. Laurentius. 1974. Conditions for the Separation of Oil and Protein from Coconut Milk Emulsion. **J. Food Sci.** 39: 230-233.
- Hamilton, R.T. 1994. The Chemistry of Rancidity in Food. In J.C. Allen and R.J. Hamilton, eds. **Rancidity in Foods.** 3rd ed. Blackie Academic & Professional, London.
- Hamm, W. and R.J. Hamilton. 2000. **Edible Oil Processing.** Sheffield Academic Press, Sheffield.
- Indira, T.N., J. Hemavathy, S. Khatoon and A.G.G. Krishna. 2000. Water Degumming of Rice Bran Oil: A Response Surface Approach. **J. of Food Eng.** 43 : 83-90.
- Jayadas N.H. and K.P. Nair. 2006. Coconut Oil as Base Oil for Industrial Lubricants-Evaluation and Modification of Thermal, Oxidation and Low Temperature Properties. **Tribol Int.** 39: 873-878.
- Jayalekshmy, A., C.S. Narayanan and A.G. Mathaw. 1991. Identification of Volatile Flavour Compounds in Roasted Coconut. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 68 : 873-880.

- Johnson, L.A. 1998. Recovery, Refining, Converting and Stabilizing Edible Fats and Oils. *In* C.C. Akoh and D.B. Min, eds. **Food Lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology**. Marcel Dekker, New York.
- Karel, M. 1973. Symposium: Protein Interactions in Biosystems Protein-Lipid Interactions. **J. Food Sci.** 38: 756-763.
- Kellard, B., D.M. Busfield and J.L. Kinderlerer. 1985. Volatile Off-Flavour Compounds in Desiccated Coconut. **J. Sci. Food Agric.** 36: 415-420.
- Kochhar, S.P. 1996. Oxidative Pathways to the Formation of Off-Flavours, pp. 168-206. *In* M.J. Saxby, ed. **Food Taints and Off-Flavours**. Blackie Academic & Professional, London.
- Lee, B.H. 1996. Bacteria-Based Processes and Products. **Fundamentals of Food Biotechnology**. VCH. Publishers Inc., New York.
- Leffingwell, J.C. & Associates 2004. **Flavor-Base Database**, Cantam, GA, USA.
- Lehninger, A. 1975. **Biochemistry; the Molecular Basis of Cell Structure and Function**. Worth Publishers, New York.
- Lin, F.M. and W.F. Wilkens. 1970. Volatile Flavour Compounds of Coconut Meat. **J. Food Sci.** 35: 538-539.
- Machlin, L.J. 1991. **Handbook of Vitamins: Revised and Expanded**. 2nd ed. Marcel Dekker, New York.
- Marsili, R. 1997. **Techniques for Analyzing Food Aroma**. Marcel Dekker, New York.

- Merten, B., M. Pfeuffer and J. Schrezenmeir. 2006. Medium–Chain Triglycerides. **Int. Dairy J.** 16:1374-1382.
- Mcdonnell, K.P., S.M. Ward and D.J. Timoney. 1995. Hot Water Degummed Rapeseed Oil as a Fuel for Diesel Engines. **J. Agric. Eng. Res.** 60:7-14.
- McGlone, O.C., A.L.M. Canales and J.V. Carter. 1986. Coconut Oil Extraction by a New Enzymatic Process. **J. Food Sci.** 51: 695-697.
- McNair, H.M. and E.J. Bonelli. 1969. **Basic Gas Chromatography**. Varian Aerograph, Walnut.
- Moran, D.P.J. and K.K. Rajah. 1994. **Fats in Food Products**. Blackie academic & Professional, London.
- Mukherjee, K.D. 1998. Lipids Biotechnology, pp. 589-603. *In* C.C. Akoh and D.B. Min, eds. **Food Lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology**. Marcel Dekker, New York.
- Navin, K.G. and T. Rajamohan. 2004. Beneficial Effects of Virgin Coconut Oil on Lipid Parameters and in vitro LDL Oxidation. **Clin Biochem.** 37: 830-835.
- Pai, J.S., S.S. Lomano and W.W. Nawar. 1979. Effect of Heat Treatments on the Volatile Composition of Coconut Oil. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 56: 494-497.
- Padley, F.B. 1994. The Control of Rancidity in Confectionary Products, pp. 230-255. *In* J.C. Allen and R.J. Hamilton, eds. **Rancidity in Foods**. 3rd ed. Blackie Academic & Professional, London.
- Palaniswami, A., T. Villiappan and S. Neelakantan. 1989. Effect of Fungal Contamination of Copra on the Quality of Coconut Oil. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 19: 10-13.

Pangarkar, V.G., P.M. Bohar and A.S. Vaze. 1994. Adsorptive Recover of Water Soluble Essential Oil Components. **J. Chem. Tech. Biotechnol.** 60: 97-102.

Parliment, T.H. 1994. Characterization of the Putrid Aroma Compounds of *Ginkgo biloba* Fruits, pp. 176-279. In R.L. Rouseff and M.M. Leahy, eds. **Fruit Flavor**. American Chemical Society, Washington, DC.

_____. 1998. **Sovent Extraction and distillation techniques**. Marcel Dekker, New York.

_____. 2002. Sovent Extraction and Distillation Techniques, pp. 1-23. In Ray M., ed. **Flavor, Fragrance and Odor Analysis**. Marcel Dekker, New York.

Peamprasart, T. and N. Chiewchan. 2006. Effect of Fat Content and Preheat Treatment on the Apparent Viscosity of Coconut Milk after Homogenization. **J. of Food Eng.** 77: 653-658.

Peterson, R.J. and S.S. Chang. 1982. Identification of volatile flavor compounds of fresh, frozen beef stew and a comparison of these with those of canned beef stew. **J. Food Sci.** 47: 1444-1448.

Petrauskaite, V., W.F. De Greyt and M.J. Kellens. 2000. Physical Refining of Coconut Oil: Effect of Crude Oil Quality and Deodorization Conditions Neutral Oil Loss. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 77: 581-586.

Reineccius, G. 1994. **Source Book of Flavors**. 2nd ed. Chapman & Hall, New York.

Reische, D.W. 1998. Antioxidants. In C.C. Akoh and D.B. Min, eds. **Food Lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology**. Marcel Dekker, New York.

- Rossell, J.B. 1994. Measurement of Rancidity. *In* J.C. Allen and R.J. Hamilton, eds. **Rancidity in Foods**. 3rd ed. Blackie Academic and Professional, London.
- Ruiz-Men, M.V., G. Marquez-Ruiz and M.C. Dobarganes. 1996. Comparative performance of steam and nitrogen as stripping gas in physical refining of edible oils. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 73: 1641-1645.
- Saittagaroon, S., S. Kawashiki and M. Namiki. 1984. Aroma Constituents of Roasted Coconut. **Agric. Biol Chem.** 48: 2301-2307.
- Salunkhe, D.K., J.K. Chavan, R.N. Adsule and S.S. Kadam. 1992. **World Oilseeds: Chemistry, Technology and Utilization**. AVI, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Sanz, C., D.G. Richardson and A.G. Perez. 1995. 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone and Derivatives in Strawberries during Ripening, pp. 268-274. *In* R.L. Rouseff and M.M. Leahy, ed. **Fruit Flavor**. American Chemical Society, Washington, DC.
- Schmidl, M.K. 1996. The Role of Lipids in Medical and Designer Foods. pp. 423-427. *In* R.E. McDonald and D.B. Min, eds. **Food Lipids and Health**. Marcel Dekker, New York.
- Sellappan, S. and C.C. Akoh. 2000. Enzymatic Acidolysis of Tristearin with Lauric and Oleic Acids to Produce Coating Lipids. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 77 : 1127-1133.
- Shaikh, Y. 2002. **Specialty Aroma Chemicals in Flavors and Fragrances**. Allured publishing Corporation, New York.
- Singh, T.K., M.A. Drake and K.R. Cadwallader. 2003. Flavor of Cheddar Cheese: A Chemical and Sensory Perspective. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. 2: 139-162.

- Shipe, W.F., Bassette, D.D. Deane, W.L. Dunkley, E.G. Hammound, W.J. Harper, D.H. Kleyn, M.E. Morgan, J.H. nelson and R.A. Scanlan. 1978. Off-flavor of milk: Nomenclature, Standards and Bibliography. **J. Dairy Sci.** 61: 855-869.
- Shukla, V.K.S. 1995. Confectionery fats. *In* R.J. Hamilton, ed. **Developments in Oils and Fats**. Blackie Academic & Professional, London.
- Stauffer, C.E. 1996. **Fat & Oil: Practical Guides for the Food Industry**. Eagan Press. Minnesota.
- Surat Kootin. 1970. **The Production of coconut oil through microbial action**. M.S. Thesis. Kasetsart University.
- Sweitzer, P.A. 1997. **Handbook of Separation Techniques for Chmical Engineering**. 3rd ed. McGraw-Hill, New york.
- Swern, D. 1964. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. 3rd ed. Interscience Publishers, New York.
- Tanchotikul, U. and T. C.-Y. Hsieh. 1989. Volatile Flavor Components in Crayfish waste. **J. Food Sci.** 54: 1515-1520.
- Thailand Institute of Scientific and Technology Research. 2006. **Virgin Coconut Oil Product**. TISTR, Bangkok.
- Thieme, J.G. 1986. **Coconut Oil Processing**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Van der Vossen, H.A.M. and B.E. Umali. 2002. **Plant Resources of South-East Asea 14 Vegetable oils and fats**. Prosea Foundation, Bogor.

Villario, B.J., L.M. Dy and M.C.C. Lizada. 2007. Descriptive Sensory Evaluation of Virgin Coconut Oil and Refined, Bleached and Deodorized Coconut Oil. **Food Sci. and Technol.** 400: 193-199.

Weiss, T. J. 1983. **Food Oils and Their Uses**. The AVI Publishing Company, Inc, Westport.

Young, F.V.K. 1983. Palm Kernels and Coconut Oils: Analytical Characteristics, Process Technology and Uses. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 60: 374-379.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. การวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ ดัดแปลงจากวิธีการของ AOCS (1997)

ค่ากรดไขมันอิสระ คือ ค่าเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันคิดในรูปกรดลอริก โอเลอิก หรือปาล์มดิก ตามชนิดของน้ำมัน

ชั่งน้ำมัน 5-10 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในขวดทรงกรวย เติมสารละลายผสมของเอทิลแอลกอฮอล์กับไดเอทิลอีเทอร์ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร (ทำให้เป็นกลางต่อฟีนอร์ฟทาลีนควยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 นอร์มัล จนกระทั่งฟีนอร์ฟทาลีนเริ่มเปลี่ยนสี คำนวณค่าที่ได้จากสูตร

$$\text{กรดไขมันอิสระ (\% ในรูปกรดลอริก)} = \left(\frac{20 \times A \times N}{P} \right)$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่างน้ำมัน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)

P คือ น้ำหนักของน้ำมัน (กรัม)

2. สารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่าง (unsaponifiable matter) ตามวิธีการของ AOCS (1997)

สารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่าง คือ สารที่ปนอยู่ในน้ำมันหรือไขมันที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่างแต่ละลายได้ในสารละลายสำหรับน้ำมันหรือไขมัน

ชั่งน้ำมัน 2-5 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในขวดทรงกลม เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95% 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50% (w/w) 1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร รีฟลักซ์เป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วถ่ายของเหลวใส่ลงในกรวยแยก ล้างขวดทรงกลมด้วยน้ำร้อน 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร รวมลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมไดเอทิลอีเทอร์ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดจุกแล้วเขย่าอย่างแรง ตั้งกรวยแยกให้ตรงจนของเหลวแยกออกเป็นสองชั้นเห็นได้ชัดเจน แยกของเหลวส่วนล่างออก (สารที่ทำปฏิกิริยากับด่าง) แล้วเท

ส่วนบนที่เป็นสารละลายไดเอทิลอีเทอร์ออกจากปากขวด ใส่ลงในกรวยแยกที่สองที่มีน้ำกลั่นอยู่ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ห้ามเขย่า) ตั้งทิ้งไว้ให้ของเหลวแยกออกเป็นสองชั้น แยกส่วนที่เป็นน้ำชั้นล่างออกทิ้ง ล้างสารละลายอีเทอร์อีกสองครั้งด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วล้างด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มัล 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร และน้ำกลั่น 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำดังนี้สลับกัน 2 ครั้ง สุดท้ายล้างด้วยน้ำกลั่นจนน้ำที่ใช้ล้างไม่เกิดสีชมพู กับสารละลายฟีนอร์ฟทาไลน์อินดิเคเตอร์ รินสารละลายอีเทอร์ออกจากปากขวดกรวยแยก ใส่ลงในขวดแก้วที่ชั่งน้ำหนักแล้ว ล้างกรวยแยกด้วยไดเอทิลอีเทอร์ใส่รวมในขวดแก้วระเหยจนเหลือเล็กน้อย เดิมอะซิโตน 2-3 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่วสารที่ระเหยได้ออกไปให้หมด นำไปอบในตู้อบจนสารที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับด่างมีน้ำหนักที่คงที่ บันทึกน้ำหนัก ทดสอบสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่างในขวดแก้วโดยเติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95% 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร เขย่าให้ละลาย เติมฟีนอร์ฟทาไลน์อินดิเคเตอร์ ไตรเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล ถ้าใช้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มากกว่า 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต้องเริ่มทำการวิเคราะห์ใหม่

$$\text{สารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับด่าง} = \frac{100 \times A}{P}$$

เมื่อ A = น้ำหนักที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับด่าง (กรัม)
 P = น้ำหนักของน้ำมัน (กรัม)

3. การวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหย

3.1 การคำนวณค่า Retention Index (RI)

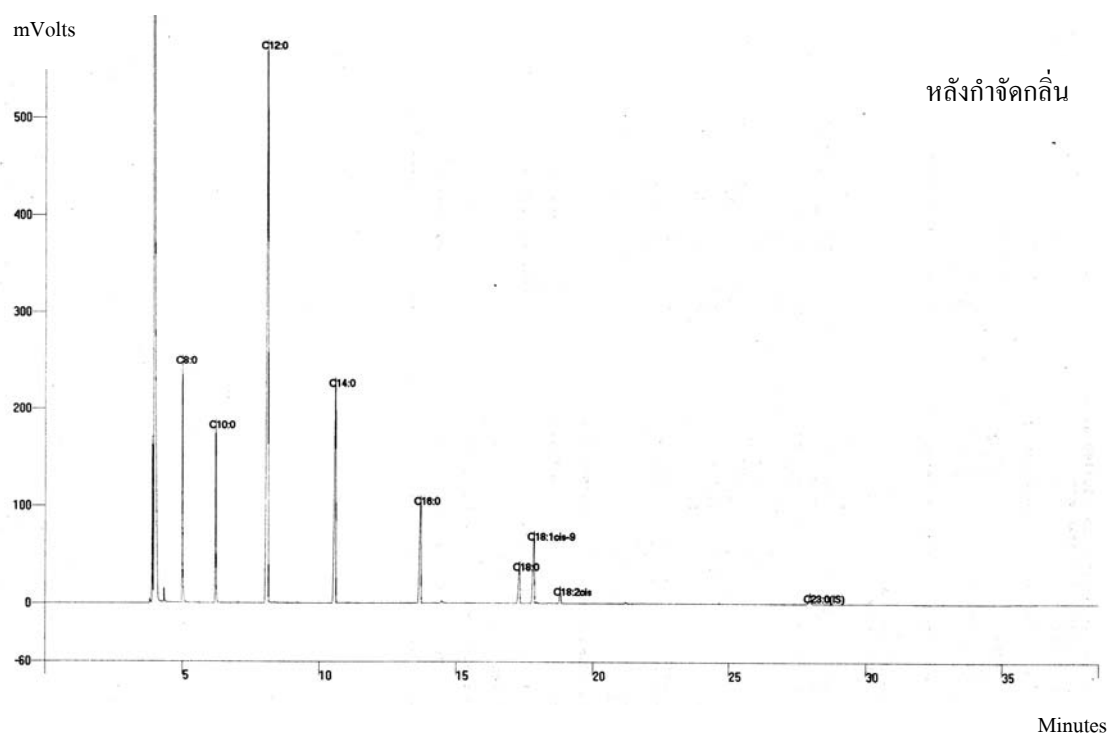
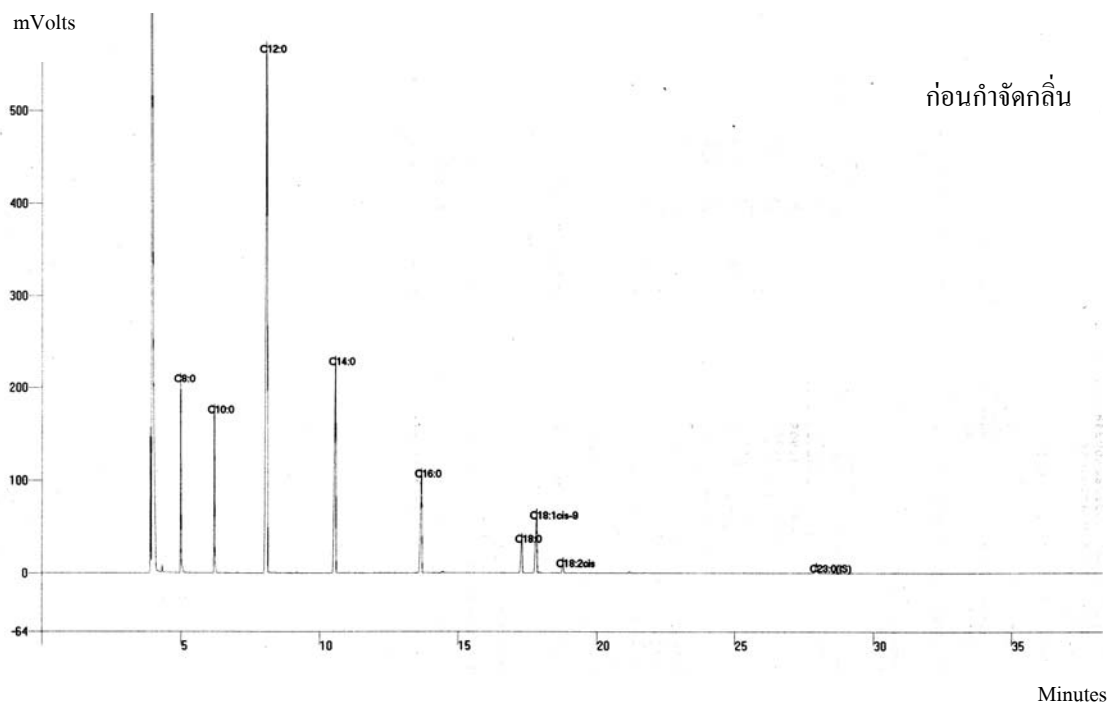
$$RI = 100 N + 100 n \frac{t_{Ra} - t_{RN}}{t_{R(N+n)} - t_{RN}}$$

เมื่อ	N	=	จำนวนอะตอมคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่าตัวอย่าง
	n	=	ความแตกต่างระหว่างจำนวนอะตอมของคาร์บอนในสารมาตรฐานอัลเคน 2 ตัว ที่ค่า retention time (RT) ของตัวอย่างอยู่ระหว่างกลาง
	t_{Ra}	=	RT ของตัวอย่างสารระเหยที่ต้องการวิเคราะห์ค่า RI
	t_{RN}	=	RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนน้อยกว่าตัวอย่าง
	$t_{R(N+n)}$	=	RT ของสารมาตรฐานอัลเคนที่มีคาร์บอนมากกว่าตัวอย่าง

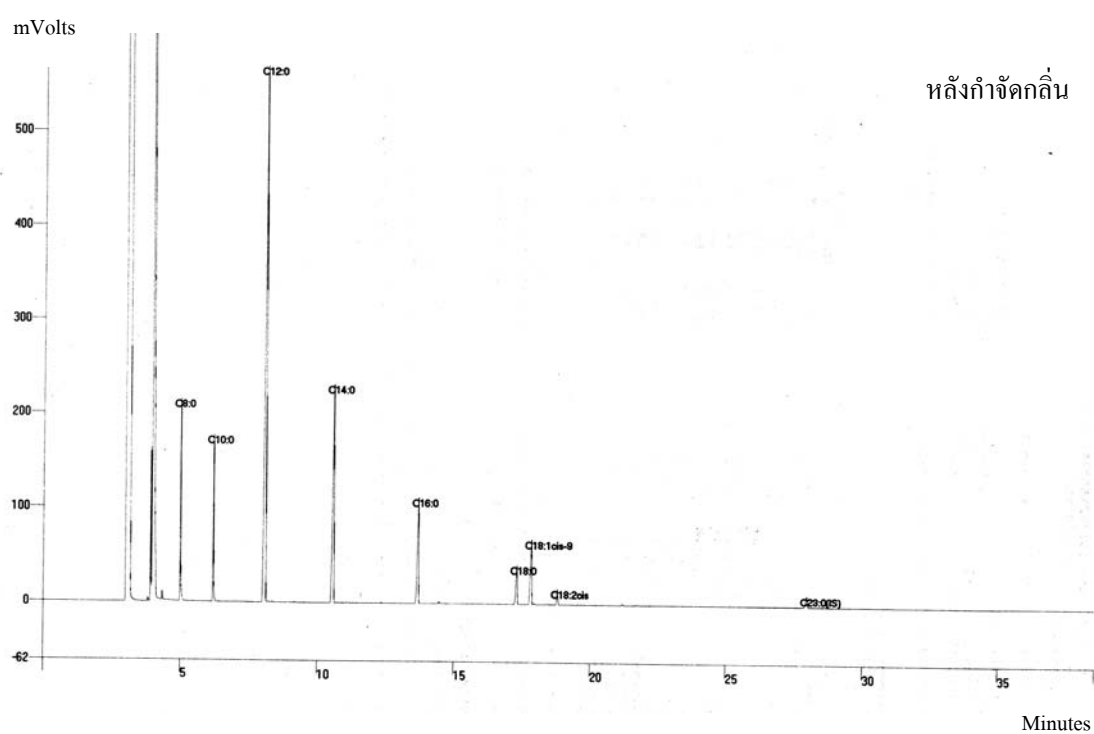
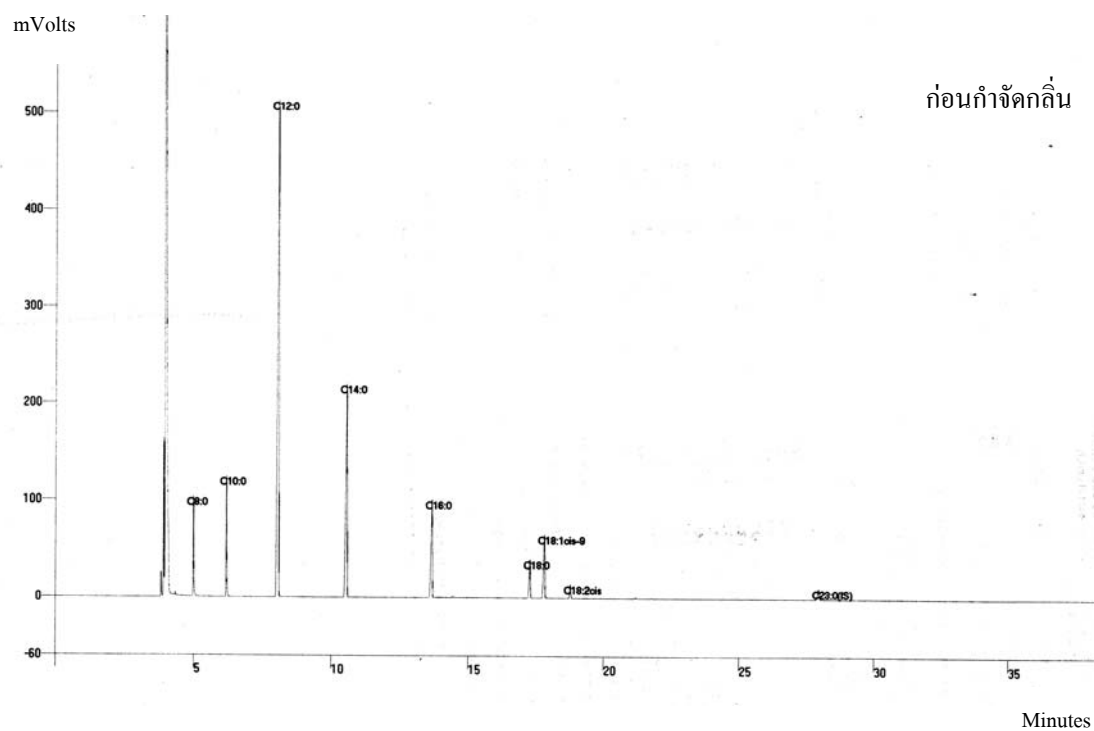
3.2 การคำนวณความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหย

$$C_s = \frac{C_i \times A_s \times V_i \times r}{A_i \times W_s}$$

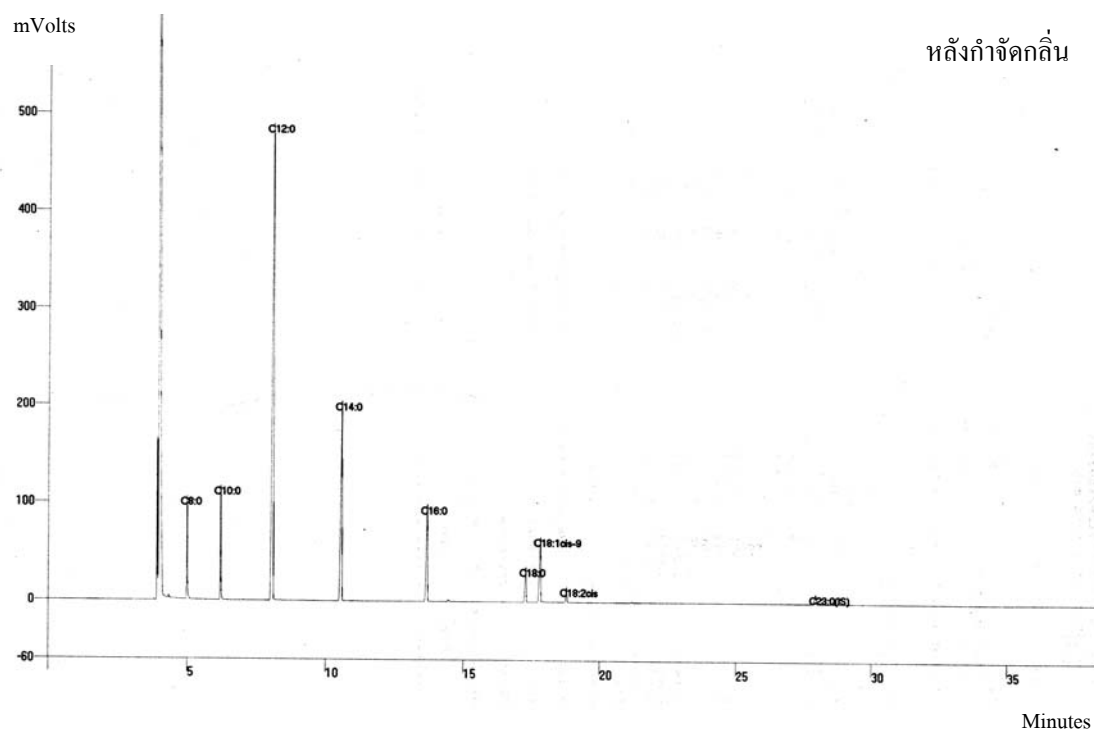
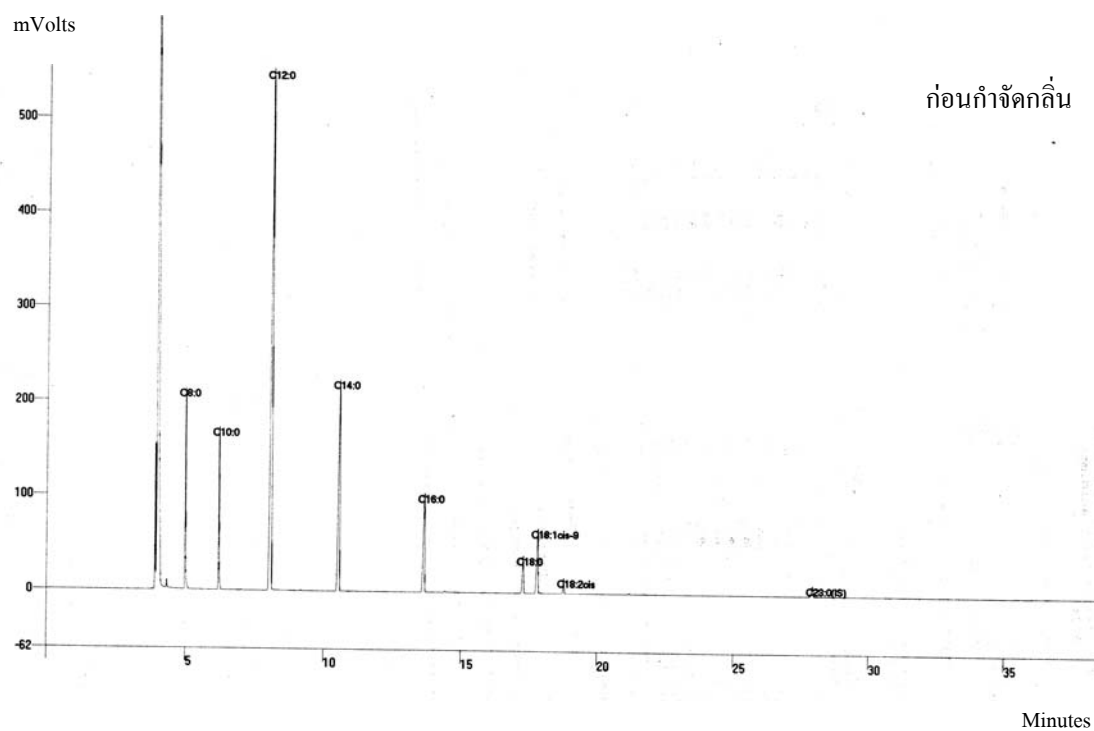
เมื่อ	C_s	=	ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของตัวอย่าง (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตัวอย่าง หรือ ppm)
	C_i	=	ความเข้มข้นของ internal standard (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)
	A_s	=	พื้นที่ใต้พีคของตัวอย่าง
	A_i	=	พื้นที่ใต้พีคของ internal standard
	V_i	=	ปริมาตรของ internal standard ที่ใช้ (ไมโครลิตร)
	W_s	=	ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (มิลลิลิตร)
	r	=	response factor ของสารระเหย กำหนดให้เท่ากับ 1.0



ภาพผนวกที่ ก1 โครมาโมแกรมของกรดไขมันที่วิเคราะห์พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติ
ก่อนและหลังกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

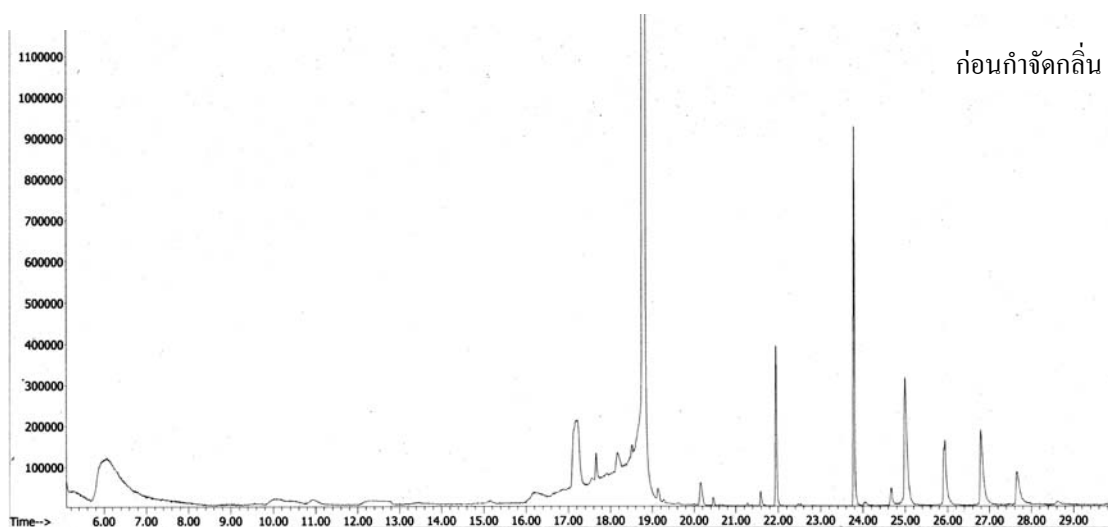


ภาพผนวกที่ ก2 โครมาโทแกรมของกรดไขมันที่วิเคราะห์พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นนำเสียก่อน และหลังกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน



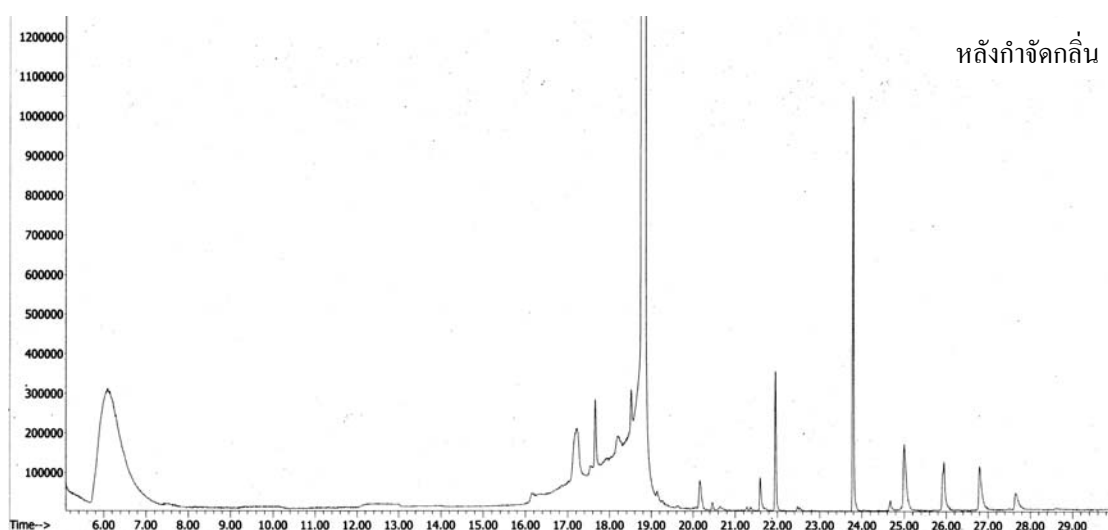
ภาคผนวกที่ ก3 โครมาโทแกรมของกรดไขมันที่วิเคราะห์พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นเน่าเสียก่อน
และหลังกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

abundance



Time

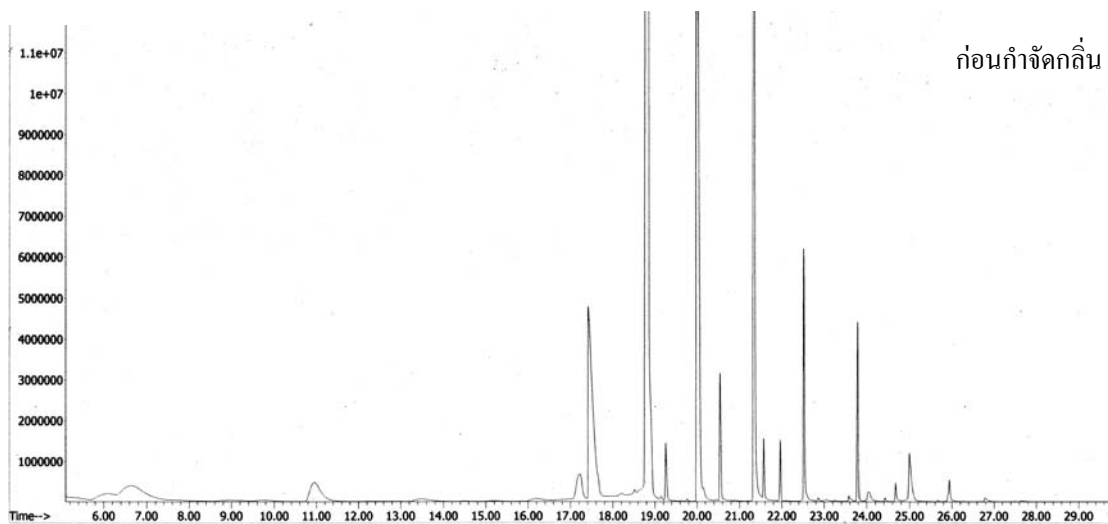
abundance



Time

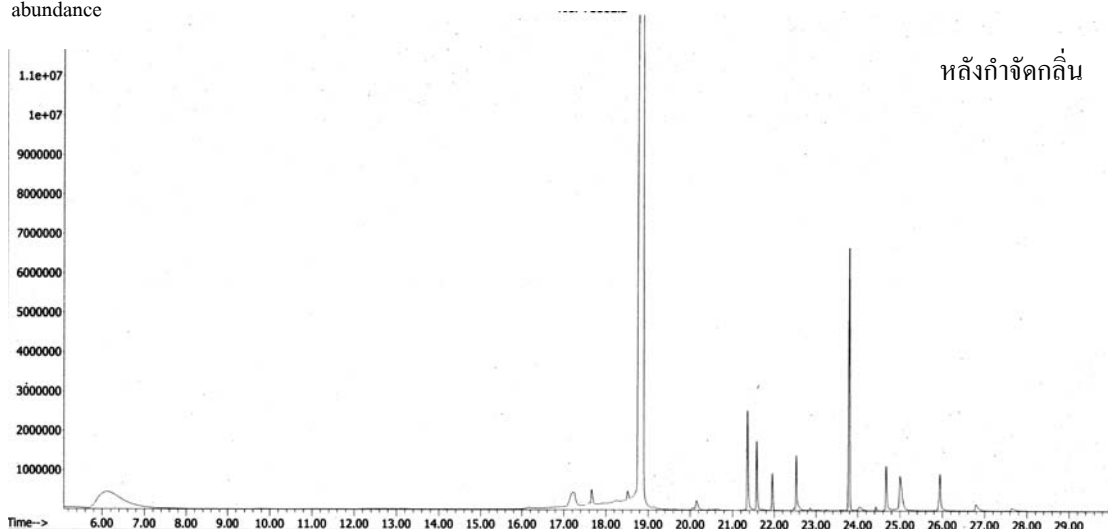
ภาคผนวกที่ ก4 โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติ
ก่อนและหลังกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

abundance



Time

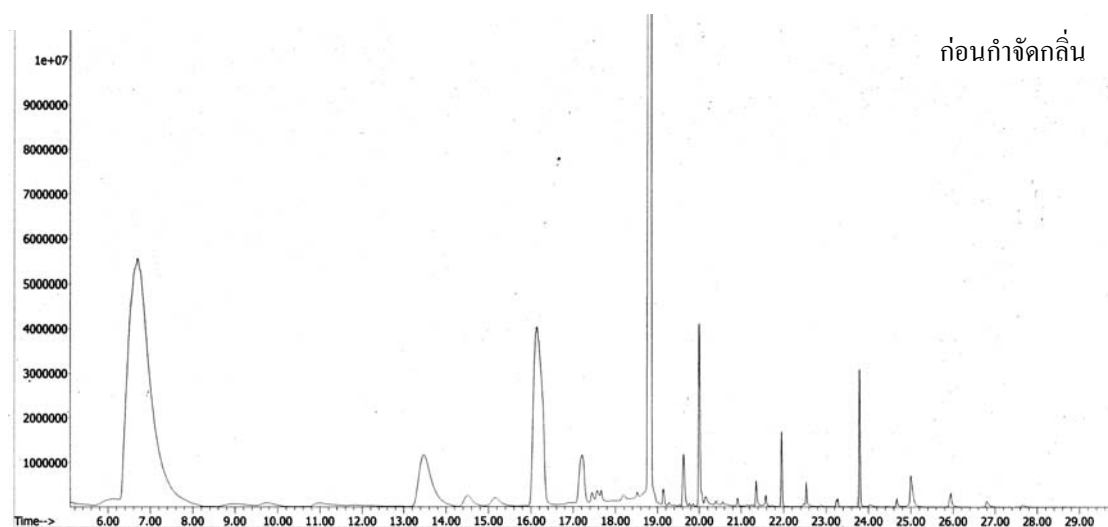
abundance



Time

ภาคผนวกที่ ก5 โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นเน่าเสียก่อน
และหลังกำจัดกลิ่น โดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

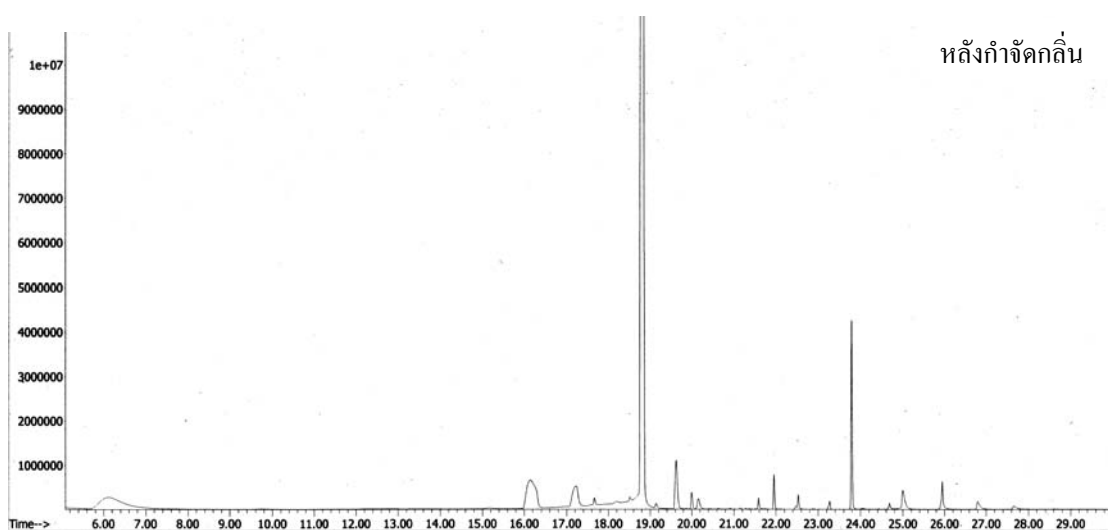
abundance



ก่อนกำจัดกลิ่น

Time

abundance



หลังกำจัดกลิ่น

Time

ภาคผนวกที่ ๓6 โครมาโทแกรมของสารระเหยที่วิเคราะห์พบในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นคิโตนิก
ก่อนและหลังกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ภาคผนวก ข1

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

ผลิตภัณฑ์: น้ำมันมะพร้าวสด

คำชี้แจง

กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวา และจัดอันดับตามความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดทั้ง 3 ตัวอย่าง กำหนดให้กลิ่นแรงที่สุดให้เป็นอันดับ 1 และกลิ่นอ่อนที่สุดให้เป็นอันดับ 3

รหัสตัวอย่าง

อันดับ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ.....

.....

ภาคผนวก ข2

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ : น้ำมันมะพร้าวสด

คำชี้แจง

กรุณาคมตัวอย่างที่ละคู่ตามลำดับที่เสนอ และเขียนเครื่องหมาย / ใน ☐ หน้ารหัสตัวอย่าง
ที่มีกลิ่นแรงกว่า ถ้าไม่พบความแตกต่างให้เลือกโดยการเดาได้

คู่ที่	รหัสตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง
1.	☐	☐
2.	☐	☐
3.	☐	☐

ข้อเสนอแนะ.....
.....

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ค1 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดหลังการกำจัดกลิ่นโดยการสกัดกลิ่นด้วยน้ำ เมื่อแปรผันอุณหภูมิ 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส จำนวนการสกัด 5 ครั้ง

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Temperature	1.454	2	0.727	1.501	0.229 ^{ns}
Judge	0.014	2	0.007	0.015	0.985 ^{ns}
Error	41.155	85	0.484		
Total	42.630	90			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ ค2 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดหลังการกำจัดกลิ่นโดยการสกัดกลิ่นด้วยน้ำ เมื่อแปรผันจำนวนการสกัด 4, 5 และ 6 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Time	4.479	2	2.240	4.898	0.010*
Judge	0.000	2	0.000	0.000	1.000 ^{ns}
Error	38.871	85	0.457		
Total	43.35	90			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ ค3 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดหลังการกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ เมื่อแปรผันอุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Temperature	3.966	2	1.983	4.362	0.016*
Judge	0.016	2	0.008	0.018	0.983 ^{ns}
Error	38.638	85	0.455		
Total	42.627	90			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ ค4 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดหลังการกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ เมื่อแปรผันเวลาสกัด 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Time	4.383	2	2.192	4.781	.010*
Judge	0.000	2	0.000	0.000	1.000 ^{ns}
Error	38.967	85	0.458		
Total	43.350	90			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ ค5 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดหลังการกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน เมื่อแปรผันอัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน 0.2, 0.3 และ 0.4 บาร์ เป็นเวลา 30 ชั่วโมง

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
N ₂ feed rate	1.879	2	0.939	1.925	0.152 ^{ns}
Judge	0.000	2	0.000	0.000	1.000 ^{ns}
Error	41.472	85	0.488		
Total	43.350	90			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ ค6 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดหลังการกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน เมื่อแปรผันเวลาการกลั่น 20, 30 และ 40 นาที ที่อัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน 0.2 บาร์

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Time	2.938	2	1.469	3.090	0.051 ^{ns}
Judge	0.000	2	0.000	0.000	1.000 ^{ns}
Error	40.412	85	0.475		
Total	43.350	90			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ ค7 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดเน่าเสีย หลังการกำจัดกลิ่นโดยการสกัดด้วยน้ำ กลั่นด้วยไอน้ำ และกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Process	3.227	2	1.614	3.418	0.037*
Judge	0.000	2	0.000	0.000	1.000 ^{ns}
Error	40.123	85	0.472		
Total	43.350	90			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ ค8 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันมะพร้าวสดเน่าเสีย หลังการกำจัดกลิ่นโดยการสกัดด้วยน้ำ กลั่นด้วยไอน้ำ และกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Process	0.065	3	0.022	88.919	0.000*
Judge	0.001	2	0.000	1.213	0.320 ^{ns}
Error	0.004	18	0.000		
Total	2.211	24			

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ ๙ การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องความแรงของกลิ่นน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบคีโตนิก ก่อนและหลังกำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วย ก๊าซไนโตรเจน

Chi-Square Test	df	p-value
Control oil	1	0.000*
Putrid oil	1	0.000*
Ketonic oil	1	0.000*

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ ๑๐ การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวสดกลิ่น ธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบคีโตนิก ก่อนและหลังกำจัดกลิ่นโดย การกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

Paired Samples Test	Std. Error Mean	df	t-value	p-value
Control oil	0.00217	5	4.030	0.010*
Putrid oil	0.00439	5	29.318	0.000 *
Ketonic oil	0.00845	5	4.641	0.006*

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ ค11 การวิเคราะห์ทางสถิติ เรื่องปริมาณสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับต่างในน้ำมัน
มะพร้าวสดกลิ่นธรรมชาติ กลิ่นเน่าเสีย และกลิ่นหืนแบบคีโตนิก ก่อนและหลัง
กำจัดกลิ่นโดยการกลั่นด้วยก๊าซไนโตรเจน

Paired Samples Test	Std. Error Mean	df	t-value	p-value
Control oil	0.07772	5	4.494	0.642*
Putrid oil	0.03492	5	4.305	0.008*
Ketonic oil	0.04964	5	0.130	0.902*

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสุริพร สว่าง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 1 พฤศจิกายน 2525
สถานที่เกิด	จังหวัดนนทบุรี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (กรุงเทพมหานคร)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-