การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะและผลิตภัณฑ์จากนมแพะโดยการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับไมโคร-แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี

จรัสศรี แก้วฝั้น

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีประยุกต์
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2564

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะและผลิตภัณฑ์จากนมแพะโดยการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับไมโคร-แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี

จรัสศรี แก้วฝั้น

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีประยุกต์
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะและผลิตภัณฑ์จากนมแพะโดยการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับไมโคร-แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี

จรัสศรี แก้วฝั้น

การค้นคว้าอิสระนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีประยุกต์

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร แสงศรีจันทร์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพรรณ ฉิมสุข)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ไพศาลสุทธิชล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร แสงศรีจันทร์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน
อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะและผลิตภัณฑ์ จากนมแพะโดยการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับไมโคร- แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี

ชื่อผู้เขียน นางสาวจรัสศรี แก้วฝั้น

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร แสงศรีจันทร์

บทคัดย่อ

นมแพะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับน้ำนมของมนุษย์ ย่อยง่ายและก่อให้เกิดการแพ้ต่ำ นมแพะประกอบด้วยโปรตีน แคลเซียม วิตามิน กรดไขมัน สูง และเม็ดไขมันขนาดเล็ก แต่ในนมแพะมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่เป็นปัญหาหลักต่อผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในตัวอย่างนมแพะและผลิตภัณฑ์นมแพะ โดยเทคนิค Headspace - Solid Phase Microextraction - Gas Chromatography-Mass Spectrometry (HS-SPME-GC-MS) ผลการวิจัยพบว่า คุณภาพของนมแพะดิบ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน น้ำตาลแล็กโทส เนื้อนมทั้งหมด ความหนาแน่น และค่าความเป็นกรด - เบส ในนมแพะกลิ่นปกติและนมแพะมีกลิ่นมากไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะและผลิตภัณฑ์จากนมแพะที่การสกัดด้วย SPME โดยใช้ SPME fibers ชนิด 50/30 µm DVB/CAR/PDMS ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที แล้วฉีดเข้าเครื่อง GC-MS พบว่าในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นกรดไขมัน และสารกลุ่มคีโตน เป็นจำนวนมากกว่านมแพะดิบกลิ่นปกติ สารเคมีเหล่านี้อาจเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นในนมแพะ โยเกิร์ตที่ทำจากนมแพะที่มีกลิ่นมากที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ชนิด ABT-5 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายจำนวนลดลงและผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้รับการยอมรับของผู้บริโภค

คำสำคัญ : การสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับไมโคร แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี กลิ่นนมแพะ

Title THE STUDY OF VOLATILE CHEMICAL COMPONENTS IN GOAT MILKS AND GOAT MILK PRODUCTS BY SOLID PHASE MICROEXTRACTION - GAS CHROMATOGRAPHY - MASS SPECTROMETRY

Author Miss Jarassri Kaewfun

Degree Master of Science in Applied Chemistry

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Supaporn Sangsrichan

ABSTRACT

Goat milk is rich in nutrition and contains nutritional information similar to human breast milk easy to digest and less allergic to human. It consists of high protein, calcium, vitamin, fatty acids, and small fat granules, but the strong flavor of goat milk is a major problem to the consumers. Hence, this research is aimed to study volatile chemical components in goat milk and goat milk products by Headspace - Solid Phase Microextraction - Gas Chromatography - Mass Spectrometry (HS-SPME-GC-MS) technique. It was found that the quality (fat, protein, lactose, total solid and density) of normal and strong goat milk samples were not significantly different ($p \leq 0.05$). Volatile chemical components in goat milk and goat milk products were determined by SPME using SPME fibers: 50/30 µm DVB/CAR/PDMS at extraction temperature of 60 °C for 45 minutes, then injected into GC-MS. The results were found that the strong flavor goat milk samples were contains fatty acids and ketones more than the normal flavor goat milk samples. These compounds may be the cause of the strong flavor in goat milk. Yogurt made form strong flavor goat milk was pasteurized at 85 °C for 5 minutes and fermented by ABT-5 for 8 hours gave the lower volatile chemical components. From the sensory test result, these yogurt was acceptable to the consumers.

Keywords : SPME Gas – Chromatography-Mass Spectrometry Flavor Goat Milk

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร แสงศรีจันททร์ ที่ให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และตรวจแก้ไขรูปเล่มการค้นคว้าอิสระฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ทำให้การทำการค้นคว้าอิสระในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ฐิติพรรณ ฉิมสุข และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ไพศาลสุทธิชล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ รวมถึงตรวจแก้ไขรูปเล่มให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และบุคลากร สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้คำแนะนำ และสั่งสอนให้ความรู้ในด้านต่าง ๆ ตลอดจนให้วามอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ สารเคมี และวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์เชียงใหม่ กองผลิตภัณฑ์สัตว์ กรมปศุสัตว์ ที่ได้อนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์การเตรียมตัวอย่างน้ำนมแพะดิบ น้ำนมแพะพาสเจอร์ไรส์ และโยเกิร์ตนมแพะ รวมถึงเครื่องวัดค่าองค์ประกอบนม

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจแก้ไขรูปเล่มในครั้งนี้ ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน แนะนำ และเป็นกำลังใจจนทำให้การค้นคว้าอิสระครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

จรัสศรี แก้วฝั้น

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ตรวจเอกสาร 4

นมแพะ 4

องค์ประกอบทางเคมีของนมแพะ 6

นมพาสเจอร์ไรส์ 12

นมเปรี้ยว 13

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในนมแพะดิบและผลิตภัณฑ์จากนมแพะ 16

การสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับไมโคร (Solid Phase Microextraction, SPME) 16

เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี (Gas Chromatography - Mass Spectrometry, GC-MS) 19

แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) 19

แมสสเปกโทรเมตรี (Mass spectrometry) 21

งานวิจัยด้านนมแพะและการแปรรูปนมแพะ 23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 28
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี 31
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย 32
3.2.1 การศึกษาคุณภาพองค์ประกอบหลักของนมแพะดิบ 32
3.2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบด้วยเทคนิค SPME-GC-MS 33
3.2.3 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในตัวอย่างนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ 38
3.2.4 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแปรรูปนมแพะพาสเจอร์ไรส์ 38
3.2.5 การศึกษาชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมในการแปรรูปโยเกิร์ตจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก 39
3.2.6 วิเคราะห์ เปรียบเทียบ แปรผล สรุปผลการวิจัย และเผยแพร่ 41
บทที่ 4 ผลการวิจัย 42
4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบหลักในนมแพะดิบชนิดที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ 42
4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในนมแพะดิบด้วยเทคนิค SPME – GC-MS 43
4.3 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติโดยเทคนิค SPME- GC-MS 51
4.4 องค์ประกอบทางเคมีของสารระเหยในนมแพะกลิ่นปกติและมีกลิ่นมากพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิต่างกัน 54
4.5 ผลการศึกษาชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมในการแปรรูปโยเกิร์ตนมแพะจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก 62
4.6 ผลทดสอบการยอมรับผู้บริโภค ต่อโยเกิร์ตนมแพะจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก ที่หมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาต่างกัน 69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 72

5.1 การศึกษาคุณภาพองค์ประกอบของนมแพะดิบกลิ่นมากและที่มีกลิ่นปกติ 72
5.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบด้วยเทคนิค SPME-GC-MS 72
5.3 การศึกษาชนิดขององค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติที่อาจเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ 73
5.4 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการพาสเจอร์ไรส์จากนมแพะที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ 74
5.5 การศึกษาชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมในการแปรรูปโยเกิร์ตนมแพะจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก 74
5.6 การศึกษาการยอมรับผู้บริโภค ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมในการแปรรูปโยเกิร์ตนมแพะจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก 75
ข้อเสนอแนะ 75
บรรณานุกรม 76
ภาคผนวก 80
ภาคผนวก ก แผนผังขั้นตอนกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากน้ำนมแพะ 81
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์ทางสถิติ 83
ภาคผนวก ค. โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานอัลเคน C8-C20 85
ภาคผนวก ง. แมสสเปกตรัมของสารระเหยที่ตรวจพบในการศึกษานี้ 86
ประวัติผู้วิจัย 106

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การแบ่งชั้นคุณภาพนมแพะดิบตามคุณลักษณะ 5

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของนมแพะเปรียบเทียบกับนมโคและนมจากมนุษย์..... 5

ตารางที่ 3 เทคนิคและผลการตรวจวิเคราะห์สารระเหยและกรดไขมันในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 27

ตารางที่ 4 สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโทรมิเตอร์..... 36

ตารางที่ 5 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแปรรูปนมแพะพาสเจอร์ไรส์..... 38

ตารางที่ 6 ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักของโยเกิร์ต 40

ตารางที่ 7 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพองค์ประกอบของนมแพะดิบที่ใช้ในการทดลอง (n=15)... 42

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบที่มีกลิ่นปกติและมีกลิ่นมาก ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS อุณหภูมิการสกัด 40 และ 60 องศาเซลเซียส..... 45

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของสารระเหยนมแพะดิบที่มีกลิ่นปกติและมีกลิ่นมาก ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS ระยะเวลาการสกัด 30, 45 และ 60 นาที..... 49

ตารางที่ 10 องค์ประกอบทางเคมีในนมแพะดิบด้วยเทคนิค SPME-GC-MS..... 52

ตารางที่ 11 องค์ประกอบทางเคมีของสารระเหยง่ายในนมแพะที่มีกลิ่นปกติพาสเจอร์ไรส์ที่ 85 และ 90 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS 58

ตารางที่ 12 องค์ประกอบทางเคมีของสารระเหยง่ายในนมแพะที่มีกลิ่นมากพาสเจอร์ไรส์ที่ 85 และ 90 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS 60

ตารางที่ 13 องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABT-5 และเวลาหมักต่างกัน..... 64

ตารางที่ 14 องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมาก ที่ใช้เชื้อใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABY-3 และเวลาหมักต่างกัน..... 65

ตารางที่ 15 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาหมักต่างกัน 70

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลแล็กโทส 8

ภาพที่ 2 ไฟเบอร์ของการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับไมโคร (SPME)..... 16

ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับไมโคร..... 17

ภาพที่ 4 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยเทคนิคการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับไมโคร 18

ภาพที่ 5 ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโทรมิเตอร์..... 23

ภาพที่ 6 เครื่องวัดค่าองค์ประกอบนม..... 32

ภาพที่ 7 แผนผังการการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบที่มีกลิ่นปกติและมีกลิ่นมาก ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS 34

ภาพที่ 8 การสกัดด้วยการดูดซับกลิ่นด้วย SPME fibers 35

ภาพที่ 9 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโทรมิเตอร์ 36

ภาพที่ 10 แผนผังกระบวนการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแปรรูปนมแพะพาสเจอร์ไรส์..... 39

ภาพที่ 11 แผนผังกระบวนการศึกษาชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมในการแปรรูปโยเกิร์ตจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก 40

ภาพที่ 12 โครมาโทแกรมของ GC-MS ที่ศึกษาอุณหภูมิในการดูดซับด้วย SPME ในนมแพะดิบ 44

ภาพที่ 13 โครมาโทแกรมของ GC-MS ที่ศึกษาเวลาในการดูดซับด้วย SPME ในนมแพะดิบ 48

ภาพที่ 14 โครมาโทแกรมของ GC-MS -จากการวิเคราะห์นมแพะดิบ 53

ภาพที่ 15 โครมาโทแกรมของ GC-MS ที่ศึกษาอุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรส์นมแพะที่มีกลิ่นปกติ ... 55

ภาพที่ 16 กราฟเปรียบเทียบปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีกลุ่มคีโตนในนมแพะกลิ่นปกติพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 และ 90 องศาเซลเซียส 55

ภาพที่ 17 โครมาโทแกรมของ GC-MS ที่ศึกษาอุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรส์นมแพะที่มีกลิ่นมาก 56

ภาพที่ 18 กราฟเปรียบเทียบปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีกลุ่มคีโตนในนมแพะมีกลิ่นมากพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที..... 57

ภาพที่ 19 โครมาโทแกรมของ GC-MS ของโยเกิร์ตที่หมักด้วยเชื้อ ABT-5 และ ABY-3 62

ภาพที่ 20 กราฟเปรียบเทียบปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABT-5 ที่หมักเป็นเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง 67

ภาพที่ 21 กราฟเปรียบเทียบปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในที่ในโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABY-3 ที่หมักเป็นเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง..... 68

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากนมแพะมีประโยชน์มากมาย ด้วยคุณสมบัติของนมแพะที่มีโอกาสก่อให้เกิดการแพ้โปรตีนในนมได้น้อย มีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกับนมของมนุษย์มาก จากผลการวิจัยของ Nestle ในปี 1987 พบว่า เด็กร้อยละ 20 มีปัญหาจากการแพ้โปรตีนจากนมโค และเด็กกลุ่มนี้มีแนวโน้มที่จะแพ้โปรตีนจากนมถั่วเหลืองด้วย ในขณะเดียวกัน เด็กกลุ่มนี้สามารถที่จะดื่มนมแพะได้ จากการศึกษาพบว่า นมแพะมีไขมันที่มีขนาดของโมเลกุลเล็ก ร่างกายสามารถย่อยและดูดซึมได้ง่าย ใช้เวลาในการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้เร็วกว่านมโค ส่งผลให้ลดการทำงานของกระเพาะอาหารและลำไส้ (ดวงจิต และคณะ, 2557) นมแพะสามารถย่อยง่ายและรวดเร็วเช่นเดียวกับนมแม่ โดยคุณภาพโปรตีนในนมโค นมแพะ และนมแม่ไม่แตกต่างกัน แต่จลนพลศาสตร์ของการย่อยโปรตีนของนมแพะจะเทียบเคียงได้กับนมแม่มากกว่านมโค (Maathuis, Havenaar, & Bellmann, 2017) และยังมีผลดีต่อผิวคือช่วยปรับสภาพผิวให้สมดุลอีกด้วย นอกจากนี้พบว่า ปริมาณแคลเซียม โพแทสเซียม ทองแดง และซีลีเนียมมากกว่าในนมโค ปัจจุบันผู้บริโภคจึงเริ่มหันมาสนใจนมแพะมากขึ้น

ในปี 2563 ทั่วประเทศมีจำนวนแพะทั้งหมด 962,884 ตัว มีเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะ 71,039 ราย คิดเป็น 13.15 ตัว/ราย โดยมีแพะนมทั้งสิ้น 26,680 ตัว จากเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะนมจำนวน 1,599 ราย ผู้เลี้ยงส่วนมากกระจายอยู่ในจังหวัดชายแดนภาคใต้ กรุงเทพมหานคร และจังหวัดใกล้เคียงกรุงเทพมหานคร จากการสำรวจเบื้องต้น มีนมแพะดิบทั่วประเทศ ประมาณ 2,500 ตัน/ปี คิดเป็นมูลค่านมดิบประมาณเกือบ 300 ล้านบาท/ปี ส่วนนมแพะพาสเจอร์ไรส์ประมาณกว่า 320 ล้านบาท/ปี และเครื่องสำอางที่ทำจากนมแพะอีก 200 ล้าน/ปี (กลุ่มวิจัยและพัฒนาระบบฟาร์มปศุสัตว์ (สัตว์เล็ก – สัตว์ปีก) สำนักส่งเสริมและพัฒนาการปศุสัตว์, 2563)

แม้ว่านมแพะจะมีประโยชน์มากมาย แต่ก็ยังเป็นการบริโภคเฉพาะบางกลุ่มยังไม่แพร่หลาย เหมือนกับการบริโภคนมโคผู้บริโภคส่วนใหญ่ยังไม่ให้การยอมรับเท่าที่ควร สาเหตุใหญ่เกิดจากปัญหาจากนมแพะมีกลิ่นเฉพาะตัวที่ผู้บริโภคไม่พึงประสงค์ กลิ่นนี้อาจเกิดจากคุณสมบัติของนมแพะเองหรือ

เกิดจากสุขลักษณะของการเลี้ยงดู (Skjevdal, 1979) ดังนั้นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นในนมแพะจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น เพื่อนำมาใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรวมถึงกลิ่นในนมแพะและผลิตภัณฑ์จากนมแพะในรูปแบบต่าง ๆ เช่น นมพาสเจอร์ไรส์ และโยเกิร์ต เป็นต้น ซึ่งกระบวนการแปรรูปเหล่านี้อาจส่งผลกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของสารมีกลิ่นที่มีอยู่ในนมแพะเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยที่ประโยชน์และคุณค่าทางโภชนาการไม่แตกต่างจากเดิมที่มีอยู่หรือดีกว่าเดิม โดยปัจจุบันการแปรรูปนมแพะจะพบเฉพาะการผลิตนมแพะพาสเจอร์ไรส์ หรือนมแพะยูเฮชทีเท่านั้น (วิไล, 2557)

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะและการยอมรับของผู้บริโภคนมแพะต่อระดับของกลิ่นนั้น ๆ ทราบชนิดของสารที่อาจก่อให้เกิดกลิ่นในนมแพะดิบและในผลิตภัณฑ์จากนมแพะตลอดจนมีการติดตามการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์จากนมแพะที่มีกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดความหลากหลายของผลิตภัณฑ์นมแพะที่มีกลิ่นเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการยืดอายุการเก็บรักษานมแพะ จึงเป็นที่มาของการวิจัยการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบ และในผลิตภัณฑ์จากนมแพะที่ผ่านกระบวนการแปรรูปและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เพื่อสร้างโอกาสการขยายตลาดได้มากขึ้นทั้งในประเทศและต่างประเทศและทำให้ผู้บริโภคได้บริโภคนมแพะที่มีคุณภาพ และขยายการรับรู้ของผู้บริโภคในด้านคุณภาพของนมแพะ ทำให้เกษตรกรสามารถสร้างอาชีพที่มีความมั่นคง ยั่งยืน พึ่งพาตนเอง ตลอดจนมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบหลักของนมแพะดิบ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน น้ำตาลแล็กโทส เนื้อนมทั้งหมด ความหนาแน่น และความเป็นกรด-เบส

2. เพื่อศึกษาหสภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะด้วยเทคนิค Solid phase microextraction - Gas Chromatography-Mass Spectrometry (SPME-GC-MS)

3. เพื่อศึกษาชนิดขององค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ

4. เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแปรรูปนมแพะพาสเจอร์ไรส์จากนมแพะที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ

5. ศึกษาชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมในการแปรรูปโยเกิร์ตนมแพะจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบคุณภาพองค์ประกอบหลักของนมแพะดิบ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน น้ำตาลแล็กโทส เนื้อนมทั้งหมด ความหนาแน่น และความเป็นกรด-เบส

2. ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในนมแพะ ด้วยเทคนิค Solid phase microextraction - Gas Chromatography - Mass Spectrometry (SPME-GC-MS)

3. ทราบชนิดขององค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยได้ในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ

4. ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการแปรรูปนมแพะพาสเจอร์ไรส์ จากนมแพะที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ

5. ได้ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมในการแปรรูปโยเกิร์ตนมแพะจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก ให้เป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผู้บริโภคให้การยอมรับ

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

นมแพะ

นมแพะเป็นนมชนิดแรกที่มนุษย์นำมาบริโภคก่อนนมจากสัตว์ชนิดอื่น สาเหตุหนึ่งที่ประชากรในหลายประเทศนิยมดื่มนมแพะเป็นหลัก เนื่องจากแพะเป็นสัตว์ที่เลี้ยงง่าย ไม่ได้อยู่ในข้อห้ามของศาสนาใด นมแพะเป็นอาหารที่มีจุดเด่น มีสรรพคุณเป็นยา นมแพะมีระดับโปรตีนสูงกว่านมโคและใกล้เคียงกับนมมารดา และไม่ทำให้เกิดการแพ้เหมือนนมโค เม็ดไขมันในนมแพะมีขนาดเล็กกว่านมโค ทำให้ย่อยได้ง่ายกว่า มีแคลเซียมต่ำกว่านมโคเล็กน้อย แต่มีวิตามินดีสูงกว่า จึงช่วยให้แคลเซียมในนมแพะถูกดูดซึมได้มาก (Hodgkinson et al., 2018) ปัจจุบัน มีผู้นิยมบริโภคนมแพะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ ทั้งยังมีคุณสมบัติและส่วนประกอบใกล้เคียงหรือสูงกว่านมโค ทั้งไขมัน โปรตีน กรดอะมิโนและวิตามิน นอกจากนี้ นมแพะยังมีไขมันขนาดเล็กที่ร่างกายสามารถย่อยและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว (ศศิธร, 2558)

นมแพะดิบที่มีคุณภาพเหมาะสมต่อการบริโภค ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช.6006-2551 ต้องมีลักษณะอยู่ในสภาพปกติ สะอาด มีสีขาวหรือสีขาวนวล มีกลิ่นรส (Flavor) ตามธรรมชาติ ปราศจากสิ่งแปลกปลอม (Foreign matter) และการปลอมปน (Adulteration) เมื่อตรวจโดยวิธีทดสอบด้วยแอลกอฮอล์ (Alcohol test) ดูปฏิกิริยาของนมแพะดิบกับเอทิลแอลกอฮอล์ โดยตะกอนต้องมีขนาดละเอียดหรือขนาดเล็กเท่านั้น มีค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ระหว่าง 6.5 ถึง 6.8 ปริมาณเนื้อนมไม่รวมมันเนย (Solids not fat) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 8.25 มีจุดเยือกแข็งไม่สูงกว่า -0.530 องศาเซลเซียส ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ไม่ต่ำกว่า 1.028 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส การทดสอบปริมาณจุลินทรีย์พิจารณาจากช่วงเวลาการเปลี่ยนสีของเมทิลีนบลูต้องมากกว่า 4 ชั่วโมง การเปลี่ยนสีของรีซาซูรินที่ 1 ชั่วโมงต้องไม่น้อยกว่าเกรด 4.5 และมีการแบ่งชั้นคุณภาพนมแพะดิบตามคุณลักษณะดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งชั้นคุณภาพนมแพะดิบตามคุณลักษณะ
(สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร แห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551)

ชั้นคุณภาพ / คุณลักษณะ	ดีมาก	ดี	มาตรฐาน
1. จำนวนโคโลนีของจุลินทรียทั้งหมด (cfu/mL)	$< 5 \times 10^4$	5×10^4 ถึง 10^5	$> 10^5$ ถึง 2×10^5
2. จำนวนเซลลโซมาติก (cells/mL)	$< 7 \times 10^5$	7×10^5 ถึง 10^6	$> 10^6$ ถึง 1.5×10^6
3. โปรตีน (%)	> 3.7	> 3.4ถึง 3.7	3.1 ถึง 3.4
4. ไขมัน (%)	> 4	> 3.5 ถึง 4	3.25 ถึง 3.5
5. เนื้อนมทั้งหมด (%)	> 13	> 12 ถึง 13	11.7 ถึง 12

นมแพะเป็นอาหารที่มีลักษณะเฉพาะ คือ รสหวาน มีความมันมากกว่านมโค มีคุณคาทางอาหารสูง คอเรสเตอรอลต่ำ และย่อยง่าย โดยคุณค่าทางโภชนาการของนมแพะ เปรียบเทียบกับนมโค และน้ำนมจากมนุษย์มีดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของนมแพะเปรียบเทียบกับนมโคและนมจากมนุษย์

ปริมาณ	**นมแพะ**	**นมโค**	**น้ำนมจากมนุษย์**
โปรตีน (Protein, %)	3.0	3.0	1.1
ไขมัน (Fat, %)	3.8	3.6	4.0
พลังงาน (Calories/100 mL)	70	69	68
วิตามินเอ (Vitamin A, i.u./gram fat)	39	21	32
วิตามินบี (Vitamin B, ug/100 mL)	68	45	17
ไรโบฟาวิน (Riboflavin, ug/100 mL)	210	159	26
วิตามินซี (Vitamin C, mg /100 mL)	2	2	3
แคลเซียม (Calcium, %)	0.19	0.18	0.04
เหล็ก (Iron, %)	0.07	0.06	0.20
ฟอสฟอรัส (Phosphorus, %)	0.27	0.23	0.06
คอเลสเตอรอล (Cholesterol, mg/100 mL)	12	15	20

องค์ประกอบทางเคมีของนมแพะ

องค์ประกอบทางเคมีของนมแพะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. สารประกอบที่มีปริมาณมาก ได้แก่ น้ำ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และ แร่ธาตุต่าง ๆ เป็นต้น

2. สารประกอบที่มีปริมาณน้อย ได้แก่ เอนไซม์ ฟอสโฟลิพิด สเตอรอล วิตามินต่าง ๆ สารสี (Pigment) องค์ประกอบทางเคมี สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน และแก๊ส เป็นต้น

รายละเอียดขององค์ประกอบแต่ละชนิดมีดังนี้

1. น้ำ

ในนมมีประมาณร้อยละ 85 - 90 (เฉลี่ยร้อยละ 87) น้ำที่มีอยู่ในนมจะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย เพื่อให้ส่วนประกอบที่เป็นของแข็งละลายหรือแพร่กระจายตัว นอกจากนี้ น้ำบางส่วนยังอยู่ในรูปไฮเดรตกับเกลือและน้ำตาลแล็กโทส และบางส่วนจับอยู่กับโปรตีนโมเลกุล

2 โปรตีน

ในนมมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 3.5 ของนมทั้งหมด โดยประกอบด้วยโปรตีน 3 ชนิด คือ เคซีนโปรตีน ซีรั่มโปรตีนหรือเวย์โปรตีน และเอนไซม์

2.1 เคซีน (Casein) เป็น โปรตีนที่ได้จากการตกตะกอนนมที่ pH 4.6 (pH 4.6 คือ Iso-electric point ของเคซีน) คือ ที่ pH 4.6 ศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคเคซีนมีค่าเป็นศูนย์ทำให้ไม่สามารถที่จะพยุงอนุภาคเคซีนให้ลอยอยู่ได้จึงเกิดการตกตะกอน โดยมีเคซีนในนมประมาณร้อยละ 2.63 ของนม คิดเป็นร้อยละ 80 ของโปรตีนทั้งหมดในนม เคซีนในนมอยู่ในรูปของฟอสโฟโปรตีน (Phosphoprotein) เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโน (Amino acid) ที่จำเป็นต่อร่างกายครบถ้วน โดยประเภทของโปรตีนเคซีน ได้แก่

Alpha S1 ประมาณร้อยละ 30.6 ของโปรตีนในนม

Alpha S2 ประมาณร้อยละ 8.0 ของโปรตีนในนม

Beta ประมาณร้อยละ 28.4 ของโปรตีนในนม

Kappa ประมาณร้อยละ 10.1 ของโปรตีนในนม

เคซีนชนิด Alpha S1 Alpha S2 และ Beta casein อยู่รวมกันได้ด้วยแรงดึงดูดของแคลเซียมและฟอสฟอรัส (Calcium phospate bridges) ล้อมรอบด้วยแคปปา เคซีน (Kappa casein) ในโมเลกุลของเคซีน มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ จึงแขวนลอยอยู่ในน้ำเป็นไฮโดร-คอลลอยด์ (Hydrocolloid) ในรูปแบบไมเซลล์ (Micelle) ทรงกลม ทำให้นมมีสีขาวขุ่น โดยแคลเซียมฟอสเฟตมีบทบาทสำคัญในการคงตัวของเคซีนไมเซลล์ (ศศิธร นาคทอง, 2558.)

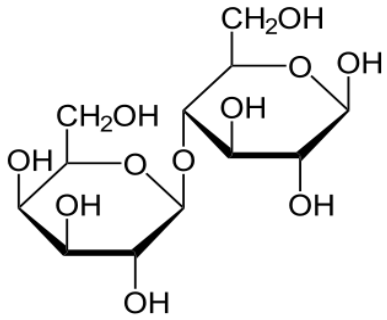
โปรตีนเคซีนในนมสามารถแยกออกจากนมได้โดยการตกตะกอน ด้วยการปรับค่า pH ของนมให้เท่ากับ 4.6 - 4.7 ซึ่งเป็น Isoelectric point ของโปรตีนเคซีน หรือ ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เรนนิน (Rennin) ซึ่งเป็นเอนไซม์ (Enzyme) ชนิดโปรตีเอส (Protease) สามารถย่อย เคซีนให้มีโมเลกุลเล็กลง ในอุตสาหกรรมอาหารใช้ในผลิตเนยแข็ง (Cheese) โดยเรนนินจะย่อยเคซีน แล้วรวมกันแคลเซียมไอออน แยกตัวออกมาเป็นตะกอนขาวขุ่นเวย์ (Whey) เป็นโปรตีนส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 20 ของโปรตีนทั้งหมด แยกจากนมหลังแยกเอาตะกอนเคซีนออกแล้ว

2.2 ซีรั่มโปรตีนหรือเวย์โปรตีน (Serum protein or whey protein) คำว่า มิลค์ซีรั่ม (Milk serum) หมายถึง น้ำใส ๆ สีฟ้าอ่อน ๆ ที่เหลืออยู่ในถังภายหลังจากตกตะกอนแยกเอาเคซีนออกไปจากนมแล้ว ส่วนคำว่าเวย์นั้น หมายถึง หางเนยแข็ง คือ น้ำใส ๆ ที่เหลืออยู่หลังจากการตกตะกอนเคซีนด้วยเอนไซม์เรนนินแยกเอาเคซีนออกไปแล้ว ดังนั้น คำว่าซีรั่มกับเวย์จึงมีความหมายใกล้เคียงกัน โดยเวย์โปรตีนมีประมาณร้อยละ 0.6 ของนม หรือร้อยละ 20 ของโปรตีนทั้งหมดในนม ประกอบด้วย แอลฟา-แลคโตอัลบูมิน (Alpha-lactoalbumin) และเบตา - แลคโตโกลบูลิน (Beta-Lactoglobulin)

2.3 เอนไซม์เป็นโปรตีนที่มีปริมาณน้อยมากในนม

3. แล็กโทส

น้ำตาลแล็กโทส (Lactose) พบประมาณร้อยละ 2.4 - 6.1 ในนม หรือประมาณ ร้อยละ 52 ของธาตุนม น้ำตาลแล็กโทสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (Disaccharide) ที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (Glucose) 1 โมเลกุล กับน้ำตาลกาแล็กโทส (Galactose) 1 โมเลกุล จับกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ชนิดเบตา-1, 4 (Beta 1-4) น้ำตาลแล็กโทส แยกได้จากเวย์ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตเนยแข็ง (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ.นิธิยา รัตนาปนนท์ม, 2015) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลแล็กโทส
ที่มา วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2009)

แล็กโทสเป็นน้ำตาลที่สำคัญที่สุดที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์นม โดยเกี่ยวข้องกับการหมัก (Fermentation) นอกจากนี้ ยังเกี่ยวข้องโดยตรงกับ รส กลิ่น และสีของนมและผลิตภัณฑ์นม โดยน้ำตาลแล็กโทสมีความหวานน้อยกว่าน้ำตาลชนิดอื่น ๆ มีความหวานสัมพัทธ์ (Relative sweetness) เท่ากับ 20 ในขณะที่น้ำตาลซูโครส (Sucrose) มีความหวานเท่ากับ 100 กลูโคสเท่ากับ 70 - 80 และฟรักโทส (Fructose) มีความหวานเท่ากับ 140 แล็กโทสละลายน้ำได้ไม่ดีเกิดการตกผลึก (Crsytallization) ได้ง่าย ในผลิตภัณฑ์นมที่ทำให้เข้มข้น เช่น นมข้นหวาน (Sweeten condensed milk) และไอศกรีม (Ice cream) เป็นต้น

เอนไซม์ที่สามารถย่อยน้ำตาลแล็กโทสได้ คือ เอนไซม์แล็กเทส (Lactase) หรือ เบตา - กาแลกโทสิเดส (Beta-galactosidase) ซึ่งย่อยได้น้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล กับน้ำตาลกาแล็กโทส 1 โมเลกุล เป็นเอนไซม์ที่พบในสัตว์ที่ยังไม่หย่านม คนที่เลิกดื่มนมเป็นเวลาเป็นเวลาเอนไซม์นี้จะหายไป เมื่อกลับมาดื่มนมหรือรับประทานผลิตภัณฑ์นมจะส่งผลให้ย่อยน้ำตาลแล็กโทสไม่ได้ทำให้เกิดอาการท้องเสีย เรียกว่า Lactose intolerance

4 ไขมัน

ไขมันนมหรือไขมันเนย (Butter fat หรือ Milk fat) หมายถึง ไขมัน ซึ่งอยู่ในรูปของอนุภาคเม็ดไขมัน (Fat globule) แขวนลอยอยู่ในนมในสภาพอิมัลชัน (Emulsion) ปริมาณไขมันนมแปรผันตามชนิดของสัตว์ เช่น นมโค มีระดับไขมัน 33 - 47 กรัมต่อลิตร นมกระบือ 47 กรัมต่อลิตร นมแพะ 41 - 45 กรัมต่อลิตร นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับอาหาร ระยะเวลาการให้นม จำนวนครั้งของการรีดนม สายพันธุ์ของสัตว์ และฤดูกาล

ไขมันในนมแพะมีกรดไขมันขนาดกลาง (Medium chain fatty acids, C6-C14) มากถึงร้อยละ 35 ซึ่งในนมโคมีเพียงร้อยละ 17 โดยมีกรดไขมัน Caproic (C6) Caprylic (C8) Capric (C10) ในนมแพะรวมร้อยละ 15 มีในนมโคร้อยละ 5 กรดไขมัน 3 ชนิดนี้มีประโยชน์ทางการแพทย์ โดยใช้ในการรักษาโรคการดูดซึมบกพร่อง (Malabsorption syndrome) การทำงานลำไส้ผิดปกติ (Intestinal disorders) และก้อนนิ่วในถุงน้ำดี (Gallstone) นมแพะมีเม็ดไขมันขนาดเล็กเพียง 2 ไมโครเมตร ส่วนในนมโคมีขนาด 20 - 30 ไมโครเมตร เม็ดไขมันที่เล็กจะย่อยง่ายและมีคุณสมบัติที่ดีในการกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่จับตัวกันเป็นไขเมื่ออุณหภูมิลดลง ดังนั้น นมแพะจึงมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenize) โดยธรรมชาติโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันในการผลิตอีกเหมือนนมโค

ความสำคัญและประโยชน์ของมันเนย

(1) เป็นอาหารประเภทให้พลังงานสูง มันเนย 1 กรัม จะให้พลังงานถึง 9 กิโลกรัม

(2) เป็นแหล่งของวิตามินประเภทที่ละลายในไขมัน เช่น วิตามินเอ (Vitamin A) วิตามินดี (Vitamin D) วิตามินอี (Vitamin E) วิตามินเค (Vitamin K) และแคโรทีน (Carotene)

(3) เป็นแหล่งของคอเลสเตอรอล

(4) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้นมและผลิตภัณฑ์นมมีความอร่อย

5 แร่ธาตุต่าง ๆ

แร่ธาตุที่มีปริมาณค่อนข้างมากในนม ได้แก่ แคลเซียมร้อยละ 0.123 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.095 โปแตสเซียมร้อยละ 0.141 แมกนีเซียมร้อยละ 0.012 โซเดียมร้อยละ 0.058 คลอรีนร้อยละ 0.119 และกำมะถันร้อยละ 0.03 แร่ธาตุที่มีปริมาณน้อย เช่น เหล็ก สังกะสี อะลูมิเนียม โบรมีน ซิลิคอน ทองแดง แมงกานีส ไอโอดีน แคดเมียม นิเกิล เงิน ตะกั่ว และโมลิบดินัม เป็นต้น

6 วิตามินในนม

วิตามินเกือบทุกชนิดทั้งที่ละลายได้ในไขมัน ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค เป็นต้น วิตามินที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ วิตามินซี (Vitamin C) ไทอะมินหรือวิตามินบีหนึ่ง (Vitamin B1) ไรโบฟลาวินหรือวิตามินบีสอง (Vitamin B2) ไนอะซินหรือวิตามินบีสาม (Vitamin B3) กรดแพนโทเทนิกหรือวิตามินบีห้า (Vitamin B5) ไพริดอกซีนหรือวิตามินบีหก (Vitamin B6) ไบโอตินหรือวิตามินบีเจ็ด (Vitamin B7) อิโนซิทอล (Inositol) และ กรดโฟลิคหรือวิตามินบีเก้า (Vitamin B9) เป็นต้น

7 คอเลสเตอรอล

มีมากในนม คือ คอเลสเตอรอลมีประมาณ 110-140 ส่วนต่อล้านส่วน คอเลสเตอรอลในนมผันแปรขึ้นอยู่กับปริมาณของไขมันนม หากมีร้อยละไขมันนมสูงจะมีปริมาณคอเลสเตอรอลเพิ่มมากขึ้นด้วย คอเลสเตอรอลในนมส่วนใหญ่เกาะรวมอยู่กับไขมันนม มีประมาณร้อยละ 8 ที่เกาะรวมอยู่กับโปรตีน นอกจากนั้นในนมยังมีแลนโนสเตอรอล (Lanosterol) และวิตามินดีอีกเล็กน้อย

8 สารให้สีในนม

สารให้สีมีทั้งที่ละลายได้ในไขมันและละลายได้ในน้ำ สารให้สีที่ละลายได้ในไขมัน ได้แก่ แคโรทีน ส่วนที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ ไรโบฟลาวินจะให้สีเหลืองอ่อนในนมปราศจากไขมัน ส่วนสีขาวหรือสีนมเกิดเนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคไขมันนมและแคลเซียมเคซีเนต (Sodium caseinate) และแคลเซียมฟอสเฟต (Calcium phosphate) ที่อยู่ในรูปสารละลายคอลลอยด์ และจะสะท้อนแสงเมื่อนมถูกแสงจึงเห็นเป็นสีขาว

9 องค์ประกอบทางเคมี

กลิ่นของนมมักจะคล้ายกับกลิ่นของอาหารหรือหญ้าที่วัวกินเข้าไป สารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นในนมจะเป็นกลุ่มสารประกอบคาร์บอนิล เช่น อะซิตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) อะซิโตน (Acetone) และฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ซึ่งมักพบในนม

10 ปริมาณกรด

นมโคมี pH ค่อนข้างเป็นกรด คือประมาณ 6.5 – 6.7 หากนมมี pH ต่ำกว่า 6.5 แสดงว่านมมีนมน้ำเหลืองปนอยู่ หากนมมี pH สูงกว่า 6.7 แสดงว่าเต้านมโคเป็นโรคเต้านมอักเสบ ในนมสารประกอบที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ได้แก่ ฟอสเฟต (Phosphate) คาร์บอเนต (Carbonate) ซิเตรต (Citrate) และโปรตีน ซึ่งช่วยควบคุม pH ของนมให้คงที่

11 ฟอสโฟลิพิด

สารฟอสโฟลิพิด (Phospholipid) มีอยู่ในนมประมาณร้อยละ 0.028 - 0.037 สารประกอบเหล่านี้มีสมบัติคล้ายไขมัน ในโมเลกุลฟอสฟอรัสและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบด้วย ฟอสโฟลิพิด สารฟอสโพลิพิดที่มักพบ ได้แก่ เลซิธิน (Lecithin) เซฟาลิน (Cephalin) และสฟิงโกมัยอิลิน (sphingomyelin)

12 สารประกอบไนโตรเจนในนม

นอกจากมีโปรตีนแล้วยังมีสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โปรตีน เช่น ไนโตรเจนมีปริมาณ 25 - 30 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิกรัม หรือร้อยละ 5 - 6 ของไนโตรเจนทั้งหมด

13 แก๊สในนม

แก๊สที่ปนอยู่ในนมมีทั้งแก๊สออกซิเจน ไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณของอากาศที่มีอยู่ในนมขึ้นอยู่กับ การที่นมสัมผัสกับอากาศมากหรือน้อย หากขณะที่รีดนม นมที่รีดโดยไม่ถูกสัมผัสกับอากาศจะมีร้อยละแก๊สออกซิเจนต่ำและมีคาร์บอนไดอออกไซด์สูง เมื่อนมถูกสัมผัสกับอากาศจะมีปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นและมีคาร์บอนไดออกไซด์ลดน้อยลง ซึ่งปริมาณของออกซิเจนจะมีผลต่อกลิ่นและรสชาติ (Oxidized flavour) ของนม

นมพาสเจอร์ไรส์

การพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurization) เป็นการใช้ความร้อนในระดับที่ไม่สูงมาก (Mild heat) อุณหภูมิที่ใช้จะน้อยกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยกรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยการพาสเจอร์ไรส์จะใช้ความร้อนไม่ต่ำกว่า 63 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หรือความร้อนไม่ต่ำกว่า 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 วินาที แล้วจึงทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 298 พ.ศ. 2549 เรื่อง วิธีการผลิตเครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิตและเก็บรักษาอาหาร กำหนดให้การพาสเจอร์ไรส์ สามารถแบ่งออกตามค่า pH ของอาหาร ดังนี้

(1) อาหารที่มีค่า pH มากกว่า 4.6 การพาสเจอไรส์ทำเพื่อฆ่าจุลินทรีย์ที่เป็นอันตราย (Pathogen) ต่อผู้บริโภค จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียบางส่วนอาจเหลือจากการพาสเจอไรส์ได้ ดังนั้นจึงต้องใช้การถนอมอาหารแบบอื่นควบคู่ไปด้วยเพื่อป้องกันการเน่าเสีย และทำให้อยู่ภายใต้สภาวะที่การเจริญของจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่เป็นไปได้น้อยที่สุด การถนอมอาหารที่ใช้ควบคู่ไปกับการพาสเจอไรส์ ได้แก่

- การใช้ความเย็น (Refrigeration)
- การลดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activty) ให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น การเติมน้ำตาล การเติมเกลือ เป็นต้น
- การปรับกรด (Acidification) เช่น การใช้กรดเพื่อปรับค่า pH ของหน่อไม้
- การหมัก (Fermentation) โดยใช้จุลินทรีย์เพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบในอาหาร เช่น การทำโยเกิร์ตเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลแล็กโทสในนมให้เป็นกรดแลคติก (Lactic acid)

(2) อาหารที่มีค่า pH น้อยกว่า หรือเท่ากับ 4.6 การพาสเจอไรส์อาหารในกลุ่มนี้ทำเพื่อทำลายเซลล์ปกติ (Vegetative cell) เนื่องจากเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะต่อการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคและต่อการงอกของสปอร์ ในกรณีของน้ำผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูง เช่น มะนาว การพาสเจอไรส์เพื่อทำลายยีสต์หรือรา ส่วนพวกเครื่องดื่มที่ได้จากการหมัก เช่น ไวน์ หรือเบียร์ การพาสเจอไรส์เพื่อทำลายพวกยีสต์แปลกปลอม (Wild yeast) สำหรับกระบวนการฆ่าเชื้อที่ขึ้นกับจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน ค่า pH ของอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก สปอร์ที่มีความทนทานต่อความร้อนสูงอาจเหลือรอดจากกระบวนการฆ่าเชื้อได้ แต่เนื่องจากอาหารมีค่า pH ต่ำ สปอร์เหล่านี้จึงไม่สามารถเจริญ และทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ หรือเกิดการเน่าเสียขึ้นที่ค่า pH 4.6 เป็นค่าความเป็นกรด - ด่างที่ต่ำกว่าเล็กน้อยจากค่า pH ต่ำสุด (pH 4.8) ที่เชื้อคลอสตริเดียม โบทูลินัม (*Clostridium botulinum*) สามารถเจริญและสร้างสารพิษขึ้นได้จึงต้องมีการระมัดระวังเป็นพิเศษ

การพาสเจอไรส์ อาจทำได้ดังนี้

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 265 พ.ศ. 2545 เรื่อง นมโค การพาสเจอร์ไรส์ กำหนดอาจทำได้ดังนี้

1. ใช้อุณหภูมิสูงเวลาสั้น (High temperature short time: HTST) ตัวอย่าง เช่น การพาสเจอไรส์นมที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที

2. ใช้อุณหภูมิต่ำเวลาเป็นเวลา (Low temperature long time: LTLT) ตัวอย่าง เช่น การพาสเจอไรส์นมที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

เมื่อเปรียบเทียบทางด้านคุณภาพ พบว่าการใช้ HTST ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่า LTLT

นมเปรี้ยว

นมเปรี้ยว (Fermented milk) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 289 พ.ศ. 2548 เรื่อง นมเปรี้ยว หมายความว่า ผลิตภัณฑ์นมที่ได้จากนมจากสัตว์ที่นำมาบริโภคได้ หรือส่วนประกอบของนมที่ผ่านการทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคแล้ว หมักด้วยจุลินทรีย์ที่ไม่ทำให้เกิดโรคหรืออันตราย ทำให้ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น และอาจปรุงแต่งกลิ่น รส สี หรือเติมวัตถุเจือปนอาหาร สารอาหาร หรือส่วนประกอบอื่นที่มิใช่นมด้วยก็ได้ ทั้งนี้ให้รวมถึงนมเปรี้ยวที่นำมาผ่านการฆ่าเชื้อ การแช่แข็ง หรือการทำให้แห้งด้วย นมเปรี้ยวแบ่งตามชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก ดังนี้

1. โยเกิร์ต (Yoghurt) หมายถึง นมเปรี้ยวที่ได้จากการหมักด้วยแบคทีเรีย สเตรปโทค็อกคัส เทอร์โมฟิลัส (*Streptococcus thermophilus*) และแลกโทบาซิลลัส เดลบรึคคิไอ ซับสปีชีส์บัลแก-ริคัส (*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*) หรือแลกโทบาซิลลัส ซับสปีชีส์อื่น

2. นมเปรี้ยวแอซิโดฟิลัส (Acidophilus Milk) หมายถึง นมเปรี้ยวที่ได้จากการหมักด้วยแบคทีเรียแลกโทบาซิลลัส แอซิโดฟิลัส (*Lactobacillus acidophilus*)

3. นมเปรี้ยวเคเฟอร์ (Kefir) หมายถึง นมเปรี้ยวที่ได้จากการหมักด้วยแบคทีเรียและยีสต์ ได้แก่ แอซีโทแบกเตอร์ (*Acetobacter*) และไคลเวอโรไมซีส มาร์เซียนัส (*Kluyveromyces marxianus*) และแล็กโทบาซิลลัส เคฟิไร (*Lactobacillus kefiri*) หรือแล็กโทค็อกคัส (*Lactococcus*) และแซ็กคาโรไมซีส ยูนิสปอรัส (*Saccharomyces unisporus*) หรือแซ็กคาโรไมซีส เซรีวิซิอี (Saccharomyces cerevisiae) หรือแซ็กคาโรไมซีส แอซิกูอัส (*Saccharomyces exiguus*)

4. นมเปรี้ยวคูมิส (Kumys) หมายถึง นมเปรี้ยวที่ได้จากการหมักด้วยแบคทีเรียและยีสต์ ได้แก่ แลกโทบาซิลลัส เดลบรึคคิไอ ซับสปีชีส์ บัลแกริคัส (*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*) และไคลเวอโรไมซีส มาร์เซียนัส (*Kluyveromyces marxianus*)

5. นมเปรี้ยวที่ได้จากการหมักด้วยจุลินทรีย์ชนิดที่แตกต่างหรือนอกเหนือจากที่กำหนดไว้ใน (1) - (4) เช่น แลกโทบาซิลลัส คาเซอิ ซับสปีชีส์ ชิโรต้า (*Lactobacillus casei subsp. shirota*) บิฟิโดแบคทีเรียม (*Bifidobacterium*)

โยเกิร์ต เป็นผลิตภัณฑ์นมที่จัดอยู่ในกลุ่มนมเปรี้ยว หมายถึง นมเปรี้ยวที่ได้จากการหมักด้วยแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติก (Lactic acid bacteria) ได้แก่ สเตรปโทค็อกคัสเทอร์โมฟิลัส (*Streptococcus thermophilus*) และแลกโทบาซิลลัส เดลบริคคิไอ ซับสปีชีส์ บัลแกริคัส *(Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus)* หรือแลกโทบาซิลลัส ซับสปีชีส์อื่น เชื้อสองชนิดนี้จะใช้น้ำตาลแล็กโทสในนมเป็นแหล่งพลังงาน และสร้างกรดแลกติกรวมทั้งสารที่ให้กลิ่นรสออกมา กรดแลกติกที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เคซีนซึ่งเป็นโปรตีนหลักในนม สูญเสียสภาพธรรมชาติ (Protein denaturation) ทำให้เกิดการรวมตัวกัน และตกตะกอนลงบางส่วน นอกจากนี้อนุภาคเคซีนบางส่วนยังไปเกิดปฏิกิริยากับแอลฟา แลกทาลบูมิน (Aalpha - lactalbumin) และ บีตา แลกโทโกลบูลิน (Beta-lactoglobulin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่ในหางนมทำให้เกิดเจลซึ่งเป็นร่างแหองค์ประกอบที่มีความคงตัวและเชื้อสองชนิดนี้เกื้อกูลกัน การใช้เชื้อสองชนิดร่วมกันจะผลิตโยเกิร์ตได้รวดเร็ว มีกลิ่น และรสชาติดีกว่าใช้เชื้อชนิดใดชนิดหนึ่ง โดยมีรายละเอียดของเชื้อจุลินทรีย์ ดังนี้

- *Streptococcus thermophilus* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในสภาพที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำหรือไม่มีออกซิเจน โดยจะเปลี่ยนน้ำตาลแล็กโทสเป็นกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดแลคติก และยังสร้างกรดฟอร์มิก (Formic acid) ทำให้ ค่า pH ลดลง ประมาณ 5.5 ซึ่งส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียในกลุ่ม Lactobacillus
- *Lactobacillus bulgaricus* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 40 - 45 องศาเซลเซียส สามารถเปลี่ยนกรดแลกติกเป็นแอซีทาลดีไฮด์ (Acetaldehyde) ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีรสของโยเกิร์ต และสร้างเอนไซม์โปรติเอส (Protease) ซึ่งจะย่อยโปรตีนในนมให้ได้กรดอะมิโน (Amino acid) โดยเฉพาะฮีสทิดีน (Histidine) ซึ่งเป็นกรดแอมิโนที่กระตุ้นการเจริญของ *Streptococcus thermophilus*

- แบคทีเรียอื่นที่อาจใช้ในการผลิตโยเกิร์ต ได้แก่ ไบฟิโดแบคทีเรียม (Bifidobacterium) แลกโทบาซิลลัส แอซิโดฟิลัส (*Lactobacillus acidophilus*) ในโยเกิร์ตจะยังมีจุลินทรีย์ใช้ในการหมักหมักที่มีชีวิตคงเหลืออยู่

นมเปรี้ยวที่มีการผลิตกันโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ชนิด คือ

1. นมเปรี้ยวรสธรรมชาติ (Plain yoghurt) เป็นนมเปรี้ยวที่ไม่มีการปรุงแต่งรส กลิ่น และรสชาติที่ได้เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ (Starter) ที่เติมลงไปจะมีความเปรี้ยว เมื่อวัดค่ากรดแลคติกประมาณร้อยละ 0.85 - 0.90 วัดค่า pH ได้ประมาณ 4.3 - 4.5 จุลินทรีย์ที่ใช้เติมลงไปประกอบด้วย *Stretococcus salivarius ssp. Thermophilus* เชื้อกลุ่ม Thermophilic และ *Lactobacillus delbrueckii spp. Bulgaricus* เชื้อกลุ่ม Mesophilic ผสมกัน เชื้อจุลินทรียทั้งสองชนิดนี้มีการเจริญแบบพึ่งพาซึ่งกันและกัน โดยเชื้อ • *Streptococcus thermophilus* จะทำการสร้างกรดแลคติก และกรดฟอร์มิก ซึ่งมีคุณสมบัติในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของ *Lactobacillus bulgaricus* ซึ่งจะทำการย่อยสลายโปรตีนในนมกลายเป็นกรดอะมิโน ซึ่งไปกระตุ้นการทำงานของ *Streptococcus thermophilus* ต่อไป จุลินทรีย์ทั้งสองตัวนี้จะสร้างกลิ่น diacetyl และกลิ่น acetaldehyde ให้เกิดขึ้นในนมในการหมักนมเปรี้ยวนั้น สัดส่วนของ *Streptococcus thermophilus*: *Lactobacillus bulgaricus* เท่ากับ 1:1 หรือ 1:2 โยเกิร์ตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ โยเกิร์ตแบบเซ็ท (Set type yoghurt) ซึ่งมีต้นกำเนิดจากประเทศฝรั่งเศส และ โยเกิร์ตแบบคน (Stirred type yoghurt) ซึ่งมีต้นกำเนิดจากเนเธอร์แลนด์ ทั้งสองแบบมีวิธีการแปรรูปที่แตกต่างกัน

2. นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม (Drinking Yoghurt) เป็นนมเปรี้ยวชนิดเหลว ได้จากการนำนมเปรี้ยวรสธรรมชาติมาปรุงแต่งรส โดยการเติมน้ำตาล น้ำผลไม้เข้มข้น และน้ำบางส่วนลงไปในนมเปรี้ยว แล้วผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เติมสีและกลิ่นลงไปก็จะได้นมเปรี้ยวพร้อมดื่มซึ่งจะมีลักษณะเหลวมากกว่านมเปรี้ยวชนิดอื่น

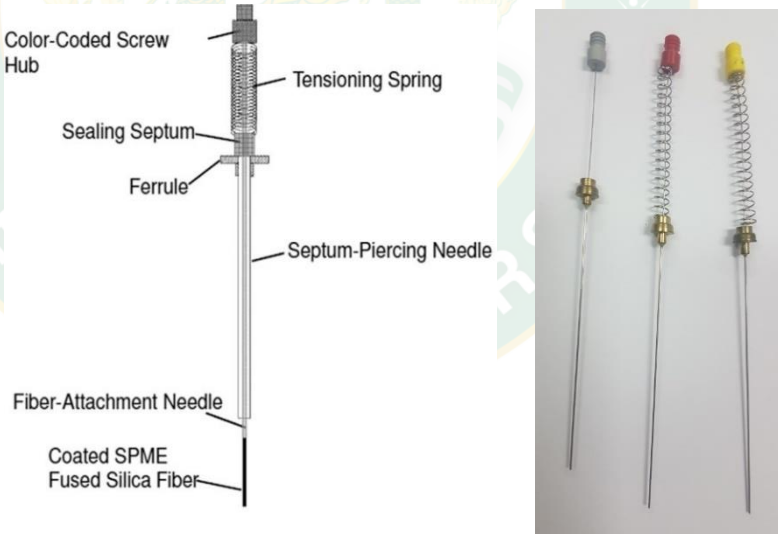
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในนมแพะดิบและผลิตภัณฑ์จากนมแพะ

การสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับไมโคร (Solid Phase Microextraction, SPME)

เทคนิคการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับไมโคร (Solid Phase Microextraction, SPME) ถูกพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกใน ค.ศ. 1989 ที่ University of Waterloo (Ontario, Canada) โดย Professor Pawliszyn และคณะ จากนั้นบริษัท Supelco (Bellefonte, PA) ได้นำไปผลิตและจำหน่ายใน ค.ศ. 1993 เป็นเทคนิคในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์สารในระดับปริมาณน้อย (Trace analysis) สำหรับเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC) เป็นเทคนิคที่ง่ายต่อการใช้งานไม่ต้องใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ (Solventless) ในการสกัดสารตัวอย่าง ทำให้เทคนิค SPME ได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้แพร่หลายในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี

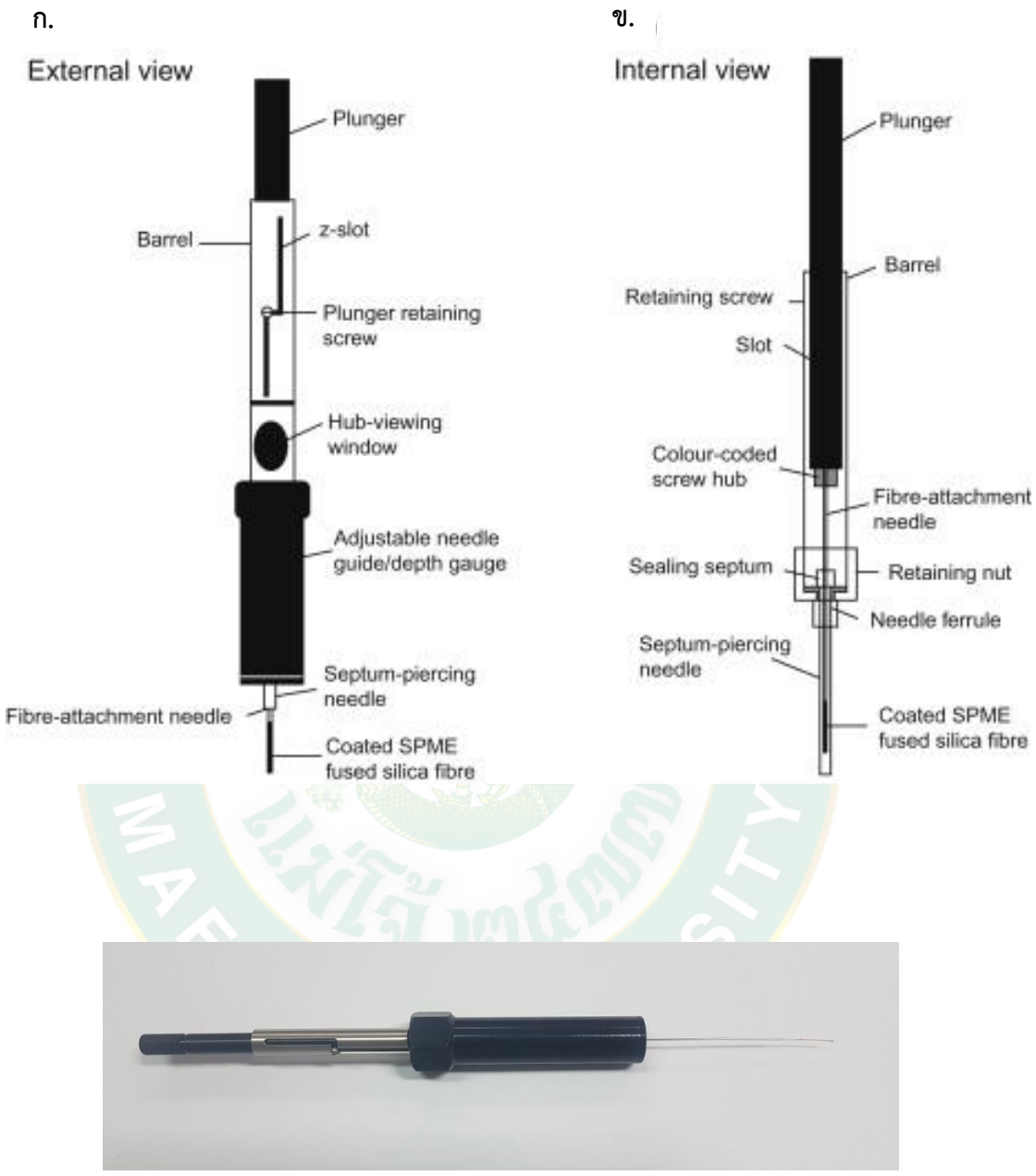
Solid phase microextraction ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่

1. Solid phase microextraction (SPME) fiber ดังภาพที่ 2
2. Solid phase microextraction (SPME) hoder ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ไฟเบอร์ของการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับไมโคร (SPME)

(Paul, 2017)



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับไมโคร
แสดงภาพ (ก) ส่วนประกอบภายนอก และ(ข) ส่วนประกอบภายใน (Shirey, 2012)

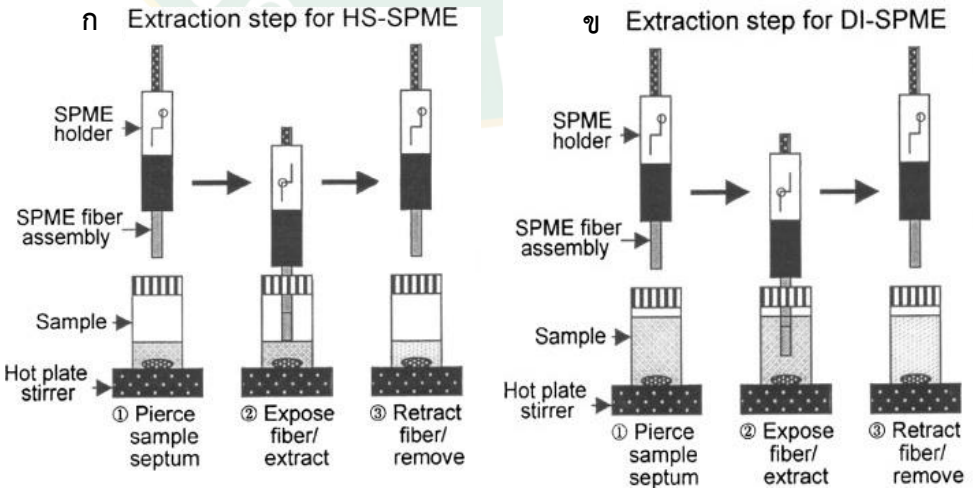
หลักการของการเตรียมตัวอย่างโดยเทคนิค SPME

สารที่สนใจถูกดูดซับที่ไมโครไฟเบอร์ (Microfiber) SPME ทำจาก fused silica เคลือบด้วยฟิล์มบาง ๆ ประมาณ 7 - 100 ไมครอน เป็นชนิดเดียวกับวัฏภาคคงที่ในคอลัมน์ของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ สารที่ต้องการสกัดอาจละลายอยู่ในน้ำหรือระเหยอยู่ในช่องว่างเหนือสารละลายและสามารถถูกดูดซับมาอยู่ที่ผิวของไฟเบอร์ได้ 2 วิธี คือ

(1) การจุ่มไฟเบอร์ลงในสารละลายตัวอย่างโดยตรง (Direct immersion technique)

(2) การให้ไฟเบอร์อยู่เหนือสารละลายตัวอย่างหรือตัวอย่างของแข็ง (Headspace technique) ซึ่งบรรจุอยู่ในขวดที่ปิดสนิทด้วยฝาปิดทำด้วยยางกันรั่ว (Rubber septum)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Headspace- Solid phase microextraction (HS-SPME) และเทคนิค Direct- Solid phase microextraction (DI-SPME) เริ่มจากการนำสารตัวอย่างใส่ลงในขวดปิดฝา นำไปให้ความร้อนโดยมีการควบคุมความร้อนของตัวอย่างให้คงที่ เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้วเสียบ SPME ลงในขวดโดยเทคนิค HS-SPME ให้ปลายแข็มอยู่เหนือตัวอย่าง ส่วนเทคนิค DI-SPME ให้ปลายเข็มจุ่มอยู่ในตัวอย่าง กดปุ่มที่ SPME holder ลง เพื่อให้ SPME fiber assembly คาย SPME fiber เพื่อดูดซับสารระเหยของตัวอย่าง ดูดซับสารระเหยตามเวลาที่เหมาะสมซึ่งขึ้นกับชนิดของตัวอย่าง เมื่อครบตามเวลาให้ดึงปุ้มที่ SPME holder ขึ้นเพื่อเก็บ SPME fiber แล้วดึงออกจากขวด แล้วนำไปตรวจวัดโดยการ เสียบเข็มเข้าสู่ส่วนฉีดสารของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ เปิด SPME fiber พร้อมกดเริ่มการตรวจวิเคราะห์ที่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที ปิด fiber แล้วดึง SPME ออกจากเครื่อง ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดนี้สามารถอธิบายดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยเทคนิคการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับไมโคร เทคนิค HS-SPME (ก) และเทคนิค DI-SPME (ข) (Vas. & Vekey, 2004).

เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี (Gas Chromatography - Mass Spectrometry, GC-MS)

เทคนิค GC-MS เป็นเทคนิคที่สามารถทำนายชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารได้อย่างค่อนข้างแม่นยำโดยอาศัยการเปรียบเทียบ Fingerprint ของเลขมวล (Mass Number) ของสารตัวอย่างนั้น ๆ กับข้อมูลที่มีอยู่ในข้อมูลอ้างอิง (Library) นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) และเชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis) โดยมักใช้กับสารอินทรีย์ที่สามารถระเหยได้ง่าย

GC-MS ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (Gas Chromatograph, GC) และส่วนของเครื่องแมสสเปกโทรมิเตอร์ (Mass Spectrometer, MS)

แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph)

มีเทคนิคในการวิเคราะห์ 2 เทคนิค คือ การใช้เฟสอยู่กับที่เป็นของแข็ง เรียกวา “Gas-solid chromatography” (GSC) และการใช้เฟสอยู่กับที่เป็นของเหลว เรียกว่า “Gas-liquid chromatography” (GLC) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้มีเฟสเคลื่อนที่ได้เป็นแก๊ส หลักการของแก๊สโครมาโทกราฟี คือ เฟสเคลื่อนที่ต้องเป็นแก๊ส และสารตัวอย่างที่ใส่ลงในคอลัมนตองมีสภาพเป็นไอตั้งแต่บริเวณสวนบนสุดของคอลัมน การชะสารตัวอย่างออกจากคอลัมนเกิดจากการพาของเฟสเคลื่อนที่ซึ่งเรียกว่าตัวพา (carrier) สำหรับตัวพาที่ใช้ตองเป็นแก๊สเฉื่อย เชน ไนโตรเจน หรือฮีเลียม อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของสารตัวอย่างแต่ละชนิดในคอลัมนขึ้นอยูกับการละลายของสารตัวอย่างนั้น ๆ ในเฟสอยู่กับที่หรือขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ของการกระจาย

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

1. แก๊สพา (Carrier gases) มีหน้าที่นำแก๊สตัวอย่างจาก จุดฉีดสารตัวอย่าง (Injection port) ผ่านเข้าสู่คอลัมน์และไปยังส่วนตรวจวัด แก๊สที่ใช้งานกับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ เป็นแก๊สเฉื่อยที่ไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารตัวอย่าง เช่น แก๊สฮีเลียม ไฮโดรเจน หรือไนโตรเจน เป็นต้น แก๊สเหล่านี้ไม่เป็น พิษต่อผู้ทดลอง ในบางกรณีไฮโดรเจนหรือแก๊สอื่นบางตัวก็สามารถใชเป็นแก๊สตัวพาได้ แต่แก๊สไฮโดรเจนใชได้ผลดีที่สุดแต่ไม่ค่อยนิยมใช้เพราะเกิดอันตรายได้ง่าย

โดยแก๊สที่ใช้เป็นแก๊สพาต้องไม่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (Chemically inert) มีการปรับอัตราเร็วของแก๊สพา ทำโดยปรับความดันของแก๊สซึ่งควบคุมด้วยตัวควบคุมความดัน (Pressure regulator) ที่อัตราแรงดันขาเข้า (Inlet pressure) เท่ากับ 10 - 50 psi มีอัตราเร็วของแก๊ส (Volumetric flow) โดยที่มีการใช้ในเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีจะแบ่งเป็นระบบที่ใช้สำหรับ คอลัมน์ชนิดแพ็ค (Packed column) จะใช้อัตราเร็วของแก๊สเท่ากับ 25-150 mL/min และระบบที่ใช้สำหรับคอลัมน์ชนิดคาปิลารี่ (Capillary column) ใช้อัตราเร็วของแก๊สเท่ากับ 1-25 mL/min

2. จุดฉีดสารตัวอย่าง (Injector port) เป็นส่วนที่ใช้ในการฉีดสารตัวอย่างเข้าคอลัมน์ โดยทั่วไปส่วนที่ฉีดสารตัวอย่าง (Inlet) มักจะมีตัวให้ความร้อน (Heater) ติดตั้งอยู่ด้วย เพื่อทำให้สารตัวอย่างกลายเป็นไอ การเลือกใช้งานพิจารณาว่าจะใช้ Inlet แบบใดนั้นขึ้นอยู่กับสารตัวอย่าง หากสารตัวอย่างเป็นแก๊สมักจะฉีดตัวอย่างเข้าไปด้วย Gas sampling valve หากสารตัวอย่างเป็นของเหลวโดยมากจะใช้ Micro syringe ดูดสารตัวอย่างขึ้นมาตามปริมาตรที่ต้องการแล้วฉีดผ่าน Silicone septum ที่ Injection port ไปยังปลายของคอลัมน์

3. คอลัมน์ (Column) เป็นส่วนที่ใช้แยกสารตัวอย่าง คอลัมน์ที่ใช้กันทั่วไปของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟนั้นมีอยู่ 2 ประเภท คือ คอลัมน์ชนิดแพ็ค และคอลัมน์ชนิดคาปิลารี่ การเลือกใช้คอลัมน์แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารผสม ไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจน แต่สามารถพิจารณาเลือกจากบริษัทผู้ผลิตคอลัมน์ออกมาจำหน่าย และค้นคว้าจากงานวิจัยในวารสารด้านโครมาโทกราฟี

คอลัมน์ที่ใช้ในแก๊สโครมาโทกราฟมี 2 ชนิด ได้แก่

1. คอลัมน์ชนิดแพ็ค คอลัมน์ชนิดนี้มีทั้งแบบที่ทำด้วยแก้วและทำด้วยโลหะ มีลักษณะเป็นหลอดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 1 ถึง 8 มิลลิเมตร มีความยาวตั้งแต่ 2 ถึง 20 เมตร ถ้ามีความยาวมาก ๆ หลอดคอลัมน์จะถูกขดเป็นวงกลม (Coil) เพื่อใหบรรจุลงในเตา (Oven) ได้

2. คอลัมน์ชนิดคาปิลารี่ คอลัมนชนิดนี้ใช้ได้เฉพาะการวิเคราะห์แบบแก๊ส - ลิควิด โครมาโท-กราฟี (Gas-liquid chromatography, GLC) เท่านั้น ความยาวของคอลัมน์มีค่ามากตั้งแต่ 10 ถึง 100 เมตร หรือมากกว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 0.2 ถึง 0.5 มิลลิเมตร คอลัมน์ชนิดคาปิลารี่ส่วนใหญ่หรือเกือบทั้งหมดทำด้วยหลอดแก้ว เหตุผลที่ไม่ใช้โลหะเพราะโลหะสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีไดหลายชนิด และเมื่อภายในคอลัมน์ต้องใชอุณหภูมิสูงอาจทำให้โลหะเกิดปฏิกิริยา

ในคอลัมน์ไดตามปกติอุณหภูมิของคอลัมน์ต้องสูงกว่าจุดเดือดของสารตัวอย่าง 10 ถึง 25 องศาเซลเซียส การใช้คาปิลารี่คอลัมนในการทำแก๊ส - ลิควิด โครมาโทกราฟีไม่ต้องใช้ของแข็งเป็นตัวรับรอง (Solid Support) วิธีเตรียมคอลัมน์ทำได้โดยใช้ของเหลวซึ่งเป็นเฟสอยู่กับที่ใส่ในคาปิลารี่คอลัมน์ ของเหลวนั้นจะฉาบที่ผิวของคอลัมน์เป็นฟิลม์บาง ๆ ที่มีความหนาน้อยกวา 1 ไมโครเมตร ความหนาของแผ่นฟิล์มของเหลวนั้นจะมีผลต่อการแยกด้วยคอลัมน์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการแยกสูงกว่าคอลัมน์ชนิดแพ็คถึง 100 เท่า และสามารถใช้กับขนาดของสารตัวอย่างที่น้อยกว่า 0.01 ไมโครลิตร ความจุของคอลัมน์คาปิลารี่สามารถเพิ่มขึ้นได้โดยฉาบผิวของคอลัมน์แก้วด้วยวัสดุที่มีรูพรุน เช่น แกรไฟต์โลหะออกไซด์ และซิลิเกต เสียก่อนให้มีลักษณะเป็นแผ่นบางซึ่งจะทำให้พื้นที่ผิวที่จะให้ของเหลวมาฉาบอยูมีมากขึ้นเป็นการเพิ่มความจุของคอลัมน์ การใช้คอลัมน์คาปิลารี่พบวาผลของการลดลงของความดัน (Pressure drop) เกิดขึ้นน้อยมากจนตัดทิ้งได้ ค่าอัตราส่วน mSV/V ของคอลัมน์ชนิดนี้มีค่าในช่วง 100 ถึง 300 ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

4. ส่วนตรวจวัด (Detector) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดสารเชิงเดี่ยวที่ถูกแยกออกมาจากคอลัมน์แล้วส่งสัญญาณไฟฟ้า ก่อนส่งไปยังตัวประมวลผลยังระบบประมวลผล เพื่อจำแนกประเภทของส่วนตรวจวัด โดยจะทำการเขียนเป็นความสัมพันธ์กับเวลาได้ออกมาเป็นโครมาโทแกรม ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ชนิดแมสสเปกโทรมิเตอร์ ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ชนิด แมสสเปกโทรมิเตอร์

แมสสเปกโทรเมตรี (Mass spectrometry)

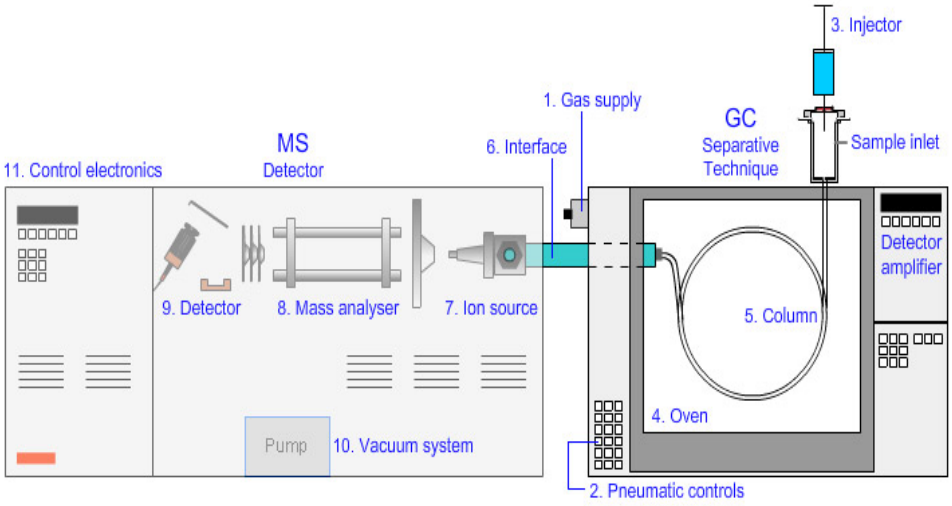
เทคนิคแมสสเปกโทรเมตรี (Mass spectrometry) มีหลักการวิเคราะห์ โดยการทำให้สารเคมีตัวอย่างเกิดไอออน และจำแนกด้วยค่ามวลต่อประจุ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเราสามารถแยกส่วนประกอบของเครื่องแมสสเปกโทรมิเตอร์ได้เป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ แหล่งกำเนิดไอออน (Ion source) ส่วนวิเคราะห์มวล (Mass analyzer) และ ส่วนตรวจวิเคราะห์ (Detector) รายละเอียดดังนี้

1. แหล่งกำเนิดไอออน ทำหน้าที่ ให้สารแตกตัวเป็นไอออน ในส่วนนี้ระบบจะเป็นสุญญากาศ มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้จะเป็นชนิดอิเล็กตรอนกระแทก (Electron impact, EI) ซึ่งเป็นชนิดที่ปล่อยอิเล็กตรอนออกมาด้วยพลังงานคงที่ประมาณ 70 อิเล็กตรอนโวลต์ (electron volt, eV) และอิเล็กตรอนเหล่านี้จะไปชนกับกลุ่มของแก๊สตัวอย่างที่นำเข้ามาเกิดเป็นกระบวนการการแตกตัวเป็นไออ (Ionization) และการการขาดออกเป็นท่อน (Fragmentation)

2. ส่วนวิเคราะห์มวล ทำหน้าที่ แยกความแตกต่างมวลต่อประจุ (m/z) ของไอออนบวก โดยไอออนบวกจะถูกแยกออกจากไอออนลบ โดยศักย์ไฟฟ้าลบก่อนถึงส่วนวิเคราะห์มวล ซึ่งส่วนนี้ประกอบด้วยแท่งแม่เหล็ก โดยไอออนที่มี m/z มากจะเบี่ยงเบนในความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) ความต่างศักย์ (V) ได้น้อยกว่าไอออนที่มี m/z น้อย (อรุณรัตน, 2563) แมสสเปกโทรมิเตอร์ทั่วไปจะใช้ส่วนของการวิเคราะห์เป็นแบบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก (Magnetic and electromagnetic field) หรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อทำให้แก๊สที่ต้องการวิเคราะห์เกิดการหักเห และพุ่งตรงไปยังส่วนตรวจวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ใช้เครื่องแมสสเปกโทรมิเตอร์ ที่มีส่วนแยกมวลสารเป็นแบบ Quadrupole mass filter ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่ง 4 อันประกอบกัน พร้อมทั้งมีการให้กระแส Radio frequency (RF) และ Direct current (DC) ในคู่ตรงข้ามของแต่ละแท่ง การวิเคราะห์ในส่วนนี้จะใช้เวลา 4 วินาที ต่อ 1 component โดยการสลับเปลี่ยนพลังงานของ RF และ DC

3. ส่วนตรวจวิเคราะห์ ไอออนที่ออกจากส่วนวิเคราะห์มวลจะถูกวิเคราะห์ที่ส่วนนี้ สำหรับส่วนตรวจวิเคราะห์จะประกอบด้วย 2 ชนิด คือ ชนิดฟาราเดย์เพลท (Faraday plate) และชนิดอิเล็กตรอนมัลติพลายเออร์ (Electron multiplier) ซึ่งหากต้องการวัดแค่ระดับร้อยละหรือต่ำไม่ถึงระดับส่วนในล้านส่วน (ppm) จะใช้เพียงแค่ชนิดฟาราเดย์เพลทเท่านั้น แต่ถ้าต้องการวัดลงไปต่ำถึงระดับส่วนในพันล้านส่วน (ppb) จะต้องใช้ทั้งสองชนิดคู่กัน อย่างไรก็ตาม Electron multiplier เป็นเพียงแค่ตัวขยายสัญญาณเท่านั้น

เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี (ภาพที่ 5) ซึ่งเป็นเทคนิคที่รวม 2 เทคนิค คือ แก๊สโครมาโทกราฟี และแมสสเปกโทรเมตรี สามารถวิเคราะห์พวกสารผสมที่สามารถระเหยได้ในอุณหภูมิไม่สูงนัก โดยที่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟเป็นส่วนที่แยกสารผสมออกจากกัน ส่วนแมสสเปกโทรมิเตอร์เป็นส่วนการวิเคราะห์ชนิดของสารหรือองค์ประกอบของสาร แก๊สโครมาโทกราฟี- แมสสเปกโทรเมตรี จึงเป็นเทคนิคที่ทำได้ทั้งปริมาณวิเคราะห์และคุณภาพวิเคราะห์ นำไปประยุกต์ใช้ในด้านการแพทย์ เภสัชศาสตร์ สิ่งแวดล้อม รวมไปถึงในด้านกฎหมาย



ภาพที่ 5 ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโทรมิเตอร์

(Hussain & Maqbool, 2014)

งานวิจัยด้านนมแพะและการแปรรูปนมแพะ

นมแพะเป็นแหล่งโปรตีนที่มีประโยชน์มากมาย โดย Park (2007) ได้กล่าวในงานวิจัยเรื่อง Impact of goat milk and milk products on human nutrition ไว้ว่า นมแพะและผลิตภัณฑ์เป็นแหล่งโปรตีน ฟอสเฟต และแคลเซียมในชีวิตประจำวันของผู้คนในประเทศกำลังพัฒนา อีกทั้งยังเป็นที่นิยมในประเทศที่พัฒนาแล้วโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภูมิภาคเมดิเตอร์เรเนียน เช่น ฝรั่งเศส อิตาลี สเปน และกรีซ นมแพะแตกต่างจากนมโคหรือนมของมนุษย์เนื่องจากมีความสามารถในการย่อยอาหารที่ทำได้ง่ายกว่า นมแพะมีโปรตีนที่มีขนาดเล็กลงและย่อยง่าย (มี αs1 และ αs2-casein ที่มีขนาดเล็ก) ซึ่งส่งผลดีแก่เด็กโตและใช้ในการรักษาผู้ป่วยที่เป็น malabsorption นมแพะและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิต รวมทั้งเนยแข็งโยเกิร์ตและผลิตภัณฑ์ผงเป็นส่วนสำคัญของอุตสาหกรรมนมในประเทศที่พัฒนาแล้วเพื่อให้ผู้บริโภคที่มีความเชี่ยวชาญมีรสนิยมที่หลากหลายและไม่เหมือนใคร และโดยการสนับสนุนผู้ที่มีปัญหาด้านการแพทย์ เช่น โรคภูมิแพ้และความผิดปกติของระบบทางเดินอาหาร ผลิตภัณฑ์นมทดแทน อีกทั้งนมแพะยังย่อยง่ายและรวดเร็วเช่นเดียวกับนมแม่ โดยคุณภาพโปรตีนในนมโค นมแพะ และนมแม่ไม่แตกต่างกัน แต่จลนพลศาสตร์ของการย่อยโปรตีนของนมแพะจะเทียบเคียงได้กับ นมแม่ มากกว่า นมโค (Maathuis, Havenaar & Bellmann, 2017)

แม้ว่านมแพะจะมีประโยชน์มากมาย แต่ก็ยังเป็นการบริโภคเฉพาะบางกลุ่มเท่านั้น ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยังไม่ให้การยอมรับเท่าที่ควร สาเหตุใหญ่เกิดจากปัญหาที่ว่า นมแพะมีกลิ่นเฉพาะตัวที่ผู้บริโภคไม่พึงประสงค์ทั้งที่เกิดจากคุณสมบัติของนมแพะเองและเกิดจากสุขลักษณะของการเลี้ยงดู (Skjevdal, 1979) และยังมีรายงานว่าสาร 4 เอทิลออกทานอล (4-Ethyloctanal) ซึ่งเกิดจากกรดไขมัน ชนิดกรด4 เอทิลออกทาโนอิก (4-Ethyloctanoic acid) ซึ่งเป็นกลิ่นฮอร์โมนในแพะ และกลิ่นที่พบอาจเกิดกรดไขมันชนิดอื่นได้อีกด้วย (Waldron, 2014) อีกทั้งในกลิ่นของเนื้อแพะและเนื้อแกะยังตรวจพบสาร 4-Methyloctanoic acid เมื่อตรวจวัดด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี อีกด้วย (Wong, Johnson & Nixon, 1975) การศึกษากรดไขมันมันหรือสารให้กลิ่นจึงมักทำการศึกษาโดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี เช่นการศึกษาของ Kamatou & Viljoena (2017) ที่ได้ทำการเปรียบเทียบ fatty acid methyl esters ในผลปาล์มและน้ำมันปาล์มโดยเทคนิค Two-dimensional gas chromatography - time-of-flight - mass spectrometry (GCxGC–ToF–MS) และ เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี

นอกจากนี้ กลิ่นในนมแพะยังอาจเกิดจากการปนเปื้อนของกลิ่นจากอาหารของแพะ หรือสิ่งแวดล้อมได้ ทำให้นมแพะแต่ละแหล่งให้กลิ่นที่แตกต่างกัน และได้มีการทำการทดลองกำจัดกลิ่นในนมแพะโดยวิธีการต่าง ๆ เช่น งานวิจัยของพัชรินทร์ ภักดีฉนวน และเนตรนภิส อ๋องสุวรรณ (2009) เรื่องนมแพะภาคใต้ตอนล่าง : การลดกลิ่นสาบนมแพะ ซึ่งได้ศึกษาผลการดูดซับกลิ่นสาบในนมแพะของถ่านกัมมันต์ขนาด >P8 mesh (เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 3.98 ± 1.27 มิลลิเมตร) และขนาด P8/R20 mesh (เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.63 ± 0.43 มิลลิเมตร) ปริมาตร 1 ลิตรและ 2 ลิตร และดูดอากาศออกโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ พบว่า การใช้ถ่านกัมมันต์ทั้งสองขนาดมีการสูญเสียสารอาหารบางส่วน โดยเฉพาะโปรตีนและไขมัน โดยถ่านกัมมันต์ขนาด P8/R20 mesh ปริมาตร 1 ลิตร มีการสูญเสียโปรตีนและไขมันในปริมาณร้อยละ 12.01 และ 11.82 ตามลำดับ และได้รับคะแนนความนิยมทางประสาทสัมผัสมากที่สุด เนื่องจากมีกลิ่นสาบลดลงอย่างชัดเจน และพบการลดลงขององค์ประกอบทางเคมีของกรด Ethyl octanoic ที่ระดับร้อยละ 65 - 88 แต่วิธีนี้อาจไม่เหมาะสมกับการใช้งานจริงเนื่องจากพบการปนเปื้อนของผงถ่านกัมมันต์ในนม และเครื่องมือที่ใช้ต้องมีการใช้ปั๊มสุญญากาศและมีการควบคุมอัตราการไหลจึงอาจไม่เหมาะกับผู้ประกอบการรายย่อย งานวิจัยฉบับนี้จึงได้เลือกศึกษาการลดกลิ่นในนมแพะโดยวิธีการแปรรูปที่ได้มีการทดลองแล้วว่ามีความเป็นไปได้ในการลดหรือเปลี่ยนแปลงกลิ่นของนมแพะดังงานวิจัยของ Siefarth & Buettne (2014) ซึ่งได้ศึกษาเรื่องผลของฤดูกาลและการให้ความร้อนต่อกลิ่นของนมแพะ การประเมินทางประสาทสัมผัสของ

มนุษย์และเทคนิค Gas chromatography – olfactometry (GC-O) โดยศึกษาสารที่ระเหยได้ในนมแพะดิบจากฤดูกาลที่แตกต่างกัน และจากการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ช่วงฤดูหนาวกับฤดูร้อนสารที่ระเหยได้ในนมแพะดิบมีความแตกต่างกัน โดยในช่วงฤดูร้อน นมแพะดิบมีกลิ่นมากกว่านมแพะดิบในช่วงฤดูหนาว และจากการเปรียบเทียบวิธีฆ่าเชื้อโดยการพาสเจอร์ไรส์ UHT และสเตอริไลส์ พบว่า วิธีพาสเจอร์ไรส์ และ UHT มีกลิ่นของแพะมากกว่าวิธีการสเตอริไลส์ ซึ่งจะมีกลิ่นที่คล้ายคาราเมลมากกว่า

วิธีที่ใช้ในการศึกษากลิ่น นอกจากอาศัยการดมแล้วยังสามารถศึกษาสารประกอบที่ให้กลิ่นซึ่งสารประกอบเหล่านี้เป็นสารที่สามารถระเหยได้ จึงสามารถศึกษาโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี ดังงานวิจัยของ Poveda, Sanchez-Palomo, Perez-Coello & Cabezas (2008) ซึ่งได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในเนยแข็งสเปน พบว่า สารประกอบระเหยได้ของเนยแข็งจากแพะชนิดกึ่งแข็งจากหลายภูมิภาคของประเทศสเปน โดยการสกัดด้วยไอน้ำ (Simultaneous distillation-extraction, SDE) และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี พบสารประกอบระเหยได้ประมาณ 50 ชนิด โดยสารที่ทำให้มีกลิ่นเนยแข็งเป็นโมเลกุลของสายกรดไขมันสั้น ๆ โดยเฉพาะกรด 3-Methylbutanoic การวิเคราะห์ส่วนประกอบของสารประกอบระเหย โดยการวิเคราะห์เนยแข็งสี่ชิ้นจากส่วนที่เหลือ โดยพิจารณาปริมาณที่แตกต่างกันในสารระเหยบางชนิด ได้แก่ สาร 2-Phenylethanol, Decanoic acid ethyl ester, 2-Pentadecanone, Octanoic acid, Tetradecanoic acid, 3-Hydroxy-2-butanone, 2-Heptanone, 2-Nonanone และสาร 2-heptanol พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางประสาทสัมผัสกับสารระเหยที่เฉพาะเจาะจง ได้แก่ กรดไขมันเส้นใยปานกลาง เช่น สาร Octanoic, Decanoic และ Tetradecanoic acid เป็นต้น มีความสัมพันธ์ทางบวก ($P < 0.05$) กับกลิ่นสัตว์

รายงานการวิจัยของ Whrtstine, Yugeer, Avsar & Drake (2003) ได้ศึกษากลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ของเนยแข็งจากนมแพะ นอกจากนี้รายงานผลการวิจัยของ Sípalova &. Kracmar (2011) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในนมแพะที่เลี้ยงด้วยใบโหระพา ซึ่งพบว่านมแพะที่เลี้ยงด้วยใบโหระพาพบสารสำคัญของใบโหระพาในน้ำนมด้วย สำหรับงานวิจัยของ Di Cagno et al.(2007) ทำการศึกษาเปรียบเทียบเนยแข็งนมแพะดิบสี่ชนิด ได้แก่ Flor di Capra (FC), Caprino di Cavalese (CC), Caprino di Valsassina (CV) และ Capritilla (C) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางจุลชีววิทยา ชีวเคมี สารระเหยได้ และลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่าจุลินทรีย์ในเนยแข็งมีค่าเท่ากับ 7.98-8.51 log10 cfu/g มีองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่าย 72 ชนิด โดยการสกัดด้วยไอน้ำ แล้ววัด

ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี พบว่ากรดไขมันอิสระและเอสเทอร์มีความแตกต่างเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ และยังมีการใช้เทคนิคการสกัดด้วย วัฏภาคของแข็งระดับไมโคร (SPME) ร่วมกับเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี ในการตรวจวิเคราะห์สารระเหยซึ่งทำให้พบสารระเหยง่ายในน้ำนมหลายชนิดดังการศึกษาของ Cozzolino et al.(2014) และ Castro, Natera, Durn & Barroso (2008)

การแปรรูปนมแพะให้เป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ก็เป็นรูปแบบที่ผู้บริโภคให้การยอมรับกับนมแพะมาก Guowei Shu และคณะ (2016) ได้ทำการวิจัยเรื่อง Effect of inoculum and temperature on the fermentation of goat yogurt พบว่าที่ การทำโยเกิร์ตโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ชนิด *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* โดยเตรียมจากเชื้อจุลินทรีย์ผงให้ได้ความเข้มข้นร้อยละ 3 และใช้อุณหภูมิในการหมักที่ 43 องศาเซลเซียส ส่งผลให้กลิ่นและรสชาติของโยเกิร์ตจากนมแพะเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภคมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Avila, Garde, Garcia, Medina & Nunez (2006) ซึ่งศึกษาผลของการใช้อุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรส์และการใช้เชื้อจุลินทรีย์ในการแปรรูปเนยแข็ง Hispanico ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี พบว่า พาสเจอร์ไรส์และการใช้เชื้อจุลินทรีย์ให้สารระเหยมีกลิ่นที่แตกต่างกัน และผู้บริโภคยอมรับแตกต่างกัน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีจุดประสงค์ศึกษากระบวนการในการแปรรูปนมแพะที่มีกลิ่นมากให้เป็นโยเกิร์ตที่ผู้บริโภคให้การยอมรับ

ตารางที่ 3 เทคนิคและผลการตรวจวิเคราะห์สารระเหยและกรดไขมันในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี	เรื่อง	ตัวอย่าง	เทคนิค	สารที่ตรวจพบ
2003	Identification and quantification of character aroma components in fresh chevre-style goat cheese	เนยแข็งนมแพะแบบ fresh chevre-	gas chromatography-olfactometry (GC-O).	ตรวจพบ 82 สาร โดยเป็นสารกลุ่มคีโตน กรด แอลกอฮอล์ และสารที่ระบุชนิดไม่ได้
2005	Effect of high-pressure treatment and a bacteriocin-producing lactic culture on the odor and aroma of Hispanic cheese: correlation of volatile compounds and sensory analysis	เนยแข็ง Hispanic	gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS).	ตรวจพบ 41 สาร โดยเป็นสารกลุ่มคีโตน กรด และแอลกอฮอล์
2014	The aroma of goat milk: seasonal effects and changes through heat treatment	- นมแพะดิบ - นมแพะพาสเจอร์ไรส์ - นมแพะ UHT - นมแพะสเตอริไลส์	gas chromatography-olfactometry (GC-O).	ตรวจพบ 66 สาร โดยเป็นสารกลุ่มคีโตน กรด แอลกอฮอล์ และสารที่ระบุชนิดไม่ได้
2017	Comparison of fatty acid methyl esters of palm and palmist oils determined by GCxGC–ToF–MS and GC–MS/FID	ปาล์ม และน้ำมันปาล์ม	GCxGC–ToF–MS and GC–MS/FID	ตรวจพบ 18สาร โดยเป็นสารกลุ่ม fatty acid methyl esters และสารที่ระบุชนิดไม่ได้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

นมแพะมีประโยชน์มากมาย แต่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยังไม่ให้การยอมรับเท่าที่ควร สาเหตุใหญ่เกิดจากปัญหานมแพะมีกลิ่นเฉพาะตัวที่ผู้บริโภคไม่พึงประสงค์ ทั้งที่เกิดจากคุณสมบัติของนมแพะเองและเกิดจากสุขลักษณะของการเลี้ยงดู อีกทั้งกระบวนการแปรรูปยังส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายที่มีอยู่ในนมแพะให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยจะศึกษาทั้งในนมแพะชนิดที่มีกลิ่นมากและนมแพะที่มีกลิ่นปกติ รวมถึงนมแพะที่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นมแพะพาสเจอร์ไร์สและโยเกิร์ตนมแพะโดยจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะและผลิตภัณฑ์นมแพะ และการยอมรับของผู้บริโภคเมื่อทำการแปรรูปโดยวิธีที่แตกต่างกัน โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาองค์ประกอบหลักของนมแพะดิบ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน น้ำตาลแล็กโทส เนื้อนมทั้งหมด ความหนาแน่น และความเป็นกรด-เบส ทั้งนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับด้วย SPME ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยได้ในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติด้วยเทคนิค SPME-GC-MS โดยสภาวะที่ศึกษามีดังนี้

2.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิในการดูดซับสารด้วย SPME เป็นเวลา 60 นาที ใน 4 ตัวอย่าง ได้แก่

ตัวอย่างที่ 1 นมแพะดิบมีกลิ่นปกติดูดซับที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่ 2 นมแพะดิบมีกลิ่นปกติดูดซับที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่ 3 นมแพะดิบมีกลิ่นมากดูดซับที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่ 4 นมแพะดิบมีกลิ่นมากดูดซับที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

2.2 เปรียบเทียบเวลาในการดูดซับสารในตัวอย่างนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากโดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมจากข้อ 2.1 ใน 4 ตัวอย่าง ได้แก่

ตัวอย่างที่ 1 นมแพะดิบมีกลิ่นปกติดูดซับด้วย SPME เป็นเวลา 60 นาที

ตัวอย่างที่ 2 นมแพะดิบมีกลิ่นมากดูดซับด้วย SPME เป็นเวลา 30 นาที

ตัวอย่างที่ 3 นมแพะดิบมีกลิ่นมากดูดซับด้วย SPME เป็นเวลา 45 นาที

ตัวอย่างที่ 4 นมแพะดิบมีกลิ่นมากดูดซับด้วย SPME เป็นเวลา 60 นาที

3. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยได้ในตัวอย่างนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติโดยใช้สภาวะในการดูดซับด้วย SPME โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 2 ใน 2 ตัวอย่าง โดยสภาวะที่ศึกษามีดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยของนมแพะดิบมีกลิ่นปกติ

ตัวอย่างที่ 2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยของนมแพะดิบมีกลิ่นมาก

4. ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแปรรูปนมแพะพาสเจอร์ไรส์ เป็นเวลา 5 นาที ใน 4 ตัวอย่าง โดยสภาวะที่ศึกษามีดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 นมแพะมีกลิ่นปกติพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่ 2 นมแพะมีกลิ่นปกติพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่ 3 นมแพะมีกลิ่นมากพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่ 4 นมแพะมีกลิ่นมากพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

5. ศึกษาชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เหมาะสมในการแปรรูปโยเกิร์ตนมแพะจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก ให้เป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต และศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคในโยเกิร์ตจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก 4 ตัวอย่าง โดยสภาวะที่ศึกษามีดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABT-5 หมักเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 2 ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABT-5 หมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 3 ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABY-3 หมักเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 4 ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABY-3 หมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

6. วิเคราะห์ เปรียบเทียบ แปรผล สรุปผลการวิจัย และเผยแพร่ โดยค่านำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

เครื่องแก้ว (Glassware)

1. บีกเกอร์	ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
2. ปิเปต	ขนาด 10 มิลลิลิตร
3. กระบอกตวง	ขนาด 10 และ 25 มิลลิลิตร
4. ขวดใส่สารพร้อมฝาปิด	ขนาด 25 มิลลิลิตร
5. หลอดหยด	

เครื่องมือ (Equipment) และอุปกรณ์ (Lab ware)

เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับพาสเจอร์ไรส์นมแพะและการแปรรูปโยเกิร์ต

1. เครื่องวัดอุณหภูมิ Hanna, Romania
2. ชุดสำหรับพาสเจอร์ไรส์นม
3. เครื่องโฮโมจิไนส์เซอร์นม
4. ชุด Cooling bath สำหรับลดอุณหภูมินม
5. บรรจุภัณฑ์สำหรับใส่นมที่ฆ่าเชื้อแล้ว
6. ตู้เย็น 0 – 4 องศาเซลเซียส
7. ถังบรรจุนม
8. ตู้หมักควบคุมอุณหภูมิ

เครื่องมือสำหรับตรวจวิเคราะห์

1. อ่างควบคุมอุณหภูมิ Memmert รุ่น WNB14
2. เครื่องวัดค่าองค์ประกอบนม (Milk analyzer) Funke-gerber รุ่น Lactostar
3. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส Consort รุ่น C5010
4. เครื่องกวนชนิดให้ความร้อน พร้อมเม็ดกวนสาร Velp รุ่น ARE
5. ชุด Solid phase microextraction (SPME) ชนิด DVB/CAR/PDMS พร้อม Holder Sigma-Aldrich Supelco
6. เทอร์โมมิเตอร์ Fluke รุ่น 52-2
7. เครื่อง Gas Chromatograph - Mass Spectrometer (GC-MS) Agilent รุ่น 6890N

สารเคมี

1. เชื้อจุลินทรีย์ชื่อทางการค้า ABT-5 Chr-Hansen
2. เชื้อจุลินทรีย์ชื่อทางการค้า ABY-3 Chr-Hansen
3. สารละลายมาตรฐานอัลเคน C8-C20 (Normal Alkanes C8-C20) Sigma-Aldrich

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างนมแพะดิบที่ใช้ศึกษาในการวิจัยนี้ได้มาจากฟาร์มแพะ 2 แห่ง ในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งให้นมแพะดิบที่มีกลิ่นแตกต่างกัน โดยเป็นนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและนมแพะที่มีกลิ่นปกติ ที่แช่แข็งทันทีหลังจากรีดนมและเก็บรักษาไม่เกิน 1 เดือน

3.2.1 การศึกษาคุณภาพองค์ประกอบหลักของนมแพะดิบ

การศึกษาคุณภาพองค์ประกอบหลักของนมแพะดิบ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน น้ำตาลแล็กโทส เนื้อนมทั้งหมด ความหนาแน่น และค่าความเป็นกรด - เบส ในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบหลักนมแพะทั้งสองชนิดและเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานนมแพะดิบ ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช.6006-2551 โดยการนำนมแพะดิบแช่แข็งที่มีกลิ่นมากและนมแพะที่มีกลิ่นปกติมาละลายที่อุณหภูมิห้อง คนให้เข้ากัน นำไปอุ่นโดยวิธีการให้ความร้อนผ่านน้ำให้ได้อุณหภูมินมประมาณ 35 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไขมันแตกตัวคนให้เข้ากัน แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องวัดค่าองค์ประกอบนม (Milk analyzer) ดังภาพที่ 6 โดยวัดชนิดละ 3 ตัวอย่าง ๆ ละ 5 ซ้ำ และการวัดค่าความเป็นกรด-เบสของนมแพะ โดยวัดชนิดละ 3 ตัวอย่าง ๆ ละ 5 ซ้ำ บันทึกผลการตรวจวิเคราะห์ที่ได้ แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานนมแพะดิบตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช.6006-2551 และเปรียบเทียบระหว่างความแตกต่างของข้อมูลตัวอย่างที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 25

ภาพที่ 6 เครื่องวัดค่าองค์ประกอบนม

3.2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบด้วยเทคนิค SPME-GC-MS

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในตัวอย่างนมแพะใช้เทคนิคการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับไมโคร (Solid Phase Microextraction, SPME) โดยเลือกใช้ไฟเบอร์ชนิด Divinylbenzene/Carboxen/ Polydimethylsiloxane (DVB/CAR/ PDMS) เนื่องจากมีสภาวะการสกัดที่เหมาะสมกับสารระเหยให้กลิ่นในนม ซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในนม การวิจัยนี้จึงได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารระเหยในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดเพื่อดูดซับสารด้วย SPME ในการสกัดองค์ประกอบทางเคมีในนมแพะ แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS โดยมีรายละเอียดการสกัดดังนี้

1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิในการดูดซับสารที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

2 การเปรียบเทียบเวลาในการดูดซับสารที่ เป็นเวลา 30, 45 และ60 นาที โดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมจากข้อ 1

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติด้วยเทคนิค SPME แสดงดังภาพที่ 7 โดย ตวงตัวอย่างนมแพะ 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดใส่สารขนาด 25 มิลลิลิตร นำไปสกัดเพื่อดูดซับสารระเหยด้วย SPME โดยการให้ความร้อนผ่านน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยติดตั้งอุปกรณ์ SPME เพื่อสกัดสารดังภาพที่ 8 เมื่อครบเวลานำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโทรมิเตอร์ จากนั้นวิเคราะห์ซ้ำอีกครั้งโดยเปลี่ยนสภาวะการดูดซับเป็นอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากจำนวนชนิดขององค์ประกอบทางเคมีที่พบ เลือกอุณหภูมิที่เหมาะสม แล้วนำไปทดสอบกับเวลาการสกัดที่เป็นเวลา 30 45 และ 60 นาที เพื่อหาอุณหภูมิและเวลาในการสกัดที่เหมาะสม

นำตัวอย่างนมแพะ 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดใส่สารขนาด 25 มิลลิลิตร

↓

ดูดซับสารด้วย SPME fibers: 50/30 µm DVB/CAR/PDMS โดยติดตั้งอุปกรณ์ดังภาพที่ 8

↓

เปรียบเทียบการสกัดที่ 40 และ 60 องศาเซลเซียส และเวลาในการดูดซับที่ 30 45 และ 60 นาที ควบคุมอุณหภูมิและเวลาตามที่กำหนด

↓

นำ SPME ไปตรวจวัดด้วยเครื่อง GC-MS

↓

เชิงพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีในนมแพะดิบโดยเปรียบเทียบแมสสเปกตรัมและดัชนีรีเทนชัน

ภาพที่ 7 แผนผังการการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบที่มีกลิ่นปกติและมีกลิ่นมาก ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS

ภาพที่ 8 การสกัดด้วยการดูดซับกลิ่นด้วย SPME fibers

การตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโทรมิเตอร์ ดังภาพที่ 9 ใช้สภาวะของการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4 โดยมีรายละเอียดดังนี้ ส่วนแก๊สโครมาโทกราฟประกอบด้วยอุณหภูมิส่วนที่ฉีดสาร 280 องศาเซลเซียส ใช้คอลัมน์ชนิด HP-5MS Capillary 30 เมตร × 0.25 มิลลิเมตร และคอลัมน์จะตั้งโปรแกรมโดยใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร่ง 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึงอุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส ส่วนของแมสสเปกโทรมิเตอร์ เป็นแบบ Quadrupole และอุณหภูมิของ Ion Source เป็น 280 องศาเซลเซียส ในระบบ Electron Impact Ionization (EI) ที่ 70 eV โดยสแกนมวล (m/z) ช่วง 40 ถึง 440 amu (Atomic Mass Unit)

ตารางที่ 4 สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโทรมิเตอร์

เครื่องมือ	ส่วนของเครื่องมือ	สภาวะที่ใช้
Gas Chromatograph	Column	HP-5, Capillary 30 m × 0.25 mm i.d.
	Injector	280 °C
	Column Oven	45-240 °C at rate 5 °C/min
Mass Spectrometer	Ion source	Electron Impact Ionization (EI) 70 eV
	Mass analyzer	280 °C Range 40–400 amu

ภาพที่ 9 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโทรมิเตอร์

การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีในนมแพะดิบ โดยเปรียบเทียบแมสสเปกตรัมของสารที่วิเคราะห์กับแมสสเปกตรัมมาตรฐานใน Wiley Version 5 และ NIST Library ในรูปแบบร้อยละความเหมือนของแมสสเปกตรัม (%Qual) ร่วมกับการเปรียบเทียบค่าดัชนีรีเทนชัน (Retention Index, I_{cal}) ที่คำนวณได้ตามสมการที่ 1 กับค่าดัชนีรีเทนชันมาตรฐาน (I_{Adams}) (Adams, 2001) โดยใช้สารละลายมาตรฐานอัลเคน C8-C20 (Normal Alkanes C8-C20) นำเวลาของสารที่สนใจและเวลาของสารมาตรฐานอัลเคนคำนวณค่าดัชนีรีเทนชันดังสมการที่ 1 เปรียบเทียบ I_{cal} กับค่า I_{Adams} ในเอกสารอ้างอิง Adams table และปริมาณของสารที่คำนวณจากร้อยละของพื้นที่ใต้พีคของแต่ละสารที่ตรวจพบ (% Peak Area, %A) ดังสมการที่ 2 เปรียบเทียบชนิดขององค์ประกอบทางเคมีที่พบในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ

ค่าดัชนีรีเทนชัน $(retention\ index, I_{cal}) = 100z + 100\left(\frac{(t'_{R(x)} - t'_{R(z)})}{(t'_{R(z+1)} - t'_{R(z)})}\right)$ (1)

เมื่อ z = จำนวนคาร์บอนที่ใช้อ้างอิง

$t'_{R(x)}$ = ค่า retention time ของสาร x ที่จะวิเคราะห์หาเอกลักษณ์

$t'_{R(z)}$ = ค่า retention time ของสารใช้อ้างอิงที่มีคาร์บอน z

$t'R_{(z+1)}$ = ค่า retention time ของสารใช้อ้างอิงที่มีคาร์บอน z+1

$$\%A = \frac{Area\ of\ A}{Total\ area} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ %A = ร้อยละของพื้นที่ใต้พีคของสารที่ต้องการคำนวน (%Peak Area)

Area of A = พื้นที่ใต้พีคของแต่สารที่ต้องการคำนวน

Total area = พื้นที่ใต้พีคของทุกสารที่ตรวจพบในโครมาโทแกรม

3.2.3 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในตัวอย่างนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ

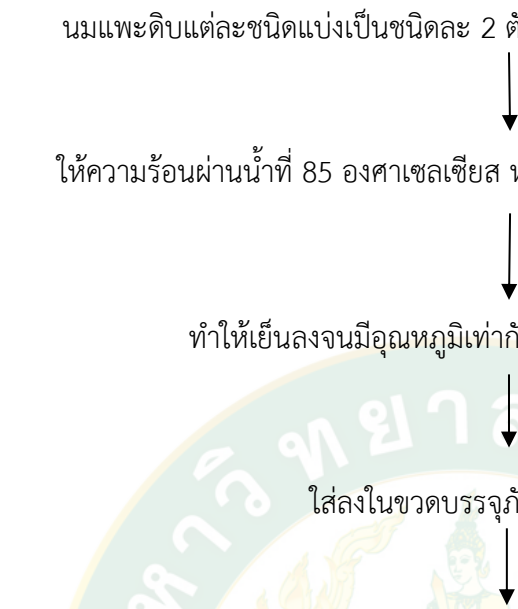
การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติมีนำไปสกัดด้วย SPME ขั้นตอนดังแผนภาพที่ 7 ตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโทรมิเตอร์ โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองในหัวข้อ 3.2.2 พิสูจน์เอกลักษณ์ของสารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของนมทั้งสองชนิด เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายที่น่าจะเป็นสาเหตุของกลิ่นที่เกิดขึ้นในนมแพะ

3.2.4 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแปรรูปนมแพะพาสเจอร์ไรส์

ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการพาสเจอร์ไรส์ ในตัวอย่างนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ ให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นน้อย ขั้นตอนแสดงดังแผนภาพที่ 10 โดยนำนมแต่ละชนิดแบ่งออกเป็น 2 ตัวอย่าง จะได้ทั้งหมด 4 ตัวอย่างดังตารางที่ 5 แล้วนำไปพาสเจอร์ไรส์ โดยนำนมแพะดิบใส่ในชุดสำหรับพาสเจอร์ไรส์นม ให้ความร้อนด้วยวิธีการผ่านน้ำจนนมมีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ปิดฝาภาชนะ คงอุณหภูมินี้เป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลาใช้น้ำเย็นผ่านเข้าสู่เครื่องเพื่อลดอุณหภูมิของนมให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 4 องศาเซลเซียส ใส่ลงในขวดบรรจุภัณฑ์ปิดฝาให้สนิท เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 0 - 4 องศาเซลเซียส ทำเช่นเดียวกันกับนมแพะตัวอย่างที่เหลือโดยเปลี่ยนสภาวะในการพาสเจอร์ไรส์เป็นอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นำตัวอย่างนมแพะที่พาสเจอร์ไรส์แล้วไปวิเคราะห์สารองค์ประทางเคมีระเหยได้ที่ทำให้เกิดกลิ่นในนมแพะโดยการสกัดเพื่อดูดซับกลิ่นด้วย SPME และวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโทรมิเตอร์ ตามสภาวะที่ได้จากการศึกษาข้อ 3.2.2 ดังแผนภาพที่ 7

ตารางที่ 5 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแปรรูปนมแพะพาสเจอร์ไรส์

สภาวะการแปรรูป	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4
ชนิดของนมแพะ	นมแพะกลิ่นปกติ	นมแพะกลิ่นปกติ	นมแพะมีกลิ่นมาก	นมแพะมีกลิ่นมาก
อุณหภูมิพาสเจอร์ไรส์ (องศาเซลเซียส)	85	90	85	90



ภาพที่ 10 แผนผังกระบวนการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแปรรูปนมแพะพาสเจอร์ไรส์

3.2.5 การศึกษาชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมในการแปรรูปโยเกิร์ตจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก

ศึกษาชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมในการแปรรูปโยเกิร์ตนมแพะจากนมแพะที่มีกลิ่นมากดังขั้นตอนในภาพที่ 11 โดยแบ่งนมแพะที่มีกลิ่นมากออกเป็น 4 ตัวอย่าง แล้วนำไปแปรรูปเป็นโยเกิร์ตโดยการนำนมแพะดิบใส่ชุดสำหรับพาสเจอร์ไรส์นม นำไปพาสเจอร์ไรส์ตามสภาวะที่ได้จากข้อ 3.2.4 ลดอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วจนนมมีอุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส เติมเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ทางการค้าเปรียบเทียบระหว่างเชื้อจุลินทรีย์รหัส ABT-5 และ ABY-3 ซึ่งมีส่วนประกอบของเชื้อจุลินทรีย์สเตรปโทค็อกคัสเทอร์โมฟิลัส (Streptococcus thermophilus) และแลกโทบาซิลลัส เดลบริคคิไอ ซับสปีชีส์ บัลแกริคัส (Lactobacillus subsp. bulgaricus) แล้วนำไปหมักที่ความอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และเปรียบเทียบเวลาในการหมักระหว่างเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง ดังตาราง ที่ 6 นำโยเกิร์ตไปตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายด้วยเทคนิค SPME-GC-MS และศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 6 ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักของโยเกิร์ต

สภาวะการแปรรูป	**ตัวอย่างที่ 1**	**ตัวอย่างที่ 2**	**ตัวอย่างที่ 3**	**ตัวอย่างที่ 4**
ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์	ABT-5	ABT-5	ABY 3	ABY 3
ระยะเวลาการหมัก (ชั่วโมง)	6	8	6	8

ภาพที่ 11 แผนผังกระบวนการศึกษาชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมในการแปรรูปโยเกิร์ตจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก

3.2.5.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค SPME-GC-MS

วิเคราะห์หาองค์ประทางเคมีของสารระเหยที่คาดว่าเป็นกลิ่นของนมแพะโดยการสกัดเพื่อดูดซับกลิ่นด้วย SPME และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี โดยใช้สภาวะที่ได้จากการศึกษาข้อ 3.2.2 นำแมสสเปกตรัมที่ได้พิสูจน์เอกลักษณ์ขององค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่าย เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายเพื่อวิเคราะห์สภาวะที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปโยเกิร์ตนมแพะ ที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายซึ่งอาจเป็นสาเหตุของกลิ่นในนมแพะน้อย

3.2.5.2 การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ และระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมในการแปรรูปโยเกิร์ตนมแพะจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก

การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค เป็นการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 (9-point hedonic scale) (Peryam and Pilgrim, 1957) โดยคุณลักษณะที่ทดสอบมีดังนี้ คือ ลักษณะปรากฏ (Appearance) กลิ่น (Odor) รสชาติ (Flavor) ความข้นหนืด (Viscosity) ความเนียนเรียบ (Homogenous) และความชอบโดยรวม (Overall acceptability) ทำการทดสอบกับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน

3.2.6 วิเคราะห์ เปรียบเทียบ แปรผล สรุปผลการวิจัย และเผยแพร่

การนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายที่คาดว่าจะเป็นกลิ่นของนมแพะและผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ แพะพาสเจอร์ไสและโยเกิร์ตนมแพะ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะและผลิตภัณฑ์นมแพะ

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบหลักในนมแพะดิบชนิดที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ

ผลการศึกษาคุณภาพองค์ประกอบหลักของนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติที่ใช้ในการทดลอง จากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน น้ำตาลแล็กโทส เนื้อนมทั้งหมด ความหนาแน่น และความเป็นกรด-เบส ซึ่งตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจวัดองค์ประกอบนม พบว่าองค์ประกอบของนมแพะดิบกลิ่นปกติเฉลี่ยดังตารางที่ 7 คือ ไขมันร้อยละ 3.53 โปรตีนร้อยละ 3.35 น้ำตาลแล็กโทสร้อยละ 4.95 เนื้อนมทั้งหมดร้อยละ 12.42 ความหนาแน่น 1.0323 และความเป็นกรด-เบส 6.65 และองค์ประกอบของนมแพะดิบมีกลิ่นมากเฉลี่ย คือ ไขมันร้อยละ 3.55 โปรตีนร้อยละ 3.33 น้ำตาลแล็กโทสร้อยละ 4.99 เนื้อนมทั้งหมดร้อยละ 12.48 ความหนาแน่น 1.0326 และความเป็นกรด-เบส 6.67 ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานนมแพะดิบ ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช.6006-2551 พบว่านมแพะที่นำมาทดลองผ่านเกณฑ์คุณภาพตามมาตรฐานของคุณภาพนมแพะทั้งชนิดที่มีกลิ่นปกติและชนิดที่มีกลิ่นมาก และเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบหลักของนมแพะดิบทั้งสองชนิดในพารามิเตอร์เดียวกัน พบว่านมแพะดิบที่มีกลิ่นปกติและมีกลิ่นมากไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทุกพารามิเตอร์

ตารางที่ 7 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพองค์ประกอบของนมแพะดิบที่ใช้ในการทดลอง (n=15)

ค่าองค์ประกอบทางของนมแพะดิบ	**ค่าองค์ประกอบทางของนมแพะดิบตามมาตรฐาน**	**ผลที่วัดได้ (%)**	
		นมแพะดิบกลิ่นปกติ	นมแพะดิบที่มีกลิ่นมาก
ไขมัน^{ns} (%)	>3.25	3.53 ±0.03	3.55±0.07
โปรตีน^{ns} (%)	>3.10	3.35 ±0.05	3.33±0.03
น้ำตาลแล็กโทส^{ns} (%)	>4.90	4.95 ±0.04	4.99±0.08
เนื้อนมทั้งหมด^{ns} (%)	>11.70	12.42 ±0.03	12.48±0.04
ความหนาแน่น^{ns}	>1.028	1.032 ±0.001	1.033±0.001
ความเป็นกรด-เบส^{ns}	6.5 - 6.8	6.65 ±0.03	6.6 ±0.03

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในนมแพะดิบด้วยเทคนิค SPME – GC-MS

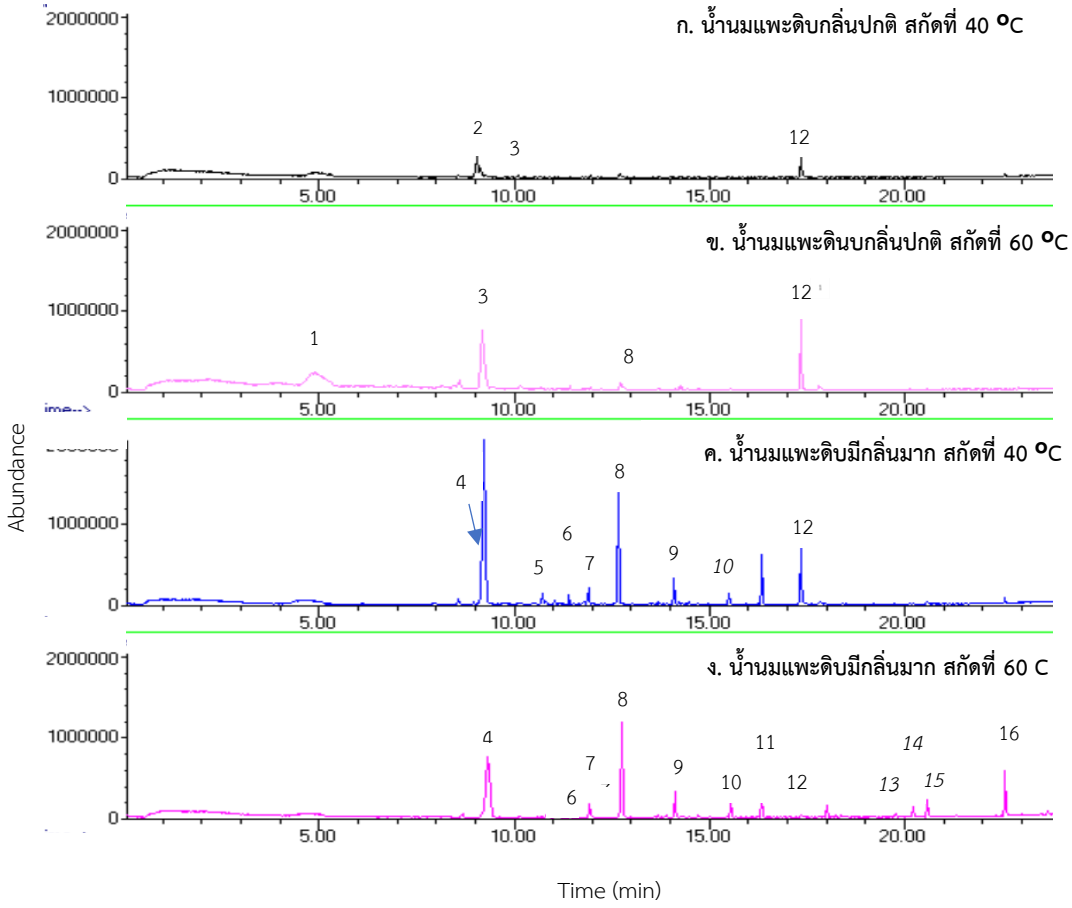
4.2.1 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับด้วย SPME ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

ผลการเปรียบเทียบสภาวะการให้ความร้อนกับตัวอย่างที่ใช้ในการสกัดองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติด้วยเทคนิคการสกัดด้วย SPME fibers ชนิด 50/30 µm DVB/CAR/PDMS ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่า

ในนมแพะดิบกลิ่นปกติ เมื่อสกัดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่าย จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ Dodecane, D-Limonene และ Methyl n-hydroxybenzenecarboximidate และเมื่อสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบสารระเหย จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ Decane, D-Limonene, 2-Nonanone และ Methyl n-hydroxybenzenecarboximidate จะเห็นได้ว่าในสภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ตรวจพบสารระเหยได้มากชนิดกว่าและมีพื้นที่ใต้พีคมากกว่า ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 8 และโครมาโทแกรมแสดงในภาพที่ 12

ในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมาก เมื่อสกัดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่าย จำนวน 9 ชนิด ได้แก่ สาร 2-Heptanone, Trimethylbenzene, 2-Octanone, Ethyl 3-ethoxy propanoate, 2-Nonanone, 2-Ethylhexanol, 2-Undecanone, 2-Furanmethanol และ Methyl n-hydroxybenzene carboximidate และเมื่อสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบสาร จำนวน 11 ชนิด ได้แก่ สาร 2-Heptanone, 2-Octanone, Ethyl 3-ethoxypropanoate, 2-Nonanone, 2-Ethylhexanol, 2-Undecanone, 2-Furanmethanol, 2-Tridecanone, 2-Pentadecanone, Octanoic acid และ n-Decanoic acid ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 8 และโครมาโทแกรมแสดงในภาพที่ 12 โดยสารในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากที่พบเหมือนกันในการสกัดทั้ง 2 สภาวะ ได้แก่ 2-Heptanone, 2-Octanone, Ethyl 3-ethoxypropanoate, 2-Nonanone, 2-Ethylhexanol, 2-Undecanone และ 2-Furanmethanol จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที สามารถดูดซับองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายที่มีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่ได้มากกว่าที่ 40 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าสภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ตรวจพบสารจำนวนมากชนิดกว่า เนื่องจากสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้มากชนิดกว่าทั้งในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ โดยพบสาร จำนวน 11 ชนิด ในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมาก และพบสาร 4 ชนิด ในนมแพะดิบที่มีกลิ่นปกติ โดยมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 8 และโครมาโทแกรมแสดงในภาพที่ 12 ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้เลือกอุณหภูมิในการสกัดด้วย SPME ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในการศึกษาต่อไป



ภาพที่ 12 โครมาโทแกรมของ GC-MS ที่ศึกษาอุณหภูมิในการดูดซับด้วย SPME ในนมแพะดิบ การวิเคราะห์นมแพะดิบกลิ่นปกติ (ก) ที่อุณหภูมิการสกัด 40˚C และ (ข) อุณหภูมิการสกัด 60˚C และในนมแพะดิบมีกลิ่นมาก (ค) ที่อุณหภูมิการสกัด 40˚C และ (ง) อุณหภูมิการสกัด 60˚C

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบที่มีกลิ่นปกติและมีกลิ่นมาก ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS อุณหภูมิการสกัด 40 และ 60 องศาเซลเซียส

ลำดับที่	ชื่อสาร	RT (min)	I_{cal}	I_{Adams}	นมแพะดิบที่มีกลิ่นปกติ				นมแพะดิบมีกลิ่นมาก			
					สกัดที่ 40˚C		สกัดที่ 60˚C		สกัดที่ 40˚C		สกัดที่ 60˚C	
					%Qual	%Area	%Qual	%Area	%Qual	%Area	%Qual	%Area
1	Decane[a]	4.88	-	-	-	-	92	9.80	-	-	-	-
2	Dodecane[a]	9.02	-	-	93	17.68	-	-	-	-	-	-
3	D-Limonene[a]	9.17	-	-	97	8.46	97	31.22	-	-	-	-
4	2-Heptanone[a]	9.33	-	-	-	-	-	-	91	42.94	91	56.01
5	Trimethylbenzene[a]	10.72	1,036.9	-	-	-	-	-	93	1.70	-	-
6	2-Octanone[a, b]	11.41	1,063.9	991	-	-	-	-	81	0.82	80	0.63
7	Ethyl 3-ethoxy propanoate[a]	11.90	1,112.1	-	-	-	-	-	91	2.45	91	3.31
8	2-Nonanone[a, b]	12.74	1,197.6	1,090	-	-	93	1.50	97	15.77	95	23.33
9	2-Ethylhexanol[a]	14.11	1,294.1	-	-	-	-	-	83	3.02	83	4.31
10	2-Undecanone[a, b]	15.50	1,355.8	1,294	-	-	-	-	90	3.02	94	4.31
11	2-Furanmethanol[a]	16.35	1,036.9	-	-	-	-	-	96	4.05	97	5.78

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบที่มีกลิ่นปกติและมีกลิ่นมาก ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS อุณหภูมิการสกัด 40 และ 60 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อสาร	RT (min)	I_{cal}	I_{Adams}	นมแพะดิบที่มีกลิ่นปกติ				นมแพะดิบมีกลิ่นมาก			
					สกัดที่ 40˚C		สกัดที่ 60˚C		สกัดที่ 40˚C		สกัดที่ 60˚C	
					%Qual	%Area	%Qual	%Area	%Qual	%Area	%Qual	%Area
12	Methyl n-hydroxy benzenecarboximidate[a]	17.33	1,430.2		90	13.59	90	11.95	91	8.47	-	-
13	2-Tridecanone[a, b]	18.01	1,483.3	1,496	-	-	-	-	-	-	96	2.03
14	2-Pentadecanone[a]	20.22	1,669.1		-	-	-	-	-	-	87	1.66
15	Octanoic acid[a]	20.59	1,701.2		-	-	-	-	-	-	94	2.91
16	n-Decanoic acid[a]	22.58	1,890.5		-	-	-	-			96	8.11
รวมจำนวนสารที่พบ (สาร)					3 สาร		4 สาร		9 สาร		11 สาร	

หมายเหตุ a หมายถึง ได้รับการยืนยันโดยเปรียบเทียบกับแมสสเปกตรัมมาตรฐานใน Wiley Version 5, NIST Library ในรูปแบบความเหมือนมากกว่าร้อยละ 80

b หมายถึง ได้รับการยืนยันโดยเปรียบเทียบค่า Index (I_{cal}) ที่คำนวนได้กับค่า I_{Adams} ในเอกสารอ้างอิง Adams table

.

4.2.2 ผลของเวลาในการดูดซับกลิ่นด้วย SPME ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

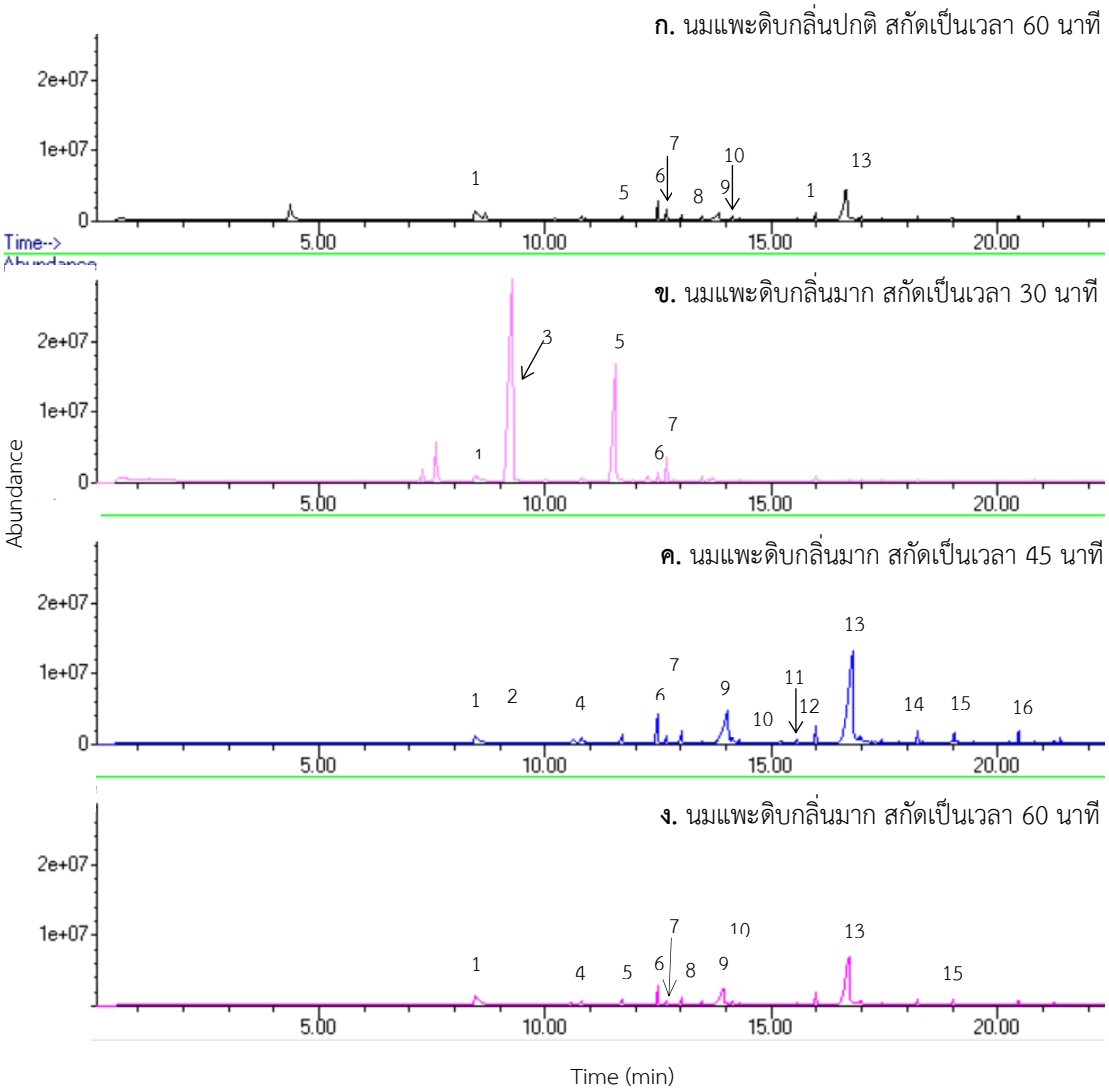
ผลของเวลาในการดูดซับตัวอย่างที่ใช้ในการสกัดองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติด้วยเทคนิคการดูดซับด้วย SPME fibers ชนิด50/30 µm DVB/CAR/PDMS ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 45 และ 60 นาที พบว่า

ในนมแพะดิบกลิ่นปกติ เมื่อสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่าย จำนวน 9 ชนิด ได้แก่ สาร 2-Heptanone, β-ocimene, 2-Nonanone, Nonanal, Ethyl octanoate, Octanoic acid, Ethyl octanoate, Methyl decanoate และ n-Decanoic acid

ในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมาก เมื่อสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่าย จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ สาร 2-Heptanone, Methyl n-hydroxy benzenecarboximidate, β-Ocimene, 2-Nonanone และสาร Nonanal เมื่อสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที พบองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่าย จำนวน 14 ชนิด ได้แก่ สาร 2-Heptanone, n-Propylmalonic acid, Ethyl hexanoate, 2-Nonanone, Nonanal, Methyl octanoate, Octanoic acid, Ethyl octanoate, 2-Undecanone, Methyl decanoate, n-Decanoic acid, Ethyl decanoate, n-Decanoic acid และ γ-Dodecalactone และสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่าย จำนวน 10 ชนิด ได้แก่ สาร 2-Heptanone, Ethyl hexanoate, β-ocimene, 2-Nonanone, Nonanal, Methyl decanoate, Octanoic acid, Ethyl octanoate, n-Decanoic acid และ n-Dodecanoic acid โดยสารระเหยในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากที่พบเหมือนกันในการสกัดทั้ง 3 สภาวะ ได้แก่ 2-Heptanone และ 2-Nonanone

จะเห็นได้ว่าในสภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที พบ จำนวนชนิดของสารที่ตรวจวิเคราะห์ได้มากชนิดกว่า โดยมีรายละเอียดดังโครมาโทแกรมที่ 13 และตารางที่ 9 ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จะใช้สภาวะอุณหภูมิในการสกัดด้วย SPME ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที

ดังนั้นจากผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในนมแพะดิบด้วยเทคนิค SPME-GC-MS พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดด้วย SPME fibers ชนิด 50/30 µm DVB/CAR/PDMS คือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดที่เหมาะสม คือ เป็นเวลา 45 นาที เนื่องจากให้ผลจำนวนสารระเหยที่สามารถสกัดได้มากกว่า โดยที่สภาวะการสกัดนี้ พบว่าในนมแพะดิบมีกลิ่นมากตรวจพบองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายจำนวน 14 สาร



ภาพที่ 13 โครมาโทแกรมของ GC-MS ที่ศึกษาเวลาในการดูดซับด้วย SPME ในนมแพะดิบ เวลาในการดูดซับ (ก) 60 นาที ในนมแพะดิบมีกลิ่นมากที่เวลาดูดซับ (ข) 30 นาที (ค) 45 นาที และ (ง) 60 นาที

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของสารระเหยนมแพะดิบที่มีกลิ่นปกติและมีกลิ่นมาก ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS ระยะเวลาการสกัด 30, 45 และ 60 นาที

ลำดับที่	ชื่อสาร	RT (min)	I_{cal}	I_{Adams}	นมแพะปกติ		นมแพะพาสเจอร์ไรส์มีกลิ่นมาก					
					สกัด 60 นาที		สกัด 30 นาที		สกัด 45 นาที		สกัด 60 นาที	
					%Qual	%Area	%Qual	%Area	%Qual	%Area	%Qual	%Area
1	2-Heptanone[a]	8.50			90	12.16	87	1.85	81	5.27	91	11.67
2	n-Propylmalonic acid[a]	9.13				-	-	-	80	0.46	-	-
3	Methyl n-hydroxybenzene carboximidate[a]	9.2					91	54.12			-	-
4	Ethyl hexanoate[a]	10.80	1,003.0		-	-	-	-	90	1.89	93	3.10
5	β-ocimene[a]	11.69	1,052.4		93	1.25	89	22.95	-	-	98	1.78
6	2-Nonanone[a, b]	12.48	1,096.2	1090	91	5.20	94	0.71	91	4.10	91	5.32
7	Nonanal[a, b]	12.68	1,108.2	1101	80	3.02	90	1.94	82	1.00	80	1.27
8	Methyl octanoate[a]	13.01	1,128.7		83	1.62	-	-	86	1.53	94	1.75
9	Octanoic acid[a]	13.92	1,186.0		96	7.22	-	-	90	17.24	91	14.84
10	Ethyl octanoate[a]	14.15	1,200.1		95	1.04	-	-	91	1.53	91	1.1
11	2-Undecanoner[a, b]	15.58	1,299.2	1294	-	-	-	-	80	2.30	-	-

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของสารระเหยนมแพะดิบที่มีกลิ่นปกติและมีกลิ่นมาก ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS ระยะเวลาการสกัด 30, 45 และ 60 นาที (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อสาร	RT (min)	I_{cal}	I_{Adams}	นมแพะปกติ		นมแพะพาสเจอร์ไรส์มีกลิ่นมาก					
					สกัด 60 นาที		สกัด 30 นาที		สกัด 45 นาที		สกัด 60 นาที	
					%Qual	%Area	%Qual	%Area	%Qual	%Area	%Qual	%Area
12	Methyl decanoate[a]	15.90	1,328.8		90	1.96	-	-	80	0.38	-	-
13	n-Decanoic acid[a]	16.12	1,375.6		91	28.71	-	-	90	48.44	90	40.37
14	Ethyl decanoate[a]	16.93	1,398.9		-	-	-	-	80	0.96	-	-
15	n-Dodecanoic acid[a]	19.04	1,567.0		-	-	-	-	97	1.86	93	1.59
16	γ-Dodecalactone[a, b]	20.46	1,690.0	1518	-	-	-	-	86	1.40	-	-
รวมจำนวนสารที่พบ (สาร)					9 สาร		5 สาร		14 สาร		10 สาร	

หมายเหตุ a หมายถึง ได้รับการยืนยันโดยเปรียบเทียบกับแมสสเปกตรัมมาตรฐานใน Wiley Version 5, NIST Library ในรูปแบบความเหมือนมากกว่าร้อยละ 80

b หมายถึง ได้รับการยืนยันโดยเปรียบเทียบค่า Index (I_{cal}) ที่คำนวนได้กับค่า I_{Adams} ในเอกสารอ้างอิง Adams table

4.3 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติโดยเทคนิค SPME- GC-MS

การศึกษาชนิดขององค์ประกอบทางเคมีในนมแพะดิบ ด้วยเทคนิค SPME- GC-MS โดยทำการสกัดด้วย SPME fibers ชนิด 50/30 µm DVB/CAR/PDMS ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที แล้วนำ SPME ไปตรวจวัดด้วย GC-MS โดยเปรียบเทียบแมสสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้กับแมสสเปกตรัมมาตรฐานในฐานข้อมูล Wiley Version 5 และ NIST Library โดยมีค่าร้อยละความเหมือนของแมสสเปกตรัมกับแมสสเปกตรัมมาตรฐานมากกว่าร้อยละ 80 ร่วมกับการเปรียบเทียบค่าดัชนีรีเทนชันกับค่าดัชนีรีเทนชันมาตรฐาน (I_{Adams}) โดยใช้สารละลายมาตรฐานอัลเคน C8-C20 (Normal Alkanes C8-C20) ดังรูปในภาคผนวก ง. ในนมแพะดิบกลิ่นปกติตรวจพบองค์ประกอบทางเคมีจำนวน 4 สาร ได้แก่ สาร Dodecane, D-Llimonene, 2-Nonanone และสาร Methyl n-hydroxybenzene carboximidate ดังรูปที่ 14 (ก) และในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมาก ตรวจพบสารองค์ประกอบทางเคมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเป็นจำนวน 10 ชนิด ได้แก่ สาร 2-Heptanone, Ethyl 3-ethoxypropanoate, 2-Nonanone, 2-Ethylhexanol, 2-Undecanone, 2-Furanmethanol, 2-Tridecanone, 2-Tetradecanone, Octanoic acid และ n-Decanoic acid ดังรูปที่ 14 (ข) และมีรายละเอียดดังตารางที่ 10

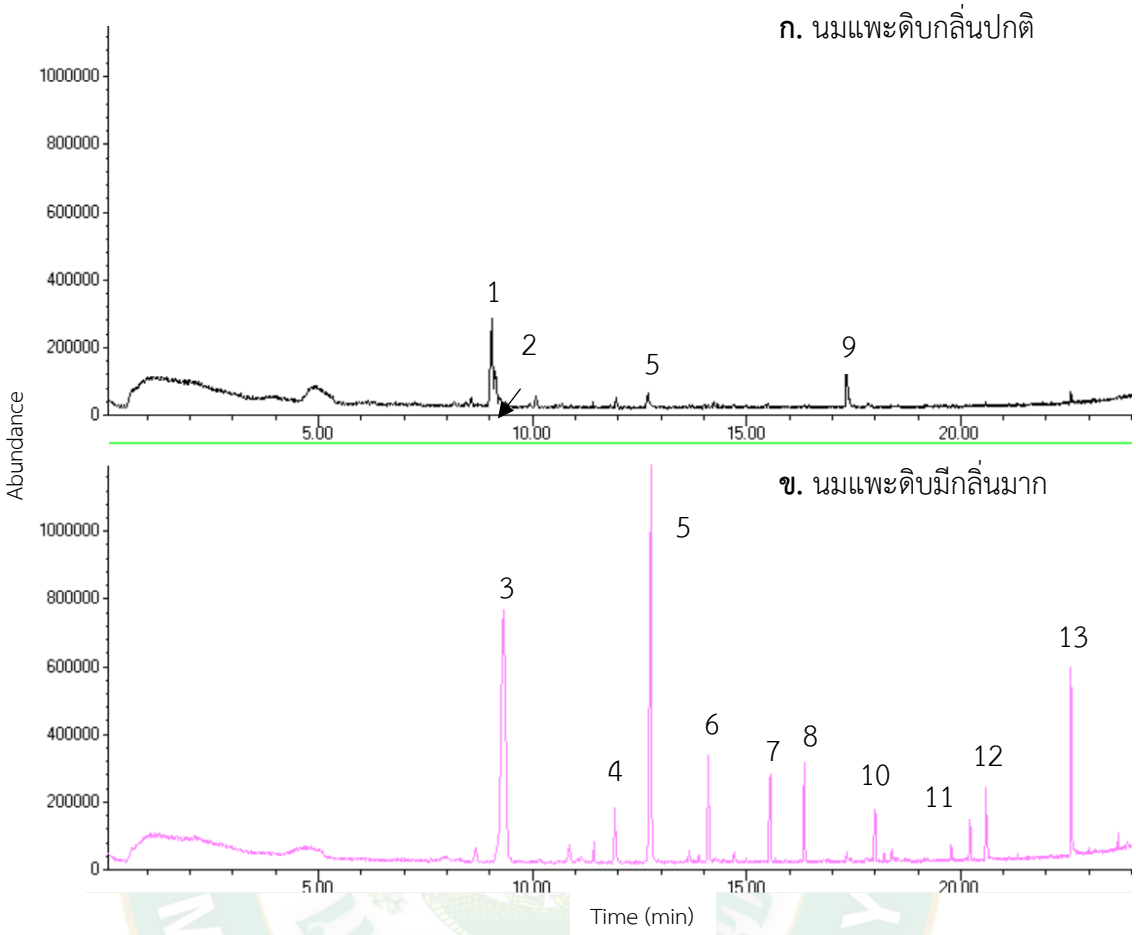
จากโครมาโทแกรมเมื่อเปรียบเทียบจากร้อยละโดยพื้นที่ใต้พีค จะพบว่า ในนมแพะดิบกลิ่นปกติสารระเหยที่มีค่าร้อยละพื้นที่ใต้พีคมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ Dodecane, D-Limonene และ Methyl n-hydroxy benzenecarboximidate ตามลำดับ โดยสารเหล่านี้มีคุณสมบัติให้กลิ่นน้อย และในนมแพะดิบมีกลิ่นมากพบสารระเหยที่มีค่าร้อยละพื้นที่ใต้พีคมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ สาร 2-Heptanone, 2-Nonanone และ n-Decanoic acid ตามลำดับ อีกทั้งจะเห็นได้ว่าในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากมีสารประกอบกลุ่มคีโตนอยู่หลายชนิด ซึ่งสารประกอบกลุ่มคีโตนเหล่านี้มีคุณสมบัติให้กลิ่น เช่น สาร 2-Heptanone ที่เป็นสารที่ปริมาณมากสุด ซึ่งให้กลิ่นคล้ายกล้วยหรือผลไม้ สาร 2-Nonanone ที่มีปริมาณรองลงมา ให้กลิ่นคล้ายผลไม้ (The National Institute for Occupational Safety and Health, 2019) เป็นต้น อีกทั้งสารคีโตนเหล่านี้ยังสามารถย่อยสลายได้สารกลุ่มอัลดีไฮด์ที่เป็นสารที่มีกลิ่นมาก สารคีโตนเหล่านี้จึงนับเป็นองค์ประกอบทางเคมีหลักที่ทำให้เกิดกลิ่นในนมแพะดิบ นอกจากนี้ในนมแพะดิบกลิ่นมากยังพบสารกลุ่มกรดไขมันที่เป็นเอกลักของนมแพะ เช่น n-Decanoic acid และ Octanoic acid ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นสารที่ให้กลิ่นสาบของแพะอีกด้วย

ตารางที่ 10 องค์ประกอบทางเคมีในนมแพะดิบด้วยเทคนิค SPME-GC-MS

ลำดับ	ชื่อสาร	RT (min)	I_{cal}	I_{Adams}	นมแพะดิบที่มีกลิ่นปกติ		นมแพะดิบมีกลิ่นมาก	
					%Qual	%Area	%Qual	%Area
1	Dodecane [a]	9.0	-	-	98	17.64	-	-
2	D-Limonene [a]	9.14	-	-	95	8.39	-	-
3	2-Heptanone [a]	9.32	-	-		-	91	42.94
4	Ethyl 3-ethoxy propanoate [a]	11.90	1,063.6	-	-	-	91	3.31
5	2-Nonanone [a, b]	12.705	1,108.8	1,090	93	4.45	95	23.33
6	2-Ethylhexanol [a]	14.12	1,198.0	-	-	-	83	4.31
7	2-Undecanone [a, b]	15.56	1,296.8	1,294	-	-	95	3.52
8	2-Furanmethanol [a]	16.35	1,355.0	-	-	-	96	4.05
9	Methyl n-hydroxy benzenecarboximidate	17.34	1,430.3	-	90	13.55	-	-
10	2-Tridecanone [a, b]	18.01	1,482.9	1,496	-	-	96	2.03
11	2-Tetradecanone [a]	20.22	1667.3	-	-	-	80	1.66
12	Octanoic acid [a]	20.59	1699.7	-	-	-	93	2.91
13	n-Decanoic acid [a]	22.58	1887.7	-	-	-	98	8.11
	รวมตรวจพบ					4 สาร		10 สาร

หมายเหตุ a หมายถึง ได้รับการยืนยันโดยเปรียบเทียบกับแมสสเปกตรัมมาตรฐานใน Wiley Version 5, NIST Library ในรูปแบบร้อยละความเหมือนมากกว่าร้อยละ 80

b หมายถึง ได้รับการยืนยันโดยเปรียบเทียบค่า Index (I_{cal}) ที่คำนวนได้กับค่า I_{Adams} ในเอกสารอ้างอิง Adams table

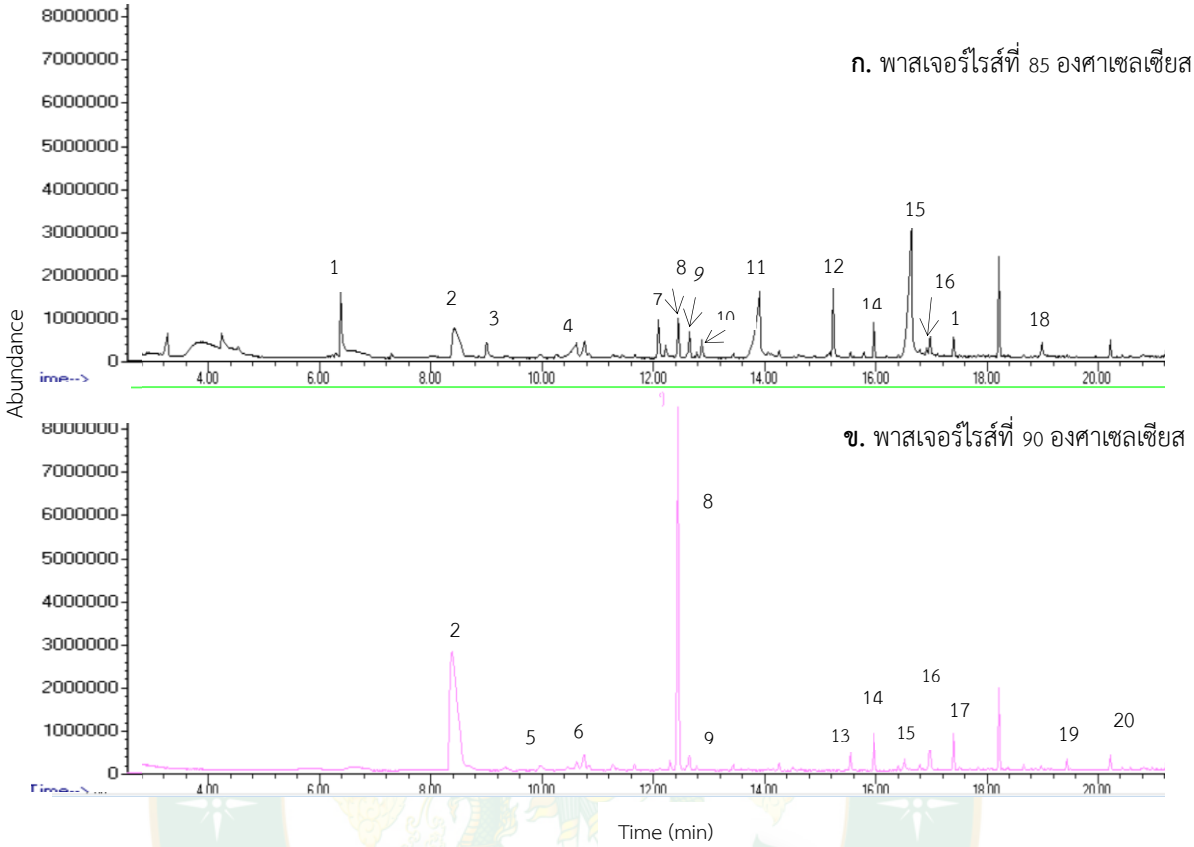


ภาพที่ 14 โครมาโทแกรมของ GC-MS -จากการวิเคราะห์นมแพะดิบ
(ก) นมแพะดิบกลิ่นปกติ และ (ข) นมแพะมีกลิ่นมาก

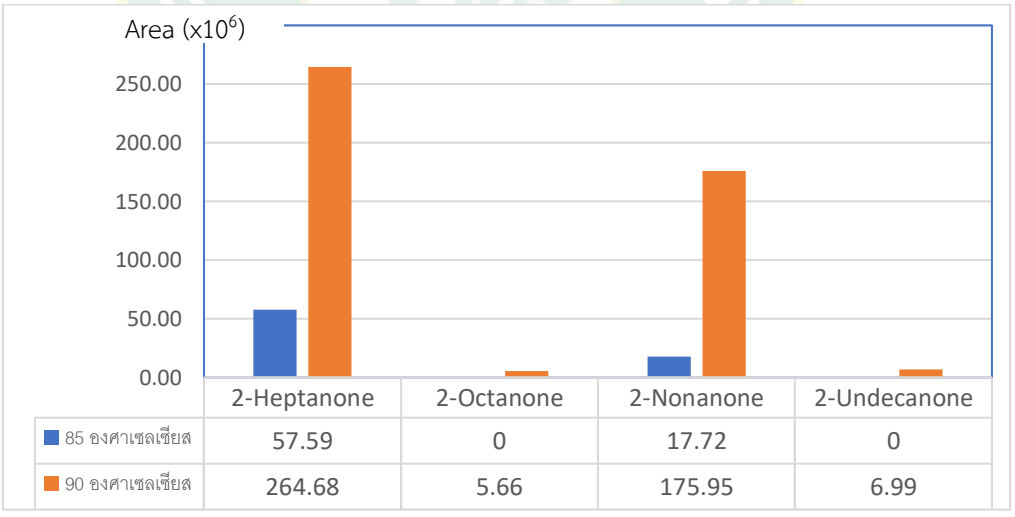
4.4 องค์ประกอบทางเคมีของสารระเหยในนมแพะกลิ่นปกติและมีกลิ่นมากพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิต่างกัน

นมแพะมีกลิ่นปกติและนมแพะที่มีกลิ่นมากที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิการฆ่าเชื้อที่ 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มาสกัดด้วยเทคนิค SPME fibers ชนิด 50/30 µm DVB/CAR/PDMS ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS พบว่าในนมแพะกลิ่นปกติเมื่อพาสเจอร์ไรส์เป็นเวลา 5 นาที ที่ 85 และ 90 องศาเซลเซียส มีองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายทั้งหมด 15 สาร และ 12 สาร ตามลำดับ ดังตารางที่ 11 และในนมแพะมีกลิ่นมากเมื่อพาสเจอร์ไรส์ที่ 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มีองค์ประกอบทางเคมีระเหยง่ายทั้งหมด 15 สาร และ12 สาร ตามลำดับ ดังตารางที่ 12 และพบสารในกลุ่มคีโตนที่อาจเป็นสารระเหยให้กลิ่น ได้แก่ สาร 2-Heptanone, 2-Octanone, 2-Nonanone และ 2-Undecanone

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีในนมแพะกลิ่นปกติพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบสารในกลุ่มคีโตนที่อาจเป็นสารระเหยให้กลิ่น ทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ สาร 2-Heptanone, 2-Octanone, 2-Nonanone และ 2-Undecanone โดยนมแพะพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มีปริมาณสารในกลุ่มคีโตนน้อยกว่า ดังภาพที่ 15 และภาพที่ 16 ในนมพาสเจอร์ไรส์จากนมแพะกลิ่นปกติที่พาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส โดยเกิดสารกลุ่มคีโตนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ใต้พีคเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการพาสเจอร์ไรส์ในกระบวนการแปรรูปโยเกิร์ตต่อไป



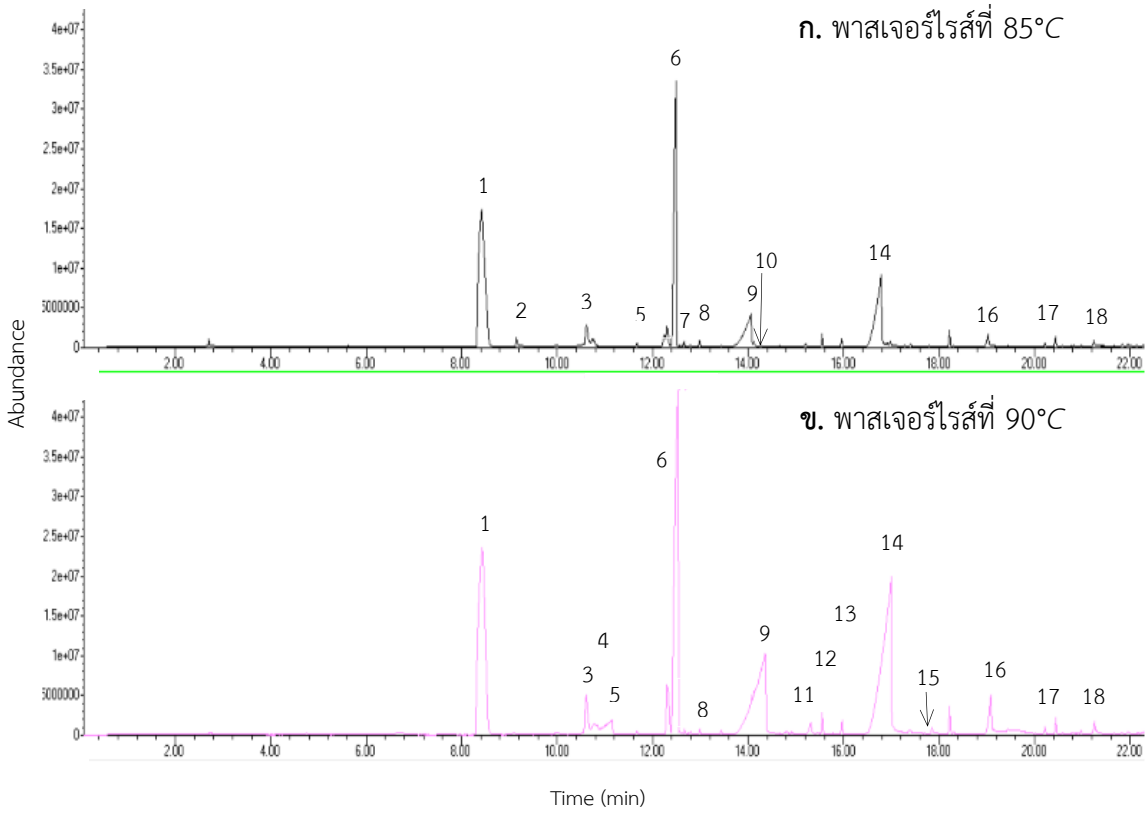
ภาพที่ 15 โครมาโทแกรมของ GC-MS ที่ศึกษาอุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรส์นมแพะที่มีกลิ่นปกติ ที่อุณหภูมิ (ก) 85 องศาเซลเซียส และ (ข) 90 องศาเซลเซียส



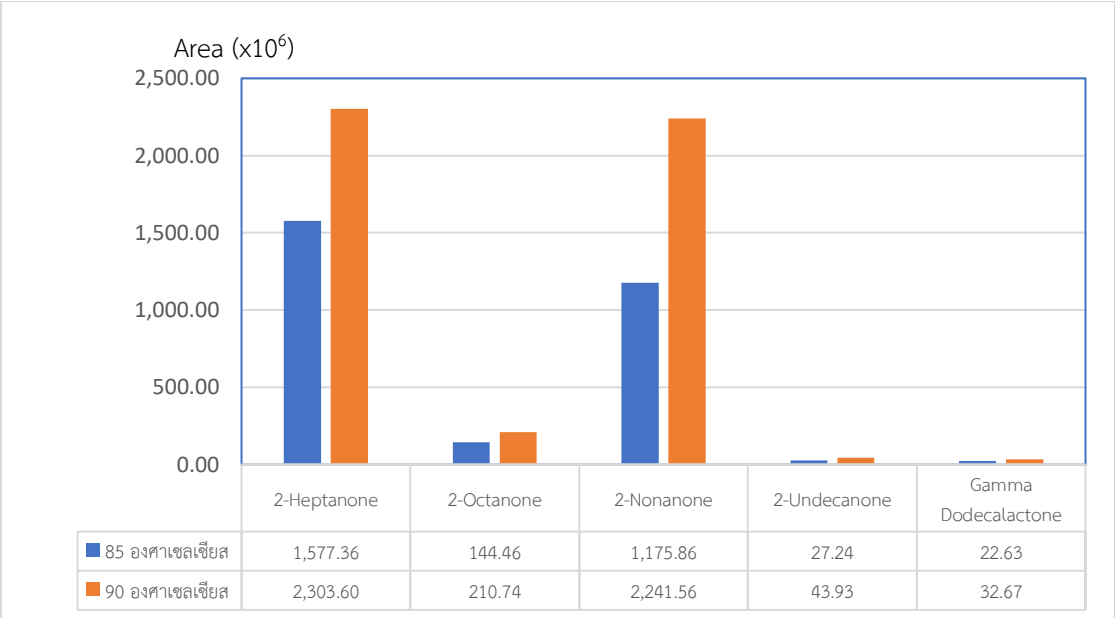
ภาพที่ 16 กราฟเปรียบเทียบปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีกลุ่มคีโตนในนมแพะกลิ่นปกติ พาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 และ 90 องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะที่มีกลิ่นมากพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิการ 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบสารในกลุ่มคีโตนที่เป็นสารระเหยที่อาจให้กลิ่น ทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ สาร 2-Heptanone, 2-Octanone, 2-Nonanone, 2-Undecanone และ γ-Dodecalactone โดยนมแพะพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มีปริมาณสารในกลุ่มคีโตนน้อยกว่า ดังภาพที่ 17 และภาพที่ 18 ในนมพาสเจอร์ไรส์จากนมแพะมีกลิ่นมากที่สภาวะนี้ก่อให้เกิดกลิ่นน้อยกว่าจึงเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการพาสเจอร์ไรส์ในกระบวนการแปรรูปโยเกิร์ต

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะพาสเจอร์ไรส์จากนมแพะกลิ่นปกติและมีกลิ่นมาก พบว่าที่อุณหภูมิการพาสเจอร์ไรส์ที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มีชนิดและปริมาณสารในกลุ่มคีโตนน้อยกว่า จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการพาสเจอร์ไรส์ในกระบวนการแปรรูปโยเกิร์ตต่อไป



ภาพที่ 17 โครมาโทแกรมของ GC-MS ที่ศึกษาอุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรส์นมแพะที่มีกลิ่นมาก เป็นเวลา 5 นาที (ก) ที่อุณหภูมิ 85 และ (ข) 90 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 18 กราฟเปรียบเทียบปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีกลุ่มคีโตนในนมแพะมีกลิ่นมากพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

ตารางที่ 11 องค์ประกอบทางเคมีของสารระเหยง่ายในนมแพะที่มีกลิ่นปกติพาสเจอร์ไรส์ที่ 85 และ 90 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS

ลำดับที่	ชื่อสาร	RT	I_{cal}	I_{Adams}	พาสเจอร์ไรส์ที่ 85˚C			พาสเจอร์ไรส์ที่ 90˚C		
					%Qual	Area (x10^6)	%Area	%Qual	Area (x10^6)	%Area
1	2, 3 Butanediol[a]	6.39			90	36	4.85	-	-	-
2	2-Heptanone[a]	8.42			91	58	7.70	91	265	44.92
3	Methyl n-hydroxy benzenecarboximidate[a]	9.109			90	12	1.67	-	-	-
4	Hexanoic acid[a, b]	10.62	992.9	1020	86	20	2.74	-	-	-
5	2-Octanone[a]	10.6	993.1		-	-	-	80	6	0.91
6	β-ocimene[a]	11.67	1,051.0			-		93	4	0.64
7	1-Octanol[a]	12.11	1,075.3		90	20	2.68	-	-	-
8	2-Nonanone[a, b]	12.45	1,094.3	1090	97	18	2.37	97	176	29.86
9	Nonanal[a, b]	12.66	1,106.6	1101	87	12	1.64	96	9	1.60
10	2-Phenylethanol[a]	12.88	1,111.7	-	95	9	1.21	-	-	-
11	Octanoic acid[a]	14.05	1,193.1	-	90	89	11.87	-	-	-
12	1-Undecanol[a]	15.25	1,276.3	-	83	29	3.88	-	-	-

ตารางที่ 11 องค์ประกอบทางเคมีของสารระเหยง่ายในนมแพะที่มีกลิ่นปกติพาสเจอร์ไรส์ที่ 85 และ 90 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อสาร	RT	I_{cal}	I_{Adams}	พาสเจอร์ไรส์ที่ 85˚C			พาสเจอร์ไรส์ที่ 90˚C		
					%Qual	Area (x10^6)	%Area	%Qual	Area (x10^6)	%Area
13	2-Undecanone[a, b]	15.54	1,296.8	1294	-	-		94	7	1.19
14	Methyl decanoate[a]	15.99	1,329.6	-	90	3	1.74	80	13	2.20
15	n-Decanoic acid[a]	16.62	1,375.9		98	143	19.10	97	6	1.00
16	4-tert-Pentylphenol[a]	16.98	1,402.2	-	94	9	1.26	96	15	2.62
17	Caryophyllene[a]	17.40	1,435.7	-	99	8	1.02	99	14	2.44
18	Dodecanoic acid[a]	18.99	1,563.3	-	98	37	4.94	-	-	
19	Hexadecane[a]	19.44	1,599.9	-				98	4	0.62
20	Tetradecanoic acid[a]	21.23	1,784.2	-	-	-	-	98	6	0.94
	รวมตรวจพบ					15 สาร			12 สาร	

หมายเหตุ a หมายถึง ได้รับการยืนยันโดยเปรียบเทียบกับแมสสเปกตรัมมาตรฐานใน Wiley Version 5, NIST Library ในรูปแบบความเหมือนมากกว่าร้อยละ 80

b หมายถึง ได้รับการยืนยันโดยเปรียบเทียบค่า Index (I_{cal}) ที่คำนวนได้กับค่า I_{Adams} ในเอกสารอ้างอิง Adams table

ตารางที่ 12 องค์ประกอบทางเคมีของสารระเหยง่ายในนมแพะที่มีกลิ่นมากพาสเจอร์ไรส์ที่ 85 และ 90 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS

ลำดับที่	ชื่อสาร	RT	I_{cal}	I_{Adams}	พาสเจอร์ไรส์ที่ 85˚C			พาสเจอร์ไรส์ที่ 90˚C		
					%Qual	Area (x10^6)	%Area	%Qual	Area (x10^6)	%Area
1	2-Heptanone[a]	8.42	-	-	91	1,577	34.27	91	2,303	22.74
2	Methyl n-hydroxy benzenecarboximidate[a]	9.10	-	-	90	42	0.91	-	-	-
3	2-Octanone[a, b]	10.62	992.7	991	93	144	3.14	93	211	2.08
4	Hexanoic acid[a, b]	11.15	1,022.1	1020	-	-	-	90	186	1.84
5	β-ocimene[a]	11.67	1,051.0	-	96	11	0.24	97	9	0.09
6	2-Nonanone[a, b]	12.45	1,094.3	1068	96	1,176	25.55	96	2,242	22.13
7	Nonanal[a, b]	12.66	1,106.6	1090	98	19	0.42	96	12	0.11
8	Methyl octanoate	12.97	1,126.2	1101	90	17	0.37	91	13	0.13
9	Octanoic acid[a, b]	14.05	1,193.8	1107	90	400	8.68	90	408	4.03
10	Ethyl octanoate[a]	14.12	1,198.5		87	7	0.15	-	-	-
11	Nonanoic acid[a]	15.22	1,273.3	-	93	11	0.24	91	48	0.47
12	2-Undecanone[a]	15.55	1,296.4	-	97	27	0.59	97	44	0.43

ตารางที่ 12 องค์ประกอบทางเคมีของสารระเหยง่ายในนมแพะที่มีกลิ่นมากพาสเจอร์ไรส์ที่ 85 และ 90 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS (ต่อ)

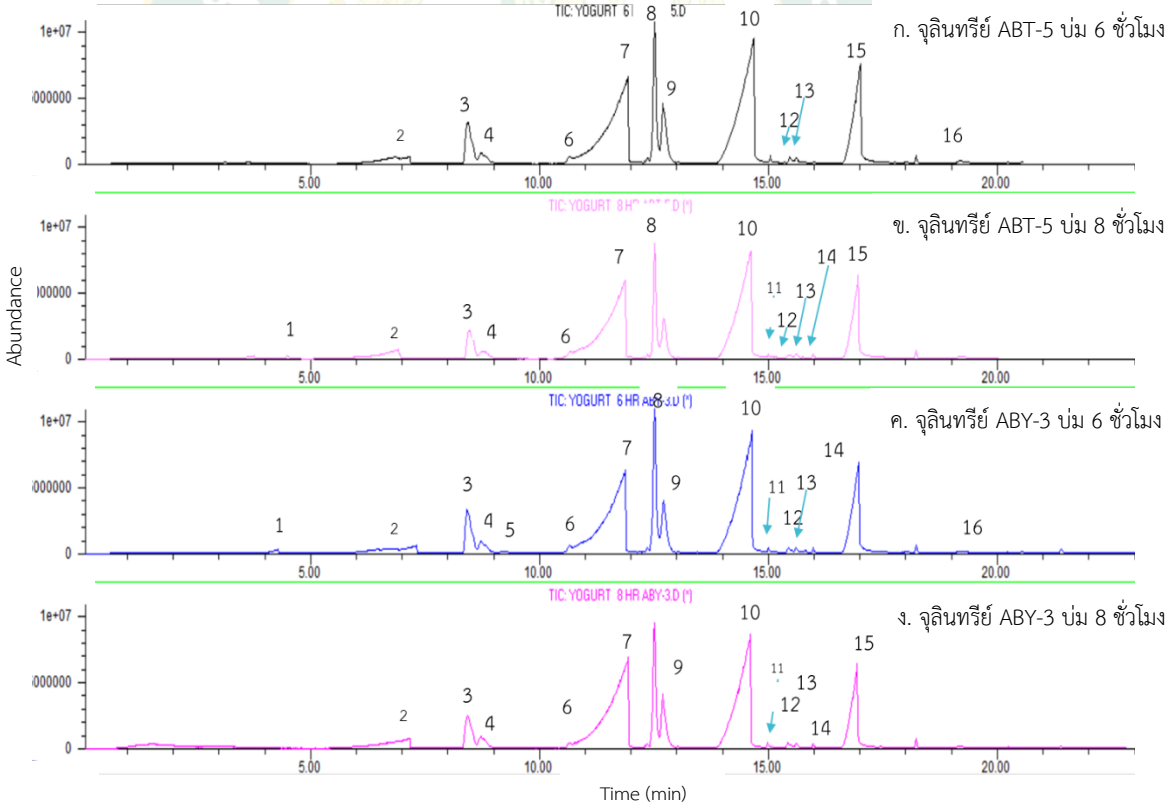
ลำดับที่	ชื่อสาร	RT	I_{cal}	I_{Adams}	พาสเจอร์ไรส์ที่ 85˚C			พาสเจอร์ไรส์ที่ 90˚C		
					%Qual	Area (x10^6)	%Area	%Qual	Area (x10^6)	%Area
13	Methyl decanoate[a]	15.97	1,327.3	-	-	-	-	96	30	0.30
14	n-Decanoic acid[a, b]	16.79	1,388.1	1388	97	702	15.26	96	2,426	23.96
15	Undecanoic acid[a]	17.86	1,470.9	-	-	-	-	95	12	0.12
16	Dodecanoic acid[a, b]	19.08	1,569.8	1566	99	50	1.08	99	180	1.77
17	γ-Dodecalactone[a]	20.44	1,687.2	-	83	23	0.49	84	33	0.32
18	Tetradecanoic acid[a]	21.26	1,447.7		99	20	0.43	99	50	0.49
	รวมตรวจพบ					15 สาร			16สาร	

หมายเหตุ a หมายถึง ได้รับการยืนยันโดยเปรียบเทียบกับแมสสเปกตรัมมาตรฐานใน Wiley Version 5, NIST Library ในรูปแบบความเหมือนมากกว่าร้อยละ 80

b หมายถึง ได้รับการยืนยันโดยเปรียบเทียบค่า Index (I_{cal}) ที่คำนวนได้กับค่า I_{Adams} ในเอกสารอ้างอิง Adams table

4.5 ผลการศึกษาชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมในการแปรรูปโยเกิร์ตนมแพะจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก

ในกระบวนการแปรรูปโยเกิร์ตจากนมแพะสามารถเลือกใช้เลือกใช้เชื้อจุลินทรีย์ได้ เช่น เชื้อจุลินทรีย์สเตรปโตค็อกคัสเทอร์โมฟิลัส (*Streptococcus thermophilus*) และแลกโท-บาซิลลัส เดลบริคคิไอ ซับสปีชีส์ บัลแกริคัส (*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*) เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างเชื้อ ABT-5 และ ABY-3 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้คือ นำนมไปผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ลดอุณหภูมินมลงเป็น 40 องศาเซลเซียส เติมเชื้อจุลินทรีย์ และหมักโยเกิร์ตที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบระยะเวลาในการหมักเป็นเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง จากนั้นนำไปสกกัดและวิเคราะห์ โดยเทคนิค SPME-GC-ได้โครมาโทแกรมแสดงดังภาพที่ 19 และมีองค์ประกอบของสารระเหยง่ายแสดงดังตารางที่ 13 และ 14 ตามลำดับ โดยเลขพีคบนโครมาโทแกรมสัมพันธ์กับเลขพีคในตารางที่ 14



ภาพที่ 19 โครมาโทแกรมของ GC-MS ของโยเกิร์ตที่หมักด้วยเชื้อ ABT-5 และ ABY-3 เชื้อชนิด ABT-5 (ก) หมัก 6 ชั่วโมง (ข) หมัก 8 ชั่วโมง และเชื้อชนิด ABY-3 (ค) หมัก 6 ชั่วโมง (ง) หมัก 8 ชั่วโมง

ในโยเกิร์ตนมแพที่มีกลิ่นมากที่หมักด้วยเชื้อ ABT-5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง พบองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมด 12 สาร และ 14 สาร ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 13 และ ในโยเกิร์ตจากนมแพะที่มีกลิ่นมากที่หมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ ABY-3 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง พบองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมด 16 สาร และ 13 สาร ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 14 โยเกิร์ตที่ 4 ตัวอย่าง พบสารที่เหมือนกัน ได้แก่ สาร Butanoic acid, 2-Heptanone, 2-Octanone, Hexanoic acid, 2-Nonanone, 2-Nonanal, Octanoic acid, Nonanoic acid, 2-Undecanone และ n-Decanoic acid ในจำนวนนี้พบสารในกลุ่มคีโตนที่อาจเป็นสารระเหยให้กลิ่น ได้แก่ สาร 2-Heptanone, 2-Octanone, 2-Nonanone และ 2-Undecanone โดยเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการหมักที่ต่างกันของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดเดียวกัน พบว่าที่ระยะเวลาในการหมัก 8 ชั่วโมง มีสารในกลุ่มคีโตน และกรดไขมันในปริมาณน้อยกว่าเมื่อพิจารณาจากพื้นที่ใต้พีค และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ต่างกันแต่ใช้ระยะเวลาในการบ่มเท่ากัน เชื้อจุลินทรีย์ ABT-5 ทำให้สารในกลุ่มคีโตนและกรดไขมันในปริมาณน้อยกว่าเมื่อพิจารณาจากพื้นที่ใต้พีค

ตารางที่ 13 องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABT-5 และเวลาหมักต่างกัน

ลำดับที่	ชื่อสาร	RT	I_{cal}	I_{Adams}	ตัวอย่างที่ 1 (หมัก 6 ชั่วโมง)			ตัวอย่างที่ 2 (หมัก 8 ชั่วโมง)		
					%Qual	Area ($x10^6$)	%Area	%Qual	Area ($x10^6$)	%Area
1	Acetic acid[a]	4.49	-		-	-	-	85	6	0.13
2	Butanoic acid[a]	6.87	-		90	130	2.14	91	129	2.682
3	2-Heptanone[a]	8.44	-		91	303	5.01	91	210	4.35
4	2-Heptanol[a]	8.73	-		93	94	1.55	89	68	1.41
5	2-Octanone[a]	10.67	-		80	42	0.70	83	41	0.85
6	Hexanoic acid[a, b]	11.93	1,065.3	1020	83	1779	29.40	95	1585	32.93
7	2-Nonanone[a, b]	12.52	1,098.2	1090	97	502	8.30	95	367	7.62
8	2-Nonanal[a, b]	12.70	1,109.3	1101	90	332	5.48	90	224	4.65
9	Octanoic acid[a, b]	14.68	1,236.6	1262	90	1911	31.58	95	1528	31.73
10	4-Methyloctanoic acid[a]	15.00	1,258.7		-	-	-	80	7	0.14
11	Nonanoic acid[a]	15.47	1,290.6	-	95	20	0.32	93	11	0.24
12	2-Undecanone[a]	15.61	1,300.3	-	80	14	0.24	98	11	0.23
13	Methyl decanoate[a, b]	16.00	1,329.4	1294	-	-	-	80	8	0.17
14	n-Decanoic acid[a]	17.00	1,403.9	-	98	807	13.33	98	588	12.22

ตารางที่ 13 องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABT-5 และเวลาหมักต่างกัน (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อสาร	RT	I_{cal}	I_{Adams}	ตัวอย่างที่ 1 (หมัก 6 ชั่วโมง)			ตัวอย่างที่ 2 (หมัก 8 ชั่วโมง)		
					%Qual	Area (x10^6)	%Area	%Qual	Area (x10^6)	%Area
15	Dodecanoic acid[a]	19.19	1,579.0		98	15	0.25	-	-	-
	รวมตรวจพบ					12 สาร			14 สาร	

หมายเหตุ a หมายถึง ได้รับการยืนยันโดยเปรียบเทียบกับแมสสเปกตรัมมาตรฐานใน Wiley Version 5, NIST Library ในรูปแบบความเหมือนมากกว่าร้อยละ 80

b หมายถึง ได้รับการยืนยันโดยเปรียบเทียบค่า Index (I_{cal}) ที่คำนวนได้กับค่า I_{Adams} ในเอกสารอ้างอิง Adams table

ตารางที่ 14 องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมาก ที่ใช้เชื้อใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABY-3 และเวลาหมักต่างกัน

ลำดับที่	ชื่อสาร	RT	I_{cal}	I_{Adams}	ตัวอย่างที่ 3 (หมัก 6 ชั่วโมง)			ตัวอย่างที่ 4 (หมัก 8 ชั่วโมง)		
					%Qual	Area (x10^6)	%Area	%Qual	Area (x10^6)	%Area
1	Acetic acid[a]	4.22	-	-	90	12	0.39	-	-	-
2	Butanoic acid[a]	6.87	-	-	91	355	5.99	91	266	4.81
3	2-Heptanone[a]	8.44	-	-	91	311	5.62	91	249	4.50
4	2-Heptanol[a]	8.73	-	-	83	100	1.81	83	94	1.70
5	Methyl n-hydroxy benzenecarboximidate[a]	9.20	-	-	87	15	0.27	86	-	-

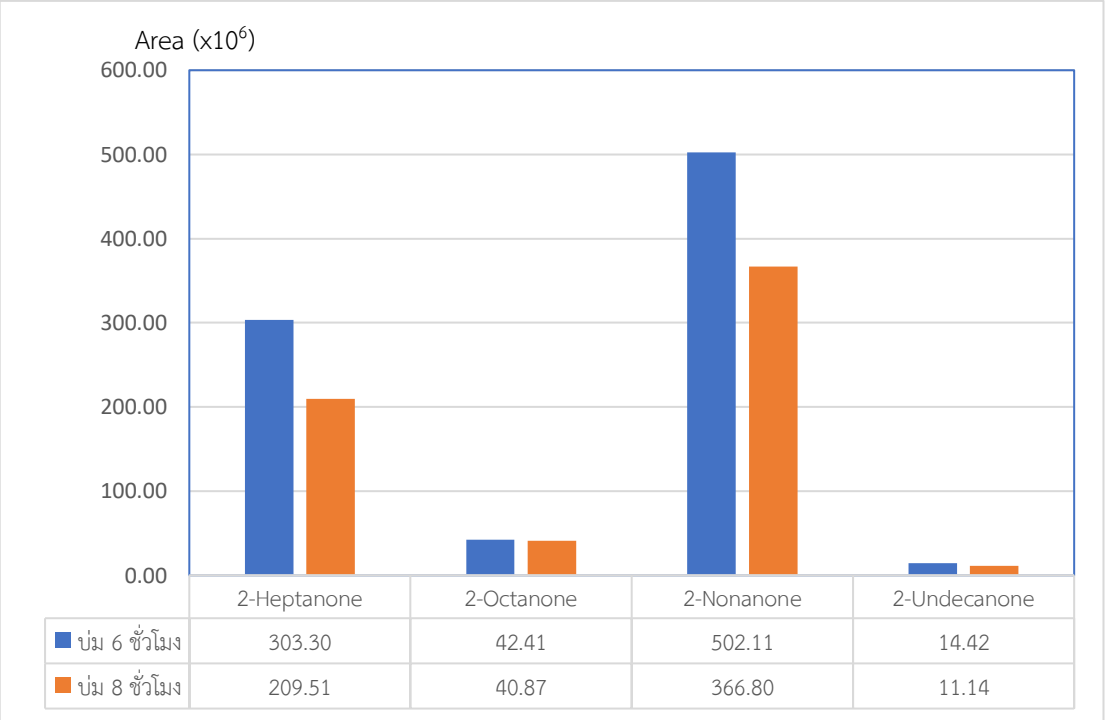
ตารางที่ 14 องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมาก ที่ใช้เชื้อใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABY-3 และเวลาหมักต่างกัน (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อสาร	RT	I_{cal}	I_{Adams}	ตัวอย่างที่ 3(หมัก ชั่วโมง)			ตัวอย่างที่ 4 (หมัก 8 ชั่วโมง)		
					%Qual	Area (x10^6)	%Area	%Qual	Area (x10^6)	%Area
6	2-Octanone[a]	10.67	995.4	-	83	42	0.76	97	25	0.46
7	Hexanoic acid[a, b]	11.93	1,065.3	1020	97	1,660	30.02	97	1,880	33.94
8	2-Nonanone[a, b]	12.52	1,098.2	1090	86	534	9.66	90	442	7.98
9	2-Nonanal[a, b]	12.70	1,109.3	1101	90	291	5.27	90	277	5.00
10	Octanoic acid[a, b]	14.59	1,230.6	1262	93	1,707	30.87	91	1,575	28.44
11	4-Methyloctanoic acid[a]	15.00	1,258.7	-	86	6.	0.12	97	16	0.28
12	Nonanoic acid[a]	15.47	1,289.9	-	98	21	0.38	95	19	0.34
13	2-Undecanone[a, b]	15.61	1,300.3	1294	91	15	0.28	91	11	0.20
14	Methyl decanoate[a]	16.00	,329.4	-	80	9	0.16	82	6	0.11
15	n-Decanoic acid[a]	17.00	1,403.9	-	98	691	12.50	98	585	10.56
16	Dodecanoic acid[a]	19.17	1,577.7	-	95	5	0.09			
	รวมตรวจพบ					**16 สาร**			**13 สาร**	

หมายเหตุ a หมายถึง ได้รับการยืนยันโดยเปรียบเทียบกับแมสสเปกตรัมมาตรฐานใน Wiley Version 5, NIST Library ในรูปแบบความเหมือนมากกว่าร้อยละ 80

b หมายถึง ได้รับการยืนยันโดยเปรียบเทียบค่า Index (I_{cal}) ที่คำนวนได้กับค่า I_{Adams} ในเอกสารอ้างอิง Adams table

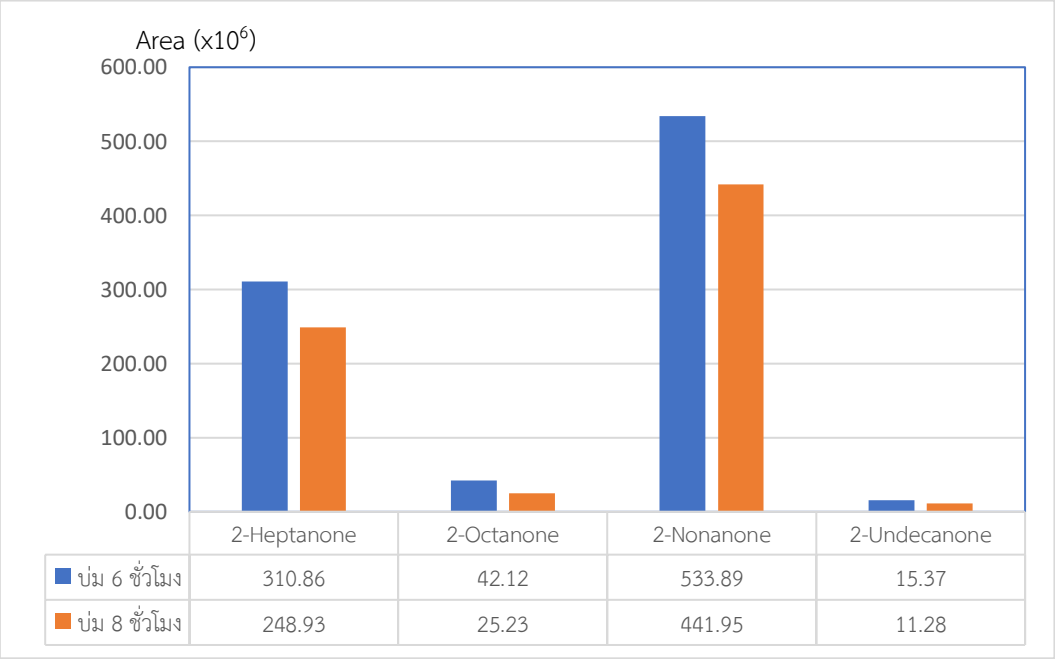
เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABT-5 หมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง พบสารในกลุ่มคีโตนที่เป็นสารระเหยง่ายและอาจเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่น ทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ 2-Heptanone, 2-Octanone, 2-Nonanone และ 2-Undecanone โดยพบสาร 2-Heptanone และ 2-Nonanone ในปริมาณที่มาก และแตกต่างกันอย่างชัดเจน โยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากที่หมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมงมีปริมาณสารในกลุ่มคีโตนน้อยกว่า จึงคาดว่าจะมีกลิ่นไม่พึงประสงค์น้อยกว่า ดังภาพที่ 20



	2-Heptanone	2-Octanone	2-Nonanone	2-Undecanone
บ่ม 6 ชั่วโมง	303.30	42.41	502.11	14.42
บ่ม 8 ชั่วโมง	209.51	40.87	366.80	11.14

ภาพที่ 20 กราฟเปรียบเทียบปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABT-5 ที่หมักเป็นเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABY-3 หมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง พบสารในกลุ่มคีโตนที่ที่เป็นสาระะเหยง่ายและอาจเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่น ทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ สาร 2-Heptanone, 2-Octanone, 2-Nonanone และ 2-Undecanone โดยพบสาร 2-Heptanone และ 2-Nonanone ในปริมาณที่มาก และแตกต่างกันอย่างชัดเจน โยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากที่หมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีปริมาณสารในกลุ่มคีโตนน้อยกว่า จึงคาดว่าจะมีกลิ่นไม่พึงประสงค์น้อยกว่า ดังภาพที่ 21



	2-Heptanone	2-Octanone	2-Nonanone	2-Undecanone
บ่ม 6 ชั่วโมง	310.86	42.12	533.89	15.37
บ่ม 8 ชั่วโมง	248.93	25.23	441.95	11.28

ภาพที่ 21 กราฟเปรียบเทียบปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในที่ในโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากทีใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABY-3 ที่หมักเป็นเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง

4.6 ผลทดสอบการยอมรับผู้บริโภค ต่อโยเกิร์ตนมแพะจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก ที่หมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาต่างกัน

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากโดยเปรียบเทียบการใช้เชื้อจุลินทรีย์ทางการค้า 2 ชนิด คือ ABT-5 และ ABY-3 ใช้อุณหภูมิในการหมักโยเกิร์ตที่ 40 องศาเซลเซียส และเปรียบเทียบเวลาในการหมักที่ 6 และ 8 ชั่วโมง โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 (9-point hedonic scale) (Peryam and Pilgrim, 1957) โดยคุณลักษณะที่ทดสอบมีดังนี้ คือ ลักษณะปรากฏ (appearance) กลิ่น (Odor) รสชาติ (Flavor) ความข้นหนืด (Viscosity) ความเนียนเรียบ (Homogenous) และความชอบโดยรวม (Overall acceptability) ทำการทดสอบกับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน โดยเป็นกลุ่มเจ้าหน้าที่กรมปศุสัตว์ นักศึกษา และผู้บริโภคที่รับประทานนมแพะ ได้ผลดังตารางที่ 15 และสรุปได้ดังนี้

1. คุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ (appearance)

คะแนนคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่สูตรโยเกิร์ตนมแพะตัวอย่างที่ 1 ที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ชนิด ABT-5 หมักเป็นเวลา 6 ชั่วโมงมีคะแนนความชอบมากที่สุด คือ 6.50±0.68 คะแนน

2. คะแนนคุณลักษณะด้านกลิ่น (Odor)

คะแนนคุณลักษณะด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากทั้ง 4 ตัวอย่าง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และพบว่าสูตรโยเกิร์ตนมแพะที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ชนิด ABT-5 หมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีคะแนนความชอบมากที่สุด คือ 5.87±0.90 คะแนน

3. คะแนนคุณลักษณะด้านรสชาติ (Flavor)

คะแนนคุณลักษณะด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และสูตรโยเกิร์ตนมแพะที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ชนิด ABT-5 หมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมงมีคะแนนความชอบมากที่สุด คือ 6.57±0.90 คะแนน

4. คะแนนคุณลักษณะด้านความข้นหนืด (Viscosity)

คะแนนเนื้อสัมผัสโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากทั้ง 4 ตัวอย่าง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และพบว่าสูตรโยเกิร์ตนมแพะที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ชนิด ABT-5 หมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีคะแนนความชอบมากที่สุด คือ 6.00±0.74 คะแนน

5. คะแนนคุณลักษณะด้านความเนียนเรียบ (Homogenous)

คะแนนคุณลักษณะด้านความชอบของโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากทั้ง 4 ตัวอย่าง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และพบว่าสูตรโยเกิร์ตนมแพะที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ชนิด ABT-5 หมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมงมีคะแนนความชอบมากที่สุด คือ 6.03±0.93 คะแนน

6. คะแนนคุณลักษณะด้านความชอบโดยรวม (Overall acceptability)

คะแนนคุณลักษณะด้านความชอบของโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากทั้ง 4 ตัวอย่าง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และพบว่าสูตรโยเกิร์ตนมแพะที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ชนิด ABT-5 หมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมงมีคะแนนความชอบมากที่สุด คือ 6.50±0.78 คะแนน

ตารางที่ 15 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาหมักต่างกัน

ลำดับที่	คุณลักษณะที่ทดสอบ	เชื้อจุลินทรีย์ ABT-5		เชื้อจุลินทรีย์ ABY-3	
		ตัวอย่างที่ 1 หมัก 6 ชั่วโมง	ตัวอย่างที่ 2 หมัก 8 ชั่วโมง	ตัวอย่างที่ 3 หมัก 6 ชั่วโมง	ตัวอย่างที่ 4 หมัก 8 ชั่วโมง
1	ลักษณะปรากฏ^{ns}	6.50±0.68	6.47±0.78	6.43±0.50	6.47±0.57
2	กลิ่น	5.23±0.57^{a}	5.87±0.90^{b}	5.07±0.64^{c}	5.13±0.73^{c}
3	รสชาติ	5.33±0.76^{a}	6.57±0.90^{b}	5.37±0.56^{a}	5.57±0.57^{c}
4	ความข้นหนืด	5.53±0.63^{a}	6.00±0.74^{b}	5.50±0.73^{a}	5.77±0.57^{c}
	ความเนียนเรียบ	5.47±0.86^{a}	6.03±0.93^{b}	5.33±0.76^{c}	5.67±0.61^{d}
5	ความชอบโดยรวม	6.30±0.79^{a}	6.50±0.78^{b}	5.33±0.66^{c}	5.77±0.63^{d}

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากผลการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาหมักต่างกัน พบว่าโดยเฉลี่ยแล้วผู้ทำการทดสอบชอบโยเกิร์ตตัวอย่างที่ 2 ซึ่งใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABT-5 หมักที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง โดยมีคะแนนสูงสุดในด้านกลิ่น รสชาติ ความข้นหนืด ความเนียนเรียบ และความชอบโดยรวม และอยู่ในช่วง 5.87 – 6.57 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มชอบเล็กน้อย และโยเกิร์ตที่แปรรูปในงานวิจัยนี้เป็นโยเกิร์ตรสธรรมชาติไม่มีการเติมน้ำตาลและสารปรุงแต่งรสชาติจึงทำให้มีคะแนนความชอบน้อย หากต้องการผลิตเพื่อการบริโภคหรือทางการค้าควรมีการเติมสารปรุงแต่งรสชาติเพื่อให้ผู้บริโภคมีความชอบเพิ่มขึ้น

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 การศึกษาคุณภาพองค์ประกอบของนมแพะดิบกลิ่นมากและที่มีกลิ่นปกติ

พบว่า องค์ประกอบหลักของนมแพะดิบ คือ ไขมัน โปรตีน น้ำตาลแล็กโทส เนื้อนมทั้งหมด ความหนาแน่น และความเป็นกรด-เบส ในพารามิเตอร์เดียวกันนมแพะดิบที่มีกลิ่นปกติและมีกลิ่นมากไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และผ่านเกณฑ์คุณภาพตามมาตรฐานของคุณภาพนมแพะ ดังนั้นองค์ประกอบหลักนมจึงไม่สามารถบ่งบอกความแตกต่างของกลิ่นในนมแพะได้เนื่องจากกลิ่นของนมแพะดิบไม่แปรผันกับปริมาณขององค์ประกอบหลักของนมแพะดิบที่ตรวจวัด ที่เป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ไม่มีการระเหย แต่สารให้กลิ่นมักเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและระเหยได้ง่าย

5.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบด้วยเทคนิค SPME-GC-MS

การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในนมแพะดิบด้วยเทคนิค SPME-GC-MS พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดด้วย SPME fibers ชนิด 50/30 µm DVB/CAR/PDMS คือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดที่เหมาะสมคือเป็นเวลา 45 นาที เนื่องจากให้ผลจำนวนสารระเหยที่สามารถสกัดได้มากที่สุด โดยที่สภาวะการสกัดนี้พบว่าในนมแพะดิบกลิ่นปกติตรวจพบองค์ประกอบทางเคมีได้จำนวน 9 สาร และในนมแพะดิบมีกลิ่นมากตรวจพบองค์ประกอบทางเคมีจำนวน 14 สาร

5.3 การศึกษาชนิดขององค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติที่อาจเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงพิสูจน์เอกลักษณ์ขององค์ประกอบทางเคมีในนมแพะดิบ โดยเปรียบเทียบแมสสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้กับแมสสเปกตรัมมาตรฐานในฐานข้อมูล Wiley Version 5 และ NIST Library โดยมีค่าร้อยละความเหมือนของแมสสเปกตรัมกับแมสสเปกตรัมมาตรฐานมากกว่าร้อยละ 80 ร่วมกับการเปรียบเทียบค่าดัชนีรีเทนชันกับค่าดัชนีรีเทนชันมาตรฐาน (I_{Adams}) โดยใช้สารละลายมาตรฐานอัลเคน C8-C20 (Normal Alkanes C8-C20) เพื่อใช้เวลารีเทนชันของสารมาตรฐานเปรียบเทียบกับสารที่พบในตัวอย่างในการคำนวณหาค่าดัชนีรีเทนชัน พบว่า ในนมแพะดิบกลิ่นปกติตรวจพบองค์ประกอบทางเคมีจำนวน 4 สาร โดย สาร Dodecane มีร้อยละโดยพื้นที่ใต้พีคมากที่สุด และในนมแพะดิบมีกลิ่นมากพบองค์ประกอบทางเคมีจำนวน 10 สาร โดย สาร 2-Heptanone มีร้อยละโดยพื้นที่ใต้พีคมากที่สุด จะเห็นได้ว่าในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากมีสารประกอบกลุ่ม คีโตนอยู่หลายชนิด ซึ่งสารประกอบกลุ่มคีโตนเหล่านี้มีคุณสมบัติให้กลิ่น เช่น สาร 2-Heptanone ที่เป็นสารที่ปริมาณมากสุด ซึ่งให้กลิ่นคล้ายกล้วยหรือผลไม้ สาร 2-Nonanone ที่มีปริมาณรองลงมา ให้กลิ่นคล้ายผลไม้ (The National Institute for Occupational Safety and Health, 2019) เป็นต้น อีกทั้งสารคีโตนเหล่านี้ยังสามารถย่อยสลายได้สารกลุ่มอัลดีไฮด์ที่เป็นสารที่มีกลิ่นมาก สารคีโตนเหล่านี้จึงนับเป็นองค์ประกอบทางเคมีระเหยง่ายที่คาดว่าให้เกิดกลิ่นนมแพะดิบ

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-SPME-GC-MS แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีระเหยง่ายในนมแพะที่มีกลิ่นมากและนมแพะที่มีกลิ่นปกติ โดยพบสารระเหยได้จำนวนมากกว่าในนมแพะที่มีกลิ่นมาก และพบในปริมาณมากกว่าโดยพิจารณาจากพื้นที่ใต้พีค การสกัดด้วยวิธี HS-SPME สามารถวิเคราะห์สารที่สามารถระเหยได้เท่านั้น ทำให้สารระเหยได้ที่ตรวจพบเป็นสารที่ให้กลิ่นจริงมีความใกล้เคียงกับการเกิดกลิ่นในธรรมชาติของตัวอย่าง และนอกจากนี้ในนมแพะดิบที่มีกลิ่นมากยังตรวจพบกรดไขมัน ได้แก่ สาร Octanoic acid และ n-Decanoic acid ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีขนาดเล็ก มีประโยชน์ต่อร่างกาย สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดี และเป็นเอกลักษณ์ของแพะ นมแพะที่มีกลิ่นมากจึงเป็นนมที่มีคุณประโยชน์สูง แต่จากการที่ผู้บริโภคไม่พึงประสงค์กับกลิ่นเหล่านี้ ผลิตภัณฑ์จากนมแพะมีกลิ่นมากจึงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

5.4 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการพาสเจอร์ไรส์จากนมแพะที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นปกติ

ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการพาสเจอร์ไรส์เพื่อแปรรูปเป็นโยเกิร์ตจากนมแพะที่มีกลิ่นมากและมีกลิ่นโดยใช้การสกัดกลิ่นในนมแพะมีกลิ่นปกติและมีกลิ่นมากที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิการฆ่าเชื้อที่ 85และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ด้วยเทคนิคการดูดซับกลิ่นด้วย SPME fibers: 50/30 µm DVB/CAR/PDMS คือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที พบว่าในนมแพะกลิ่นปกติเมื่อพาสเจอร์ไรส์ที่ 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มีสารระเหยง่ายทั้งหมด 15 สาร และ12 สาร ตามลำดับ และในนมแพะมีกลิ่นมากเมื่อ พาสเจอร์ไรส์ที่ 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบสารระเหยง่ายทั้งหมด 15 สาร และ16 สาร ตามลำดับ และพบสารในกลุ่ม คีโตนที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีระเหยง่ายที่คาดว่าให้เกิดกลิ่นนมแพะได้แก่ สาร 2-Heptanone 2-Octanone 2-Nonanone และ 2-Undecanone โดยการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เป็นสภาวะที่พบสารกลุ่มคีโตนน้อยกว่า สภาวะนี้จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการการพาสเจอร์ไรส์นมแพะเพื่อการแปรรูป

5.5 การศึกษาชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมในการแปรรูปโยเกิร์ตนมแพะจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตนมแพะจากนมแพะที่มีกลิ่นมากแต่ละสูตรด้วยเทคนิค SPME-GC-MS ของโยเกิร์ตจากนมแพะที่มีกลิ่นมากที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABT-5 หมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง พบองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมด 12 สาร และ 14 สาร ตามลำดับ และในโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABY-3 หมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง พบองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมด 16 สาร และ 13 สาร ตามลำดับ ซึ่งในจำนวนนี้พบสารในกลุ่มคีโตนที่อาจเป็นสารระเหยให้กลิ่น ได้แก่ สาร 2-Heptanone 2-Octanone 2-Nonanone และ 2-Undecanone และเมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟพบว่าโยเกิร์ตจากนมแพะที่มีกลิ่นมากที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ABT-5 หมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบสารในกลุ่ม คีโตนที่อาจเป็นสารระเหยให้กลิ่นน้อยที่สุด และจากผลการทดลอบทางประสาทสัมผัสพบว่าโยเกิร์ตนมแพะที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ชนิด ABT-5 หมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีคะแนนความชอบมากที่สุด นั้นคือมีการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด

5.6 การศึกษาการยอมรับผู้บริโภค ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมในการแปรรูปโยเกิร์ตนมแพะจากนมแพะที่มีกลิ่นมาก

การศึกษาคุณภาพทางร้อยละ ประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตจากนมแพะมีกลิ่นมากที่เปรียบเทียบการใช้เชื้อจุลินทรีย์ทางการค้าเปรียบเทียบ 2 ชนิด คือ ชนิด ABT-5 และ ABY-3 ใช้อุณหภูมิในการหมักโยเกิร์ตที่ 40 องศาเซลเซียส และเปรียบเทียบเวลาในการหมักที่เป็นเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 โดยคุณลักษณะที่ทดสอบมีดังนี้ คือ ลักษณะปรากฏ (appearance) กลิ่น (Odor) รสชาติ (Flavor) ความข้นหนืด (Viscosity) ความเนียนเรียบ (Homogenous) และความชอบโดยรวม (Overall acceptability) สามารถสรุปได้ว่า โยเกิร์ตที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ทางการค้าชนิด ABT-5 และทำการหมักที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เป็นโยเกิร์ตที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค HS-SPME-GC/MS เป็นเทคนิคที่ง่ายแต่ไม่ได้เป็นการตรวจวัดแบบดมกลิ่นโดยตรง ซึ่งควรศึกษาต่อด้วยเทคนิค GC-Olfactory
2. ผลการศึกษานี้อาจเป็นแนวทางการติดตามสารที่เป็นสาเหตุของกลิ่นเพื่อเป็นแนวทางการลดกลิ่นในน้ำนมแพะที่มีกลิ่นมากได้
3. จากผลการวิจัยนี้แม้กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส จะให้กลิ่นที่น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส แต่ในน้ำนมแพะที่มีกลิ่นมากยังมีสารให้กลิ่นมากกว่าน้ำนมแพะกลิ่นปกติ จึงอาจต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมว่าการนำน้ำนมแพะไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น เช่น เนยแข็ง เป็นต้น จะทำให้สารระเหยเหล่านี้ลดลง หรือเปลี่ยนรูปโดยที่กรดไขมันที่มีประโยชน์และเป็นเอกลักษณ์ของแพะยังมีอยู่เพื่อให้ผลดีกับผู้บริโภคสูงที่สุด
4. ผลการวิจัยนี้ได้มีการควบคุมด้านความสะอาดของกระบวนการรีดนมเป็นอย่างดีทำให้ลดปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมที่อาจทำให้เกิดกลิ่น เช่น ฟางเน่า เศษอาหาร อุจจาระหรือปัสสาวะของแพะ ฯลฯ ดังนั้นหากแหล่งเลี้ยงแพะมีความสะอาดด้านการจัดการฟาร์มน้อยหรือกระบวนการรีดไม่สะอาด น้ำนมที่ได้อาจมีกลิ่นที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปปนเปื้นได้นอกเหนือจากกลิ่นโดยธรรมชาติของน้ำนมแพะเอง

บรรณานุกรม

กลุ่มวิจัยและพัฒนาระบบฟาร์มปศุสัตว์ (สัตว์เล็ก – สัตว์ปีก) สำนักส่งเสริมและพัฒนาการปศุสัตว์. (2563). **กิจกรรมหลักถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีด้านการปศุสัตว์ กิจกรรมย่อย พัฒนาสัตว์เล็ก – สัตว์ปีก.** สำนักส่งเสริมและพัฒนาการปศุสัตว์. กรมปศุสัตว์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ดวงจิต คนึงเพียร และคณะ. (2557, กรกฎาคม – ธันวาคม). การตรวจสอบคุณภาพนมแพะดิบ ในเขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร. **สัตวแพทย์มหานครสาร**, 9(2), หน้า 83-88.

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 265 พ.ศ.2545 เรื่อง นมโค. **ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป** เลม 120 ตอนพิเศษ 4 ง ลงวันที่ 10 มกราคม พ.ศ.2546.

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 289 พ.ศ.2548 เรื่อง นมเปรี้ยว. **ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป** เลม 122 ตอนพิเศษ 021 ง ลงวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ.2548.

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 298 พ.ศ.2549 เรื่อง วิธีการผลิตเครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิตและเก็บรักษาอาหาร. **ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป**. เลม 123 ตอนพิเศษ 96 ง ลงวันที่ 13 กันยายน พ.ศ.2549.

พัชรินทร์ ภักดีฉนวน และเนตรนภิส อ๋องสุวรรณ. (2009). เรื่องนมแพะภาคใต้ตอนล่าง : การลดกลิ่นสาบนมแพะ. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2009). ภาวะไม่ทนต่อแล็กโทส. ค้นเมื่อ 12 มกราคม 2564, จาก https://www.wikiwand.com/th/%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%88%E0%B8%97%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B9%87%E0%B8%81%E0%B9%82%E0%B8%97%E0%B8%AA

วิไล รังสาดทอง. (2557). **เทคโนโลยีการแปรรูป.** พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด. 150-175.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (มกอช). 6006-2551 เรื่อง นมแพะดิบ. (2551, 18 สิงหาคม). **ราชกิจจานุเบกษา.** เล่ม 125 ตอนพิเศษ 139. หน้า 1-4.

ศศิธร นาคทอง. (2558). “ผลิตภัณฑ์นมแพะ” **องค์ความรู้เรื่องนมแพะ.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. กรุงเทพ.

อรุณรัตน์ สัณฐิติกวินสกุล. (2563). **สเปกโทรสโกปีสำหรับเคมีอินทรีย์.** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โครงการตำรามหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. นครปฐม.

Adams, A. P. (2001). **Identification of essential oil components by gas chromatography/quadrupole mass spectroscopy.** Wheaton: Allured publishing. (25-40).

Avila, M., Garde,s., Garcia, E.F., Medina, M. & Nunez, M. (2006) Effect of high-pressure treatment and a bacteriocin-producing lactic culture on the odor and aroma of hispa´nico cheese : correlation of volatile compounds and sensory analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 54, 382-389.

Castro, M. R., Natera, M. R., DurnG. E.·& Barroso. C. E. (2008). Application of solid phase extraction techniques to analyse volatile compounds in wines and other enological products. **Journal European Food Research and Technology**, 228, 1–18.

Cozzolino, R. et al.(2014). Use of solid-phase microextraction coupled to gas chromatography–mass spectrometry for determination of urinary volatile organic compounds in autistic children compared with healthy. **Analytical and Bioanalytical Chemistry,** 406, 4649–4662.

Di Cagno, R., Evan Miracle, R., De Angelis, M., Minervini, F., Rizzello, C., Anne Drake, M., F Fox, P. & Gobbetti, M. (2007). Compositional, microbiological, biochemical, volatile profile and sensory characterization of four Italian semi-hard goats' cheeses. **Journal of Dairy Research**. 74(4), 468 - 47.

Guowei, S., Lei, N., Wan, H., Wang, C., Chen, H. & Li, H. (2016). Effect of temperature and inoculum size on fermentation of goat yogurt containing lactobacillus acidophilus and bifidobactrium bifidum. **Advance Journal of Food Science and Technology**, 10(8), 616-620.

Hussain, S. Z. & Maqbool, K. (2014). GC-MS: Principle, Technique and its application in Food Science. **International Journal of Current Science,** 13, 116-126.

Hodgkinson, A. J., Wallace, O. A. M., Boggs, I., Broadhurst, M. & Prosser, C. G. (2018). Gastric digestion of cow and goat milk: Impact of infant and young child in vitro digestion conditions. **Food Chemistry**, 245, 275-281.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2015) Lactose /น้ำตาลแล็กโทสค้นเมื่อ 12 มกราคม 2564, จาก http://www .foodnetworksolution.com/wiki/word/ 1036/lactose-%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%95%E0%B8%B2%E0%B8%A5%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B9%87%E0%B8%81%E0%B9%82%E0%B8%97%E0%B8%AA

Maathuis, A., Havenaar, R., H, T. & Bellmann, S. (2017). Protein digestion and quality of goat and cow milk infant formula and guman milk under simulated infant conditions. **Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition**, 65(6), 661-666.

Paul R. L. (2017) Quantitating VOCs in Serum Using Automated Headspace-SPME/Cryo-Focusing/Isotope Dilution/Capillary GC-MS. ค้นเมื่อ 12 มกราคม 2564, จาก https://www.americanlaboratory.com/914-Application-Notes/335859-Quantitating-VOCs-in-Serum-Using-Automated-Headspace-SPME-Cryo-Focusing-Isotope-Dilution-Capillary-GC-MS/

Shirey, E. R. (2012). 4 - SPME Commercial Devices and Fibre Coatings. **Handbook of Solid Phase Microextraction 2012**, 99-133.

Park, Y.W. (2007). Impact of goat milk and milk products on human nutrition. CAB reviews: perspectives in agriculture, **Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, 081(2), CAB Online Journal. ISSN 1749-8848.

Poveda, J. M., Sanchez-Palomo, E., Perez-Coello, M. S. & Cabezas, L. (2008). Volatile composition, olfactometry profile and sensory evaluation of semi-hard Spanish

goat cheeses. **Dairy Science & Technology**, 88(3), 355-367.

Siefarth, C. & Buettner, A. (2014). The Aroma of goat milk: seasonal effects and changes through heat treatment. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 62(49), 11805-11817.

Sipalova, M. &. Kracmar, S. (2011). Aroma active compounds in milk form goat fed basil (Ocimum basilicum). **Acta Universitatis Agriculturae et Silvicurae Mendelianae Brunensis**, 59, 171-178.

Skjevdal, T. (1979). Flavour of goat's milk: A review of studies on the sources of its variations. **Livestock Production Science**, 6(4), 397-405.

Soria, A. C., Sanz, J. & Castro, I. M. (2008). SPME followed by GC–MS: a powerful technique for qualitative analysis of honey volatiles. **Journal European Food Research and Technology**, 228, 579–590.

The National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH. (2019). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards: Methyl (n-amyl) ketone. ค้นเมื่อ 12 มกราคม 2564, จาก https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd 0399.html

Vas, G. & Vekey, K. (2004). Solid-phase microextraction: a powerful sample preparation tool prior to mass spectrometric analysis. **Masspectrometry**, 39(4), 233-254.

Waldron, P. (2014). Science Shot: The Secrets of the 'Goaty Smell'. ค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2563, จาก http://www.sciencemag.org/news/2014/02/scienceshot-secrets-goaty-smell.

Whrtstine, M. E., Yugeer, Y. K., Avsar, Y. K., & Drake, M. A. (2003). Identification and quantification of character aroma components in fresh chevre-style goat cheese. **Food Chemistry Toxicology**, 68(8), 2441-2447.

.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แผนผังขั้นตอนกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากน้ำนมแพะ

ก.1 การแปรรูปนมแพะพาสเจอร์ไรส์

1. น้ำนมแพะดิบ

2. นำไปพาสเจอร์ไรส์ตามสภาวะที่ศึกษา และลดอุณหภูมิลงเหลือ 4 องศาเซลเซียส

3. บรรจุใสภาชนะ

ก.2 การแปรรูปนมแพะพาสเจอร์ไรส์

1.น้ำนมแพะดิบ

2. นำไปพาสเจอร์ไรส์ตามสภาวะที่ศึกษา และลดอุณหภูมิลงเหลือ 40 องศาเซลเซียส

3. เติมเชื้อจุลินทรีย์

4. บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

5. บรรจุใสภาชนะ

ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

1. ค่าเฉลี่ย $(Mean;\ \overline{\mathrm{X}})$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{N}$$

เมื่อ $\overline{\mathrm{X}}$ = ค่าเฉลี่ย

x_i = ค่าที่ได้จากการทดลอง

N = จำนวนครั้งของการทดลอง

2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $(Standard\ deviation;\ \mathrm{SD})$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

เมื่อ SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\overline{\mathrm{X}}$ = ค่าเฉลี่ย

x_i = ค่าที่ได้จากการทดลอง

N = จำนวนครั้งของการทดลอง

3. ร้อยละของพื้นที่ใต้พีคของแต่ละสารที่ตรวจพบ (%Peak Area, %A)

$$\%A = \frac{Area\ of\ A}{Total\ area} \times 100$$

เมื่อ %A = ร้อยละของพื้นที่ใต้พีคของสารที่ต้องการคำนวน (%Peak Area)

Area of A = พื้นที่ใต้พีคของแต่สารที่ต้องการคำนวน

Total area = พื้นที่ใต้พีคของทุกสารที่ตรวจพบในแมสสเปกตรัม

4. ค่าดัชนีรีเทนชัน (Retention Index, I_{cal})

ค่าดัชนีรีเทนชัน $(retention\ index, I_{cal}) = 100z + 100\left(\frac{(\acute{t}_{R(x)} - \acute{t}_{R(z)})}{(\acute{t}_{R(z+1)} - \acute{t}_{R(z)})}\right)$

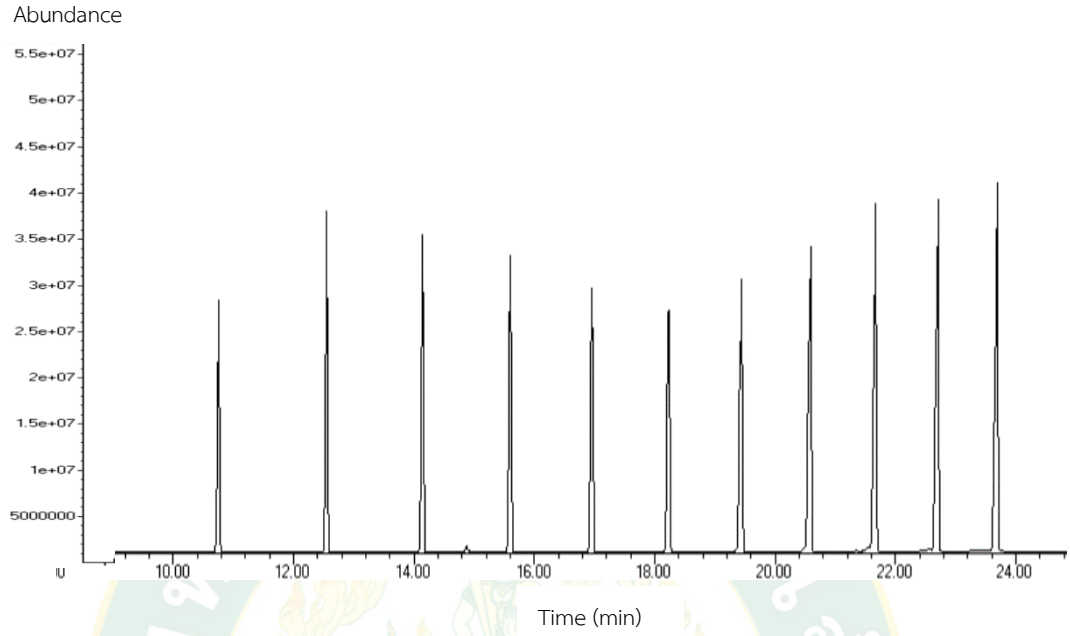
เมื่อ z = จำนวนคาร์บอนที่ใช้อ้างอิง

$t'_{R(x)}$ = ค่า retention time ของสาร x ที่จะวิเคราะห์หาเอกลักษณ์

$t'_{R(z)}$ = ค่า retention time ของสารใช้อ้างอิงที่มีคาร์บอน z

$t'R_{(z+1)}$ = ค่า retention time ของสารใช้อ้างอิงที่มีคาร์บอน z+1

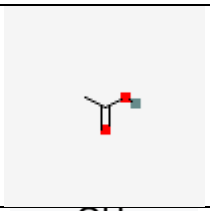
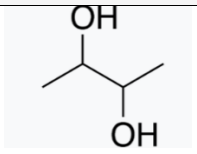
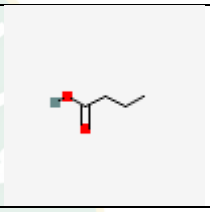
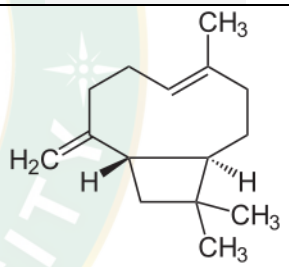
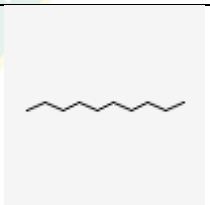
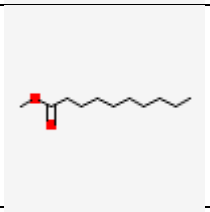
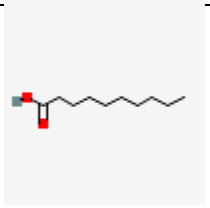
ภาคผนวก ค. โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานอัลเคน C8-C20

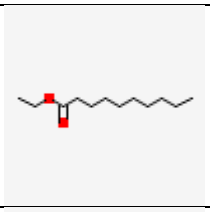
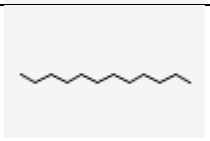
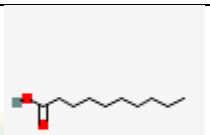
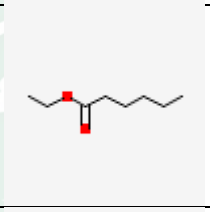
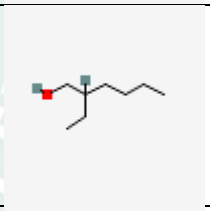
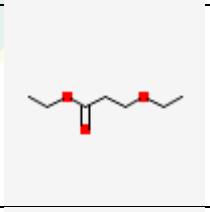
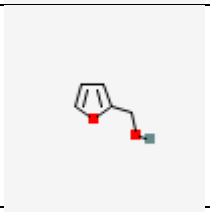
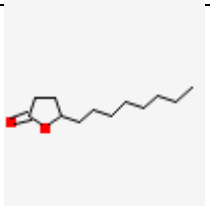


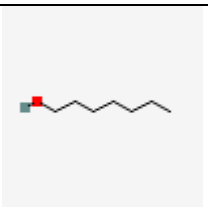
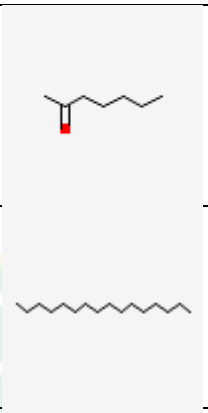
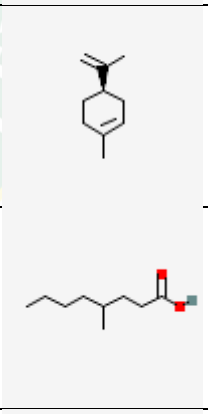
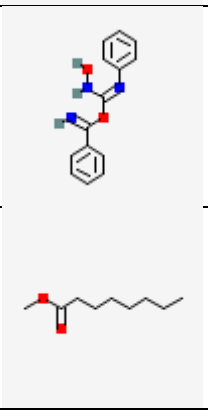
ตารางแสดงชื่อสารและ Retention time ของสารมาตรฐานอัลเคน C8-C20

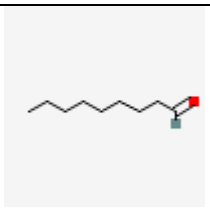
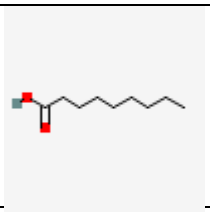
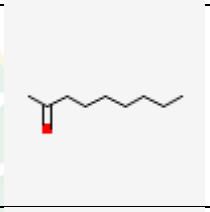
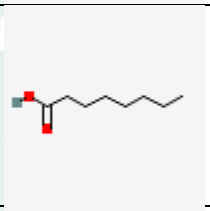
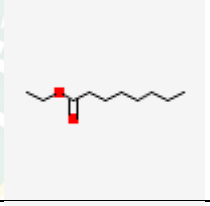
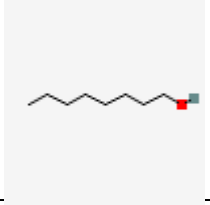
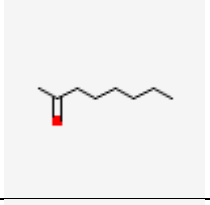
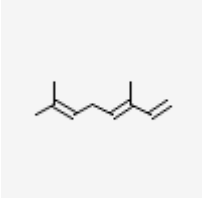
ลำดับที่	ชื่อสาร	สูตรโมเลกุล	Retention time (RT, min)
1	n-Decane	$C_{10}H_{22}$	10.76
2	n-Undecane	$C_{11}H_{24}$	12.56
3	n-Dodecane	$C_{12}H_{2}$	14.15
4	n-Tridecane	$C_{13}H_{28}$	15.60
5	n-Tetradecane	$C_{14}H_{30}$	16.95
6	n-Pentadecane	$C_{15}H_{32}$	18.24
7	n-Hexadecane	$C_{16}H_{34}$	19.45
8	n-Heptadecane	$C_{17}H_{36}$	20.59
9	n-Octadecane	$C_{18}H_{38}$	21.68
10	n-Nonadecane	$C_{19}H_{40}$	22.71
11	n-Icosane	$C_{20}H_{42}$	23.69

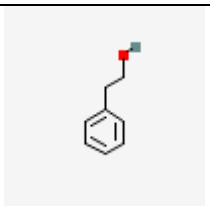
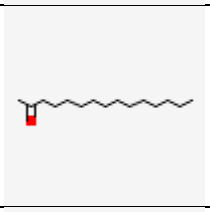
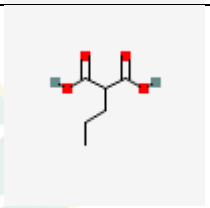
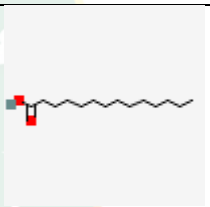
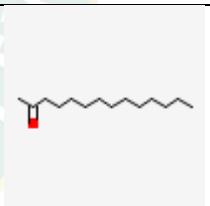
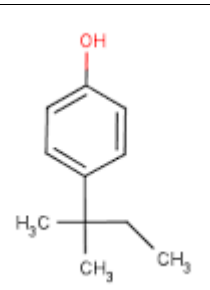
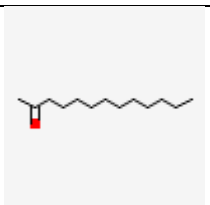
ภาคผนวก ง. แมสสเปกตรัมของสารระเหยที่ตรวจพบในการศึกษานี้

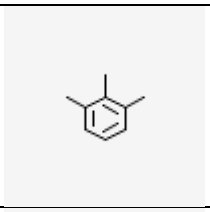
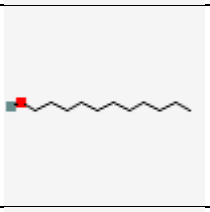
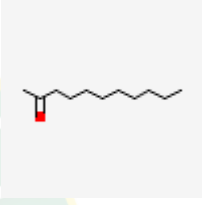
ลำดับที่	ชื่อสาร	สูตรโมเลกุล	โครงสร้าง
1	Acetic acid	$C_2H_4O_2$	
2	2, 3 Butanediol	$C_4H_{10}O_2$	
3	Butanoic acid	$C_4H_8O_2$	
4	Caryophyllene	$C_{15}H_{24}$	
5	Decane	$C_{10}H_{22}$	
6	Methyl decanoate	$C_{11}H_{22}O_2$	
7	n-Decanoic acid	$C_{10}H_{20}O_2$	

ลำดับที่	ชื่อสาร	สูตรโมเลกุล	โครงสร้าง
8	Ethyl decanoate	$C_{12}H_{24}O2$	
9	Dodecane	$C_{12}H_{26}$	
10	n-Dodecanoic acid	$C_{10}H_{20}O_2$	
11	Ethyl hexanoate	$C_3H_{16}O_2$	
12	2-Ethylhexanol	$C_8H_{18}O$	
13	Ethyl 3-ethoxypropanoate	$C_7H_{14}O_3$	
14	2-Furanmethanol	$C_5H_6O_2$	
15	γ-Dodecalactone	$C_{12}H_{22}O_2$	

ลำดับที่	ชื่อสาร	สูตรโมเลกุล	โครงสร้าง
16	2-Heptanol	$C_7H_{16}O$	
17	2-Heptanone	$C_7H_{14}O$	
18	Hexadecane	$C_{16}H_{34}$	
19	Hexanoic acid	$C_6H_{12}O_2$	
20	D-Limonene	$C_{10}H_{16}$	
21	4-Methyloctanoic acid	$C_9H_{18}O_2$	
22	Methyl N-hydroxy benzenecarboximidate	$C_{14}H_{13}N_3O_2$	
23	Methyl octanoate	$C_9H_{18}O_2$	

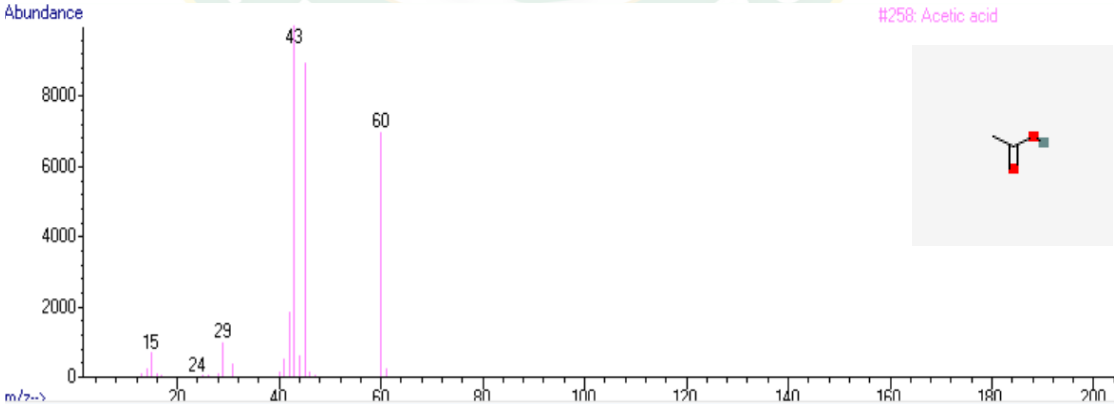
ลำดับที่	ชื่อสาร	สูตรโมเลกุล	โครงสร้าง
24	Nonanal	$C_9H_{18}O$	
25	Nonanoic acid	$C_9H_{18}O_2$	
26	2-Nonanone	$C_9H_{18}O$	
27	Octanoic acid	$C_8H_{16}O_2$	
28	Ethyl octanoate	$C_{10}H_{20}O_2$	
29	1-Octanol	$C_8H_{18}O$	
30	2-Octanone	C_8H_16O	
31	β-ocimene	$C_{10}H_{16}$	

ลำดับที่	ชื่อสาร	สูตรโมเลกุล	โครงสร้าง
32	2-Phenylethanol	$C_8H_{10}O$	
33	2-Pentadecanone	$C_{15}H_{30}O$	
34	n-Propylmalonic acid	$C_6H_{10}O_4$	
35	Tetradecanoic acid	$C_{14}H_{28}O2$	
36	2-Tetradecanone	$C_{14}H_{28}O$	
37	4-tert-Pentylphenol	$C_{11}H_{16}O$	
38	2-Tridecanone	$C_{13}H_{26}O$	

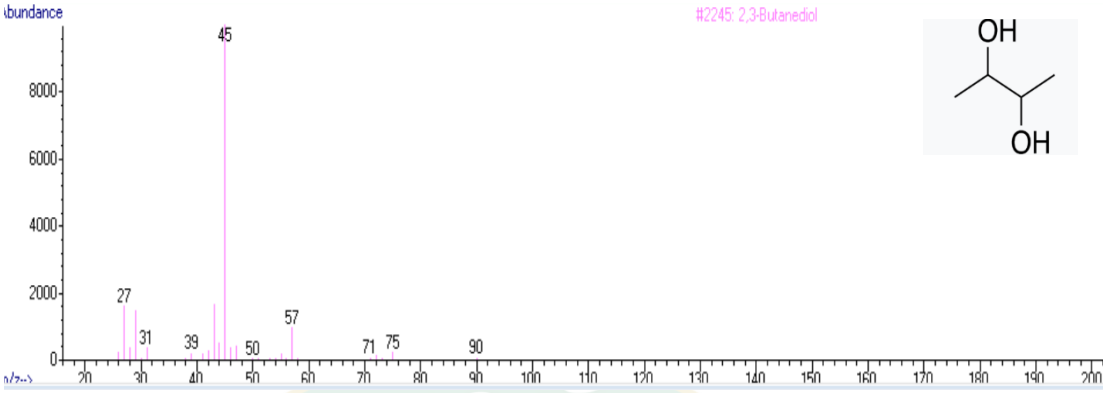
ลำดับที่	ชื่อสาร	สูตรโมเลกุล	โครงสร้าง
39	Trimethylbenzene	C_9H_{12}	
40	1-Undecanol	$C_{11}H_{24}O$	
41	2-Undecanone	$C_{11}H_{22}O$	

แมสสเปกตรัมของสารระเหยที่ตรวจพบในการศึกษานี้

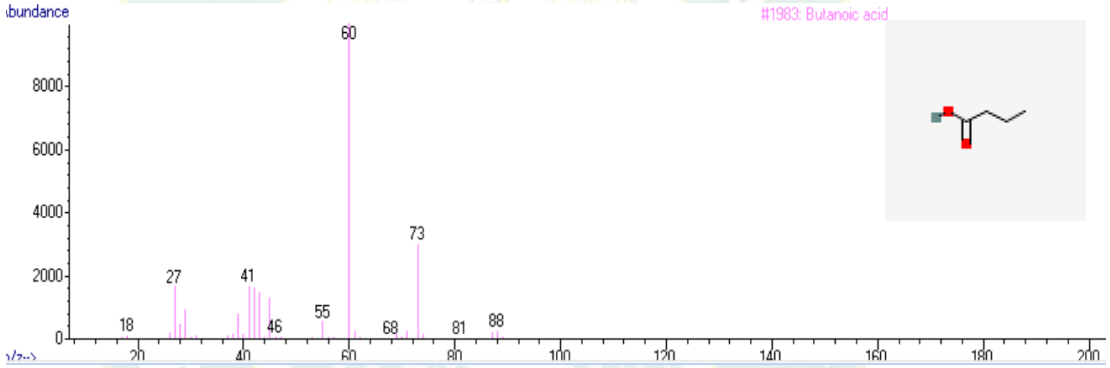
1. Acetic acid



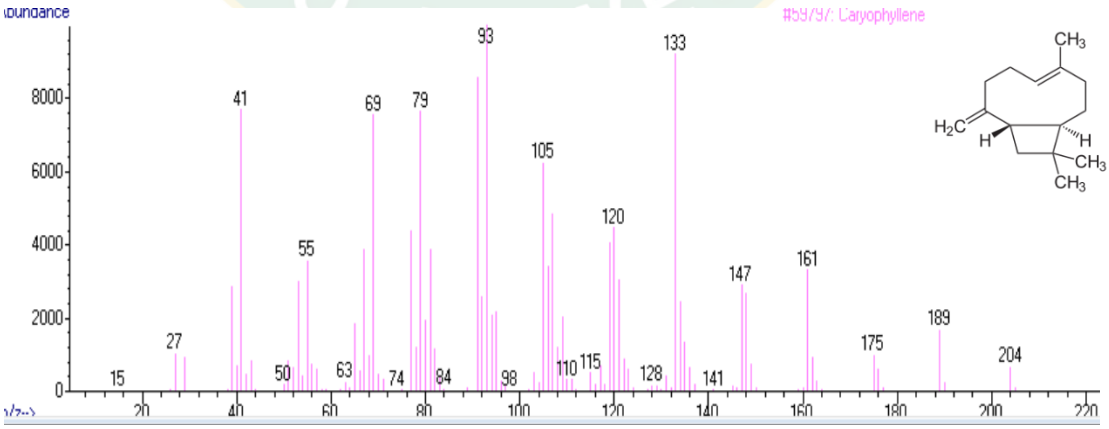
2. 2, 3 Butanediol



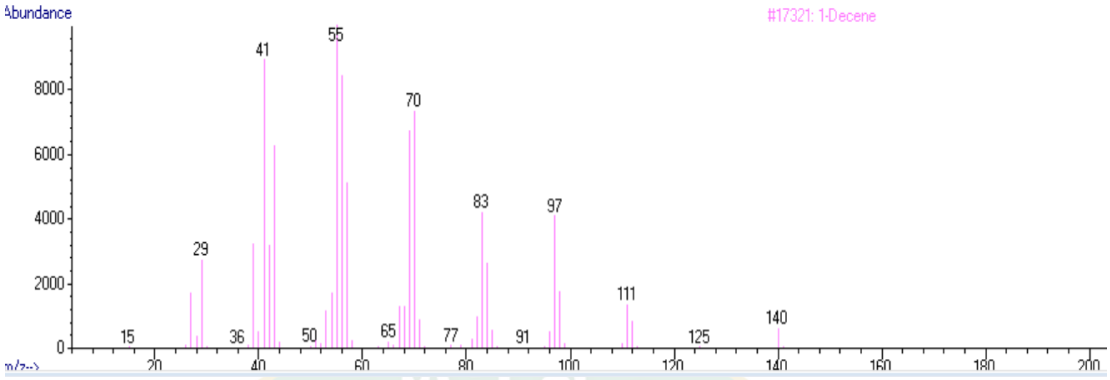
3. Butanoic acid



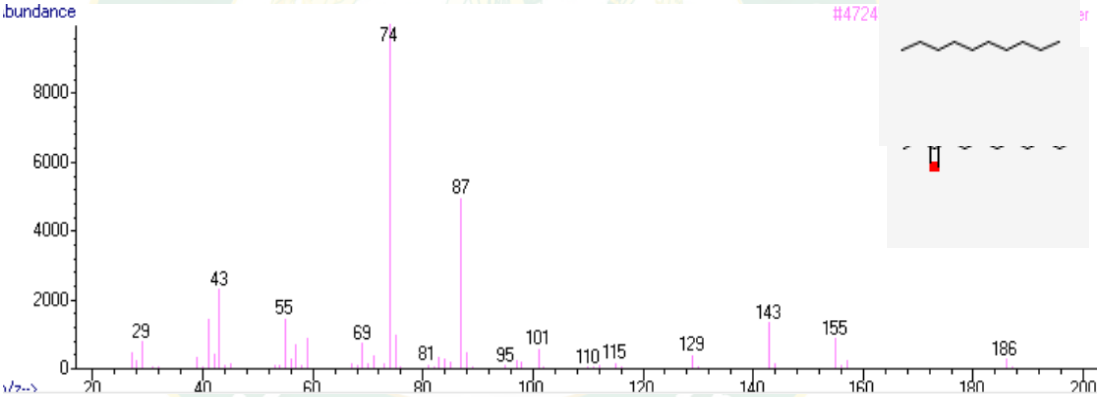
4. Caryophyllene



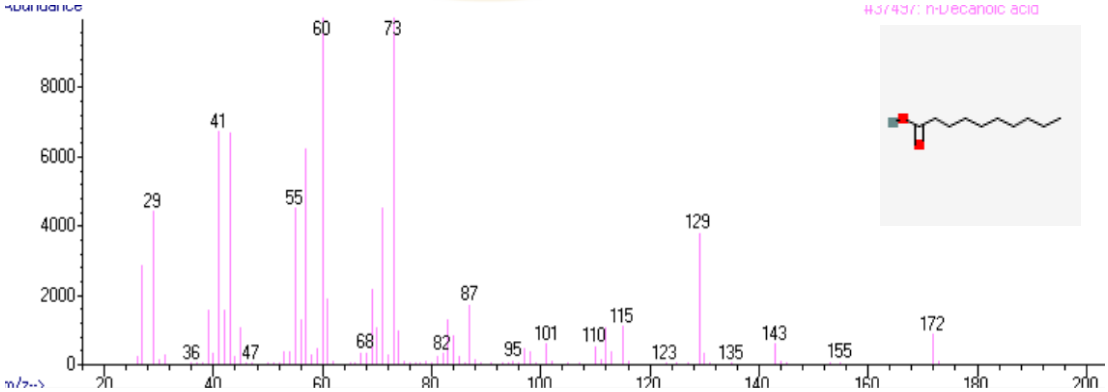
5. Decane



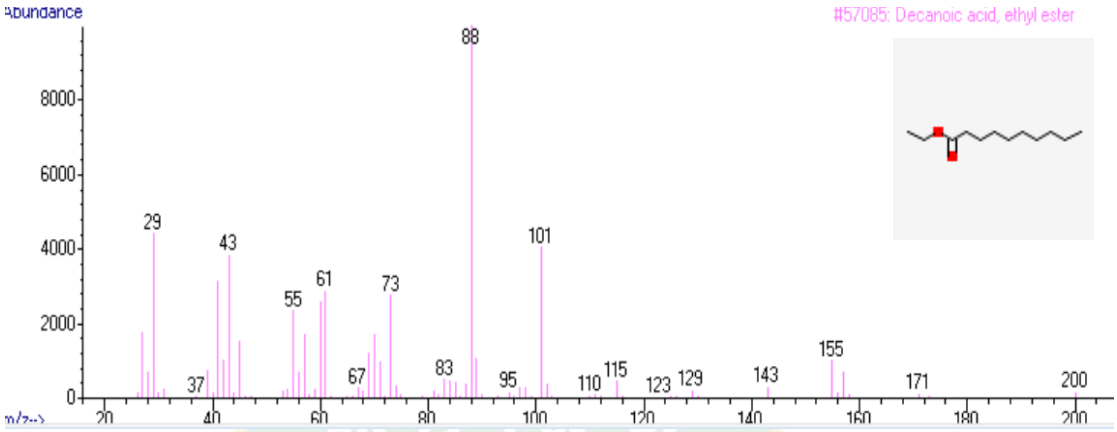
6. Methyl decanoate



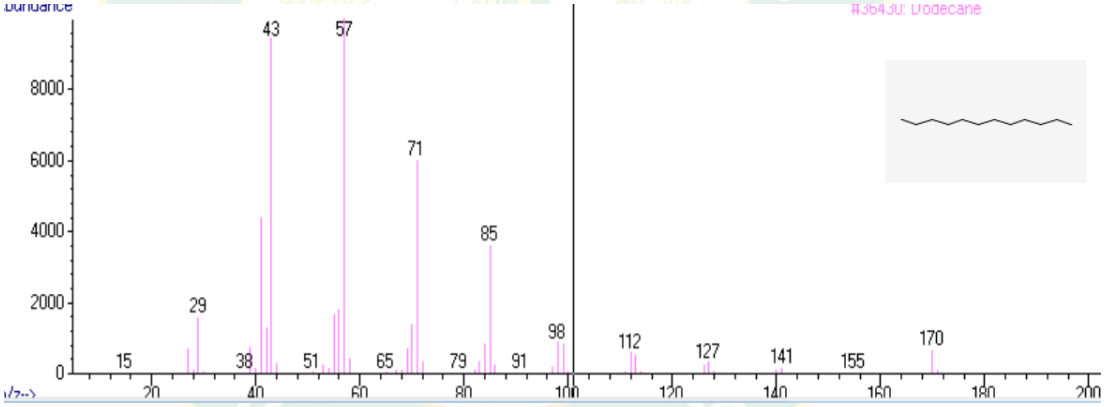
7. n-Decanoic acid



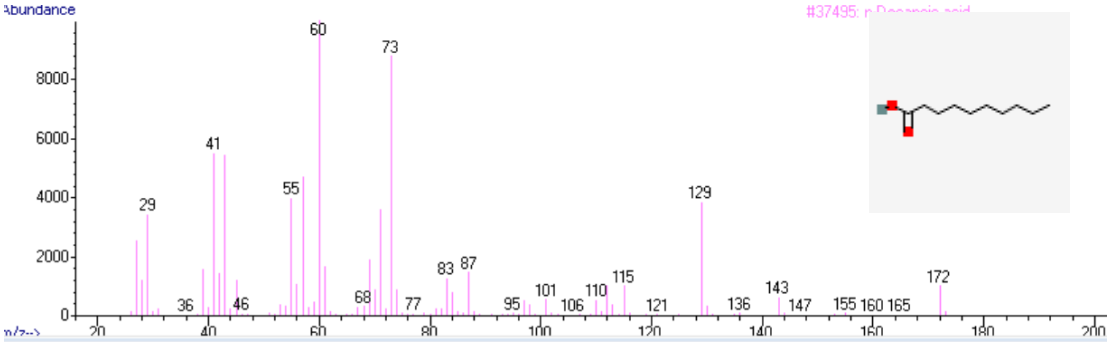
8. Ethyl decanoate



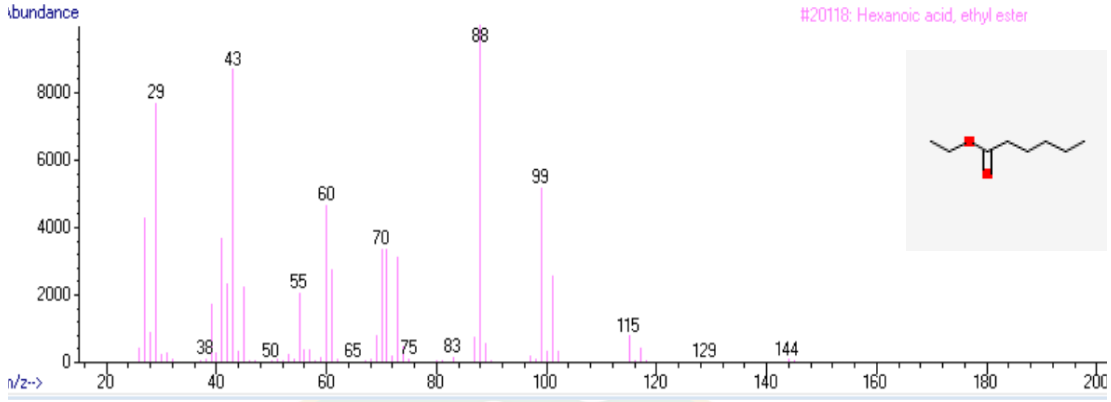
9. Dodecane



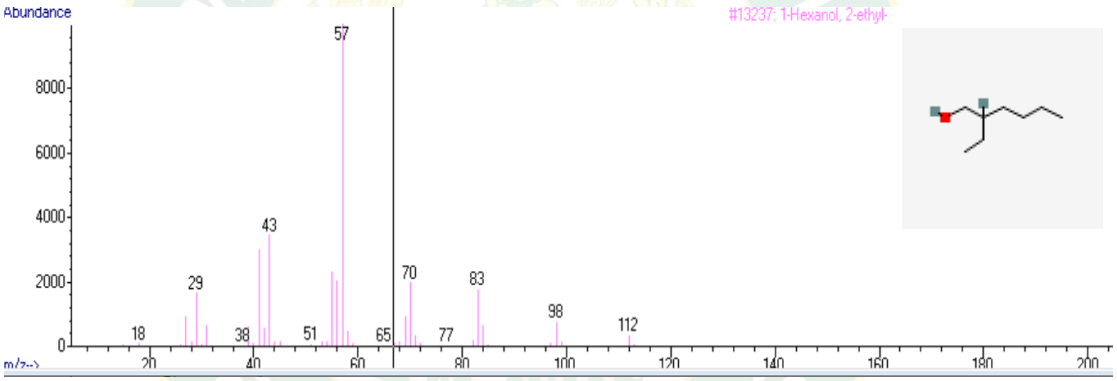
10. n-Dodecanoic acid



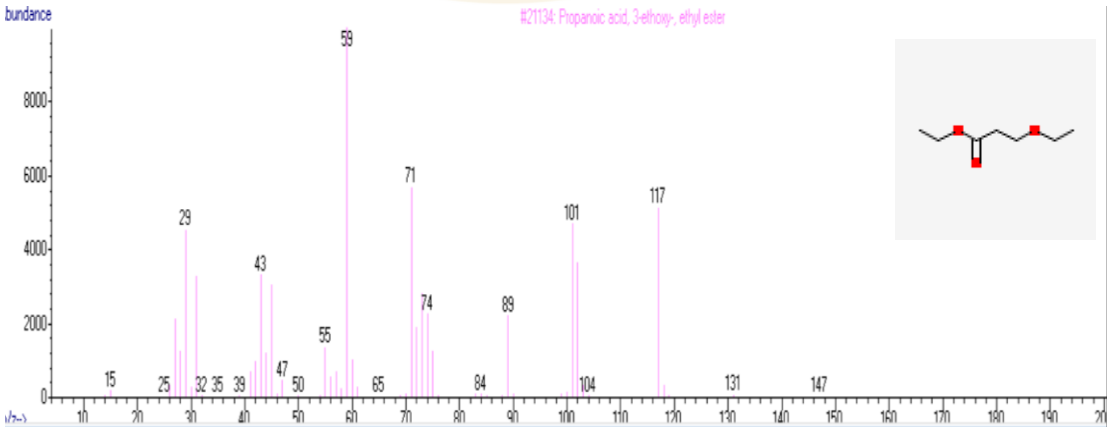
11. Ethyl hexanoate



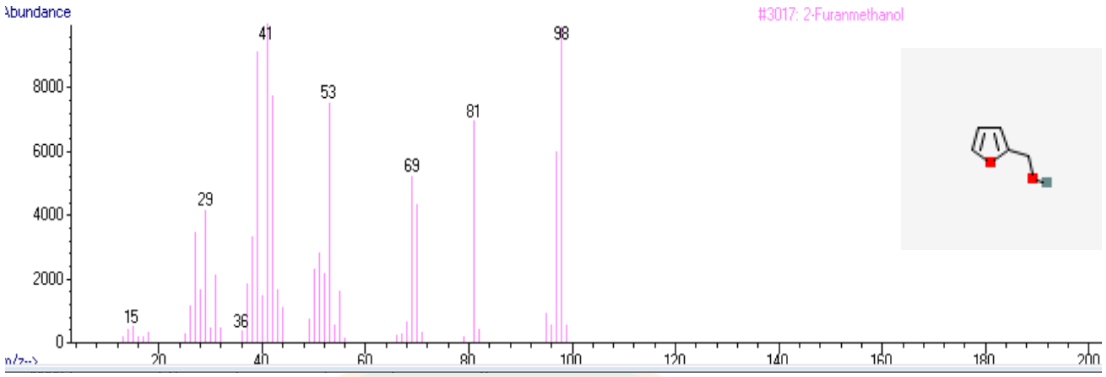
12. 2-Ethylhexanol



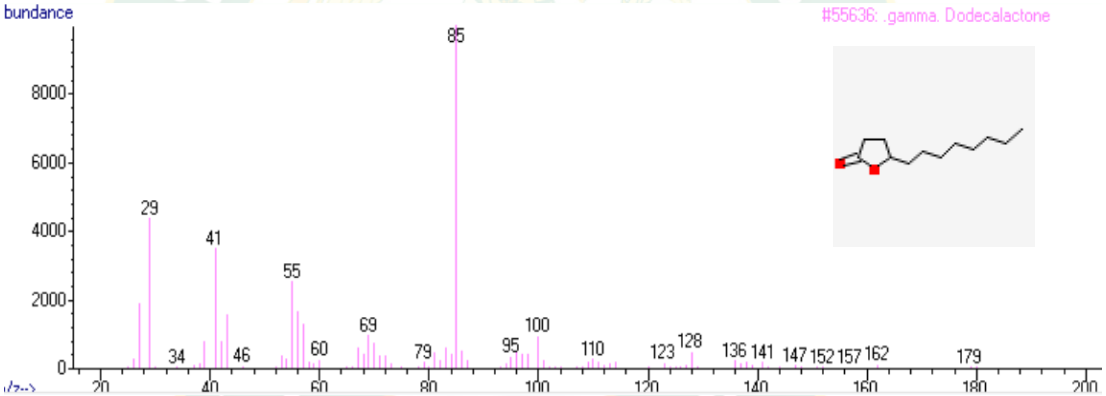
13. Ethyl 3-ethoxypropanoate



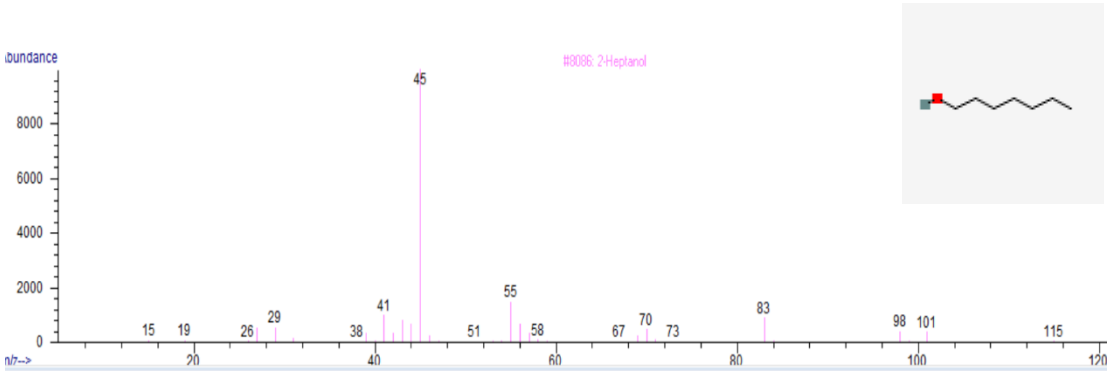
14. 2-Furanmethanol



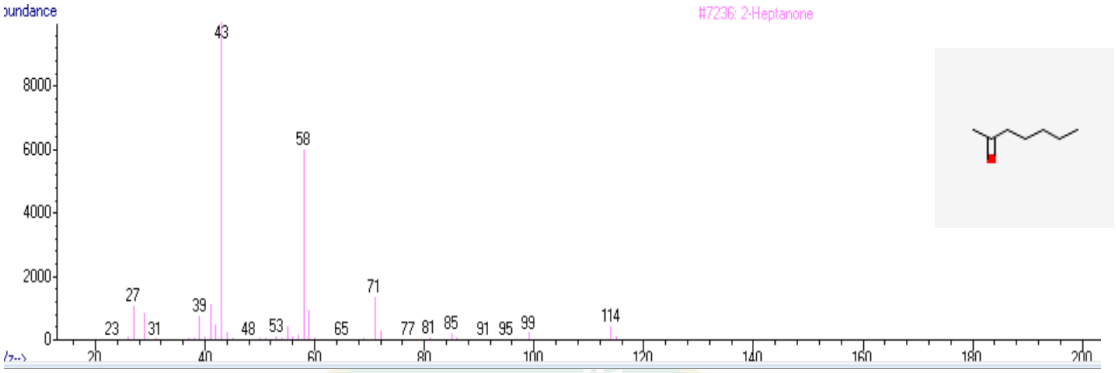
15. γ- Dodecalactone



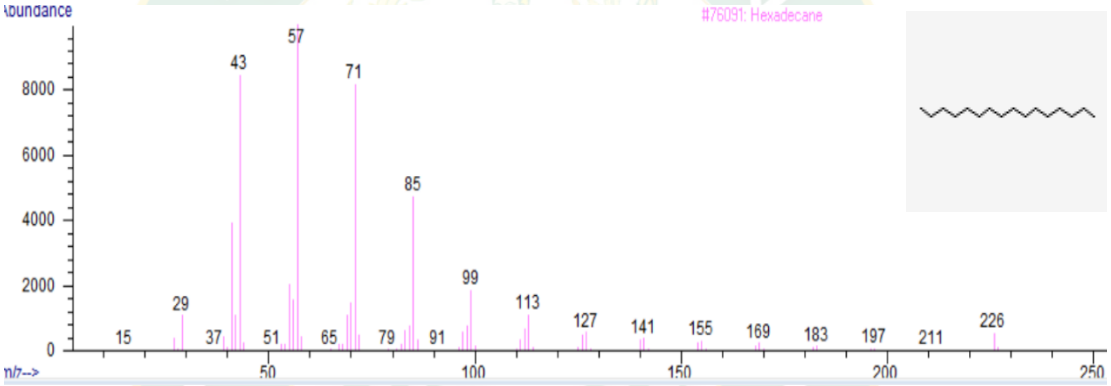
16. Heptanol



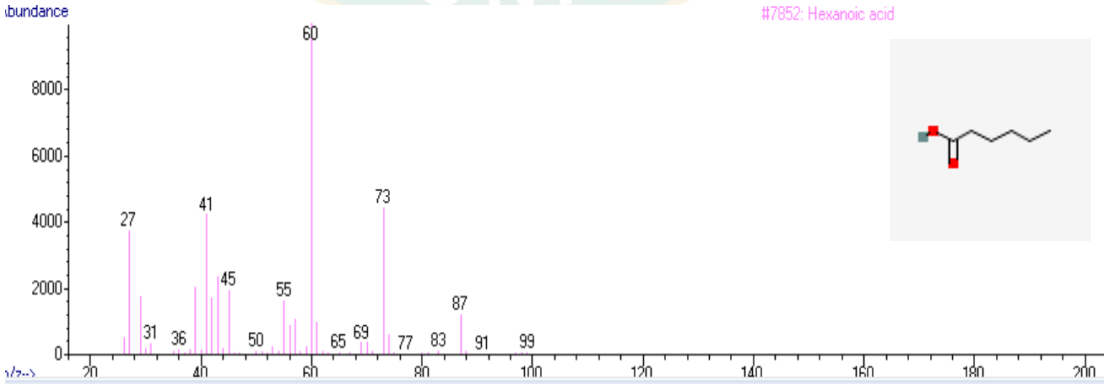
17. 2-Heptanone



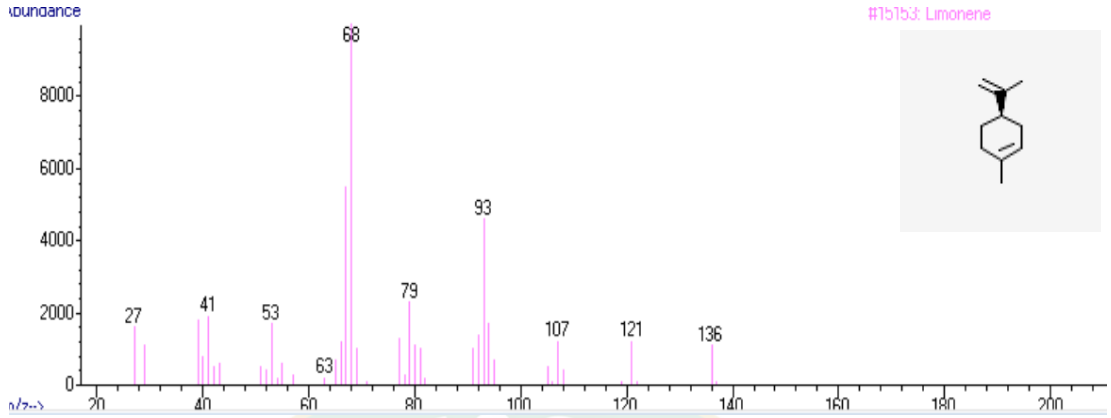
18. Hexadecane



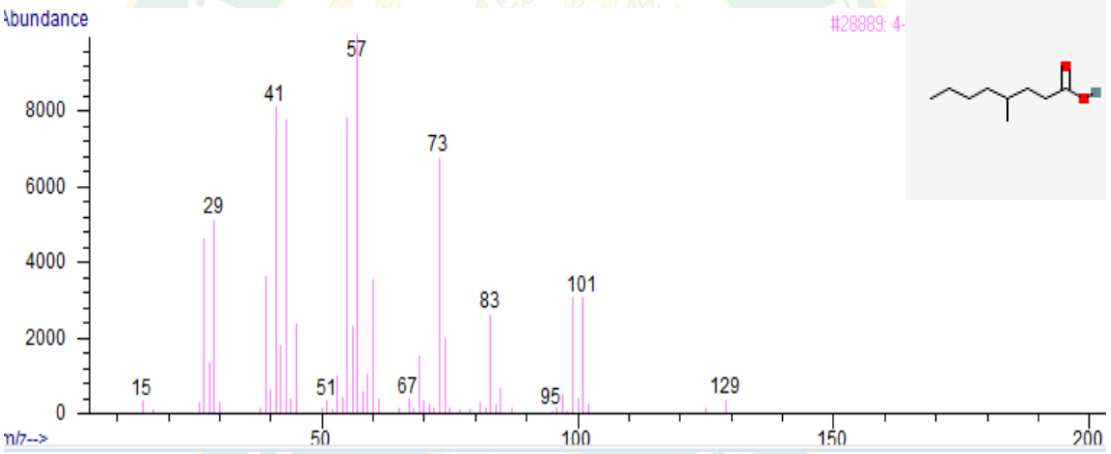
19. Hexanoic acid



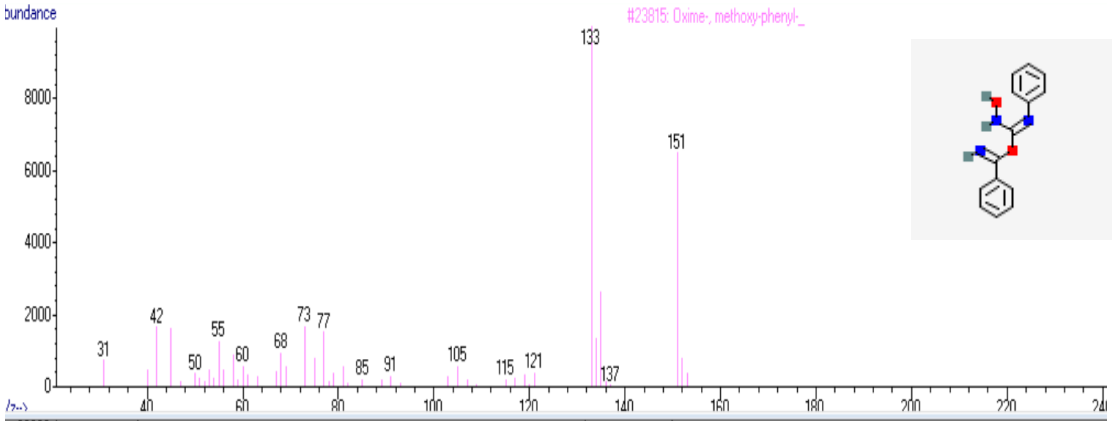
20. D-Limonene



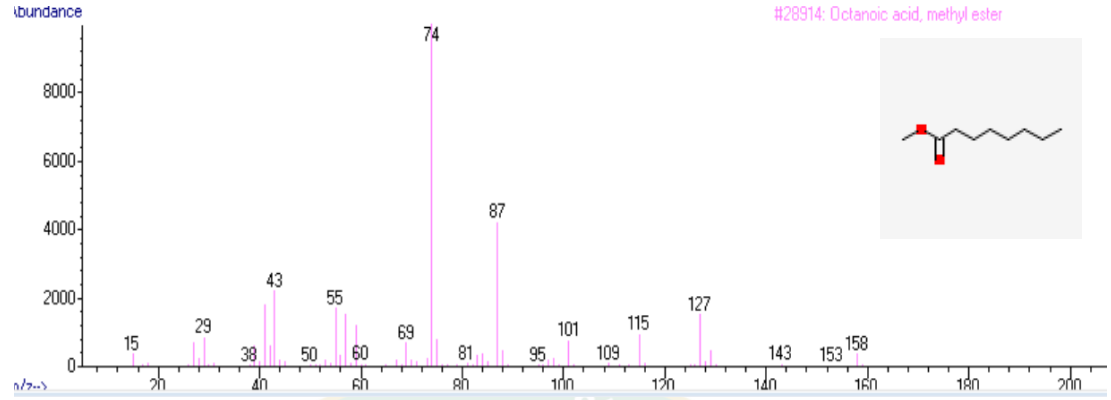
21. 4-Methyloctanoic acid



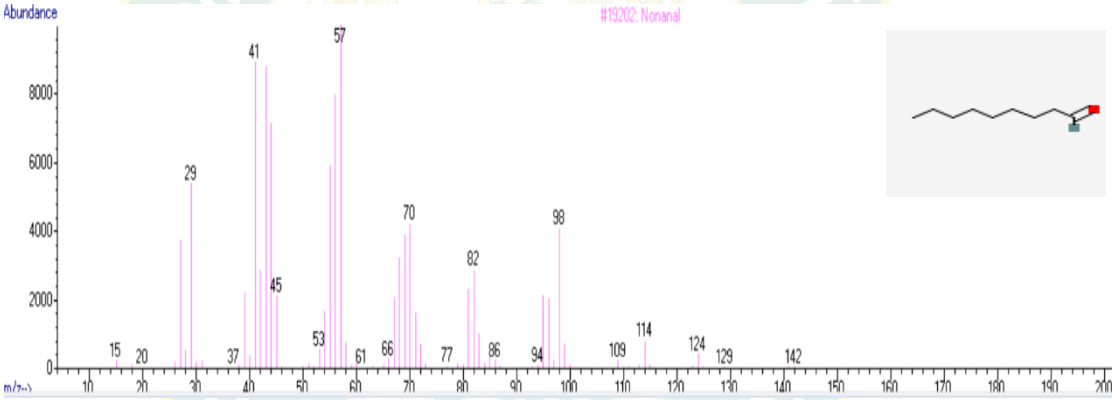
22. Methyl N-hydroxy benzenecarboximidate



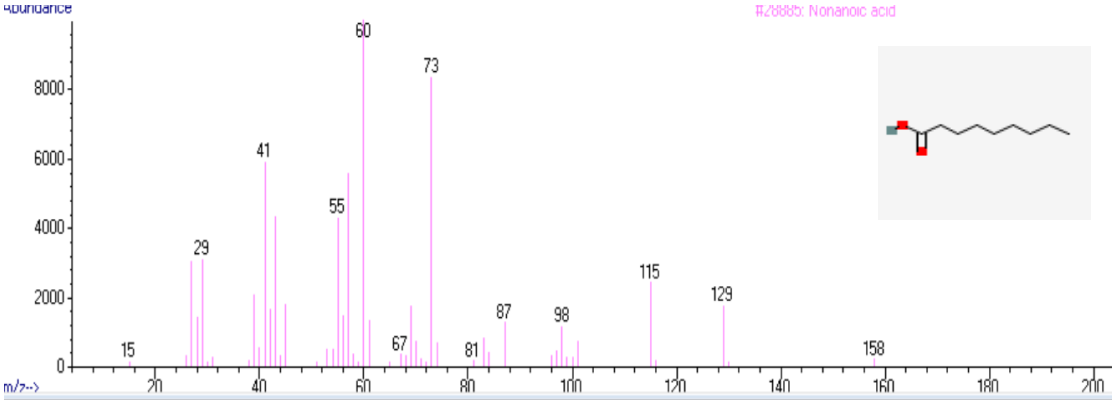
23. Methyl octanoate



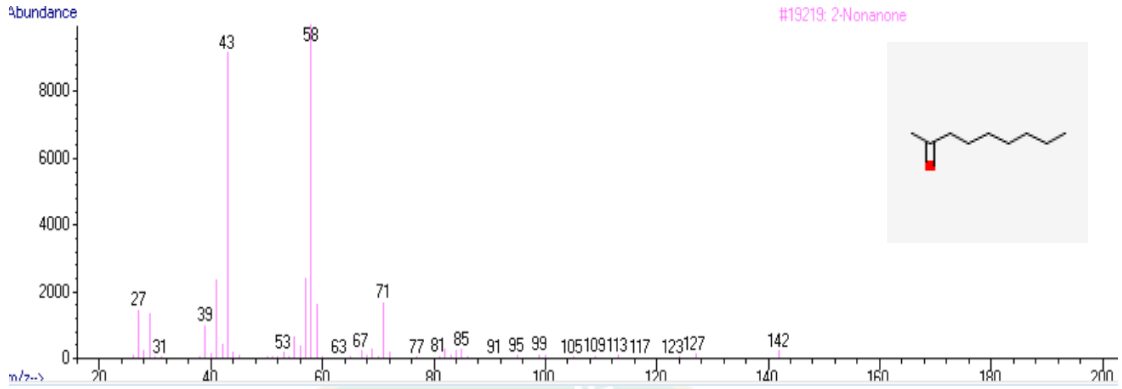
24. Nonanal



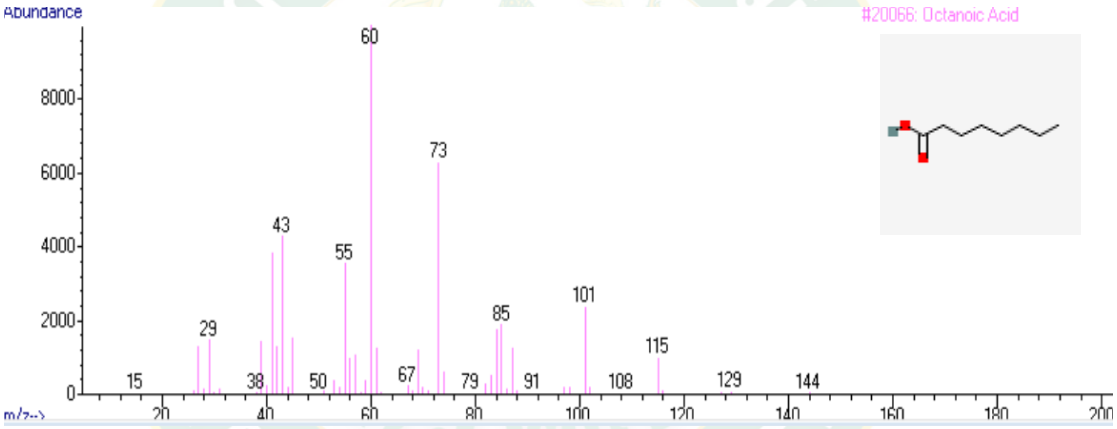
25. Nonanoic acid



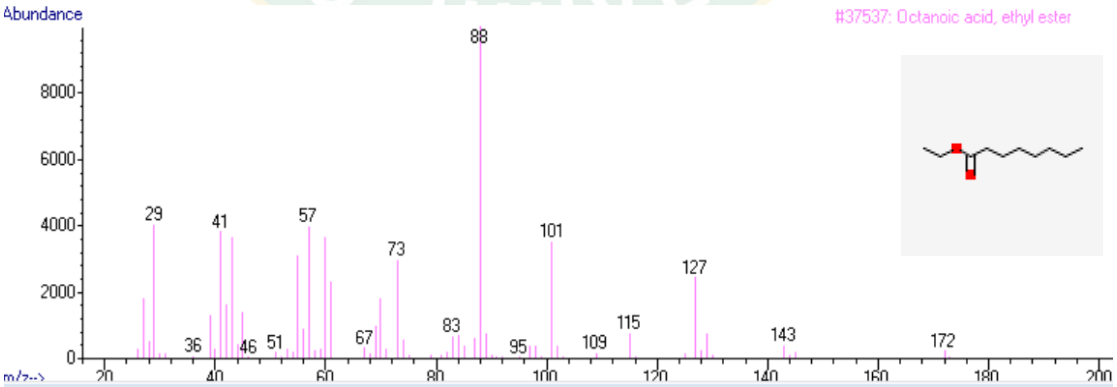
26. 2-Nonanone



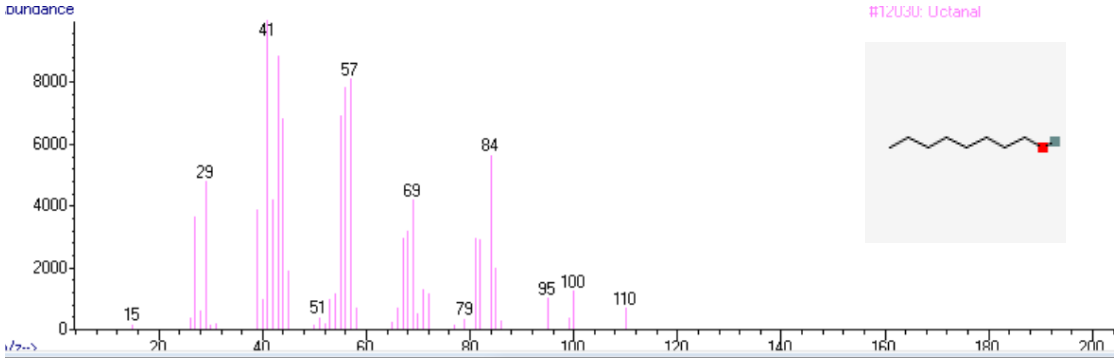
27. Octanoic acid



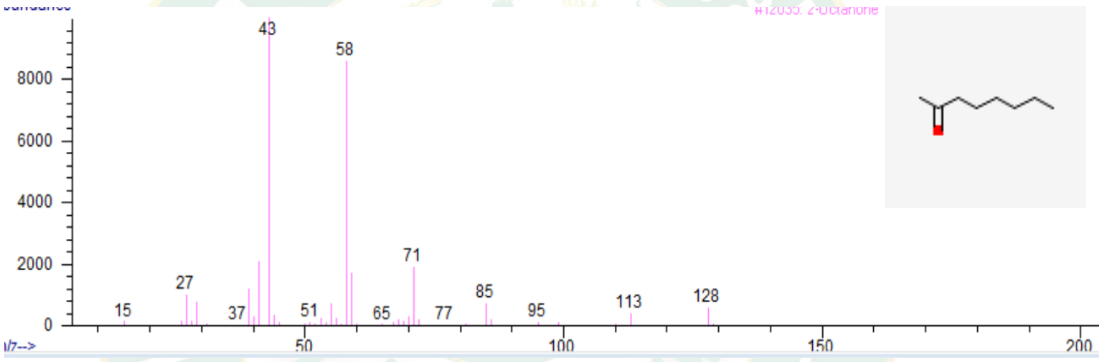
28. Ethyl octanoate



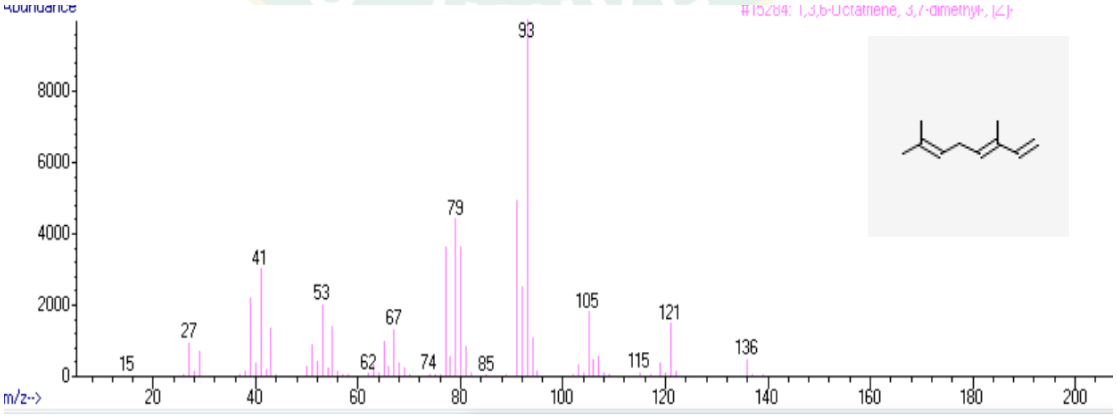
29. 1-Octanol



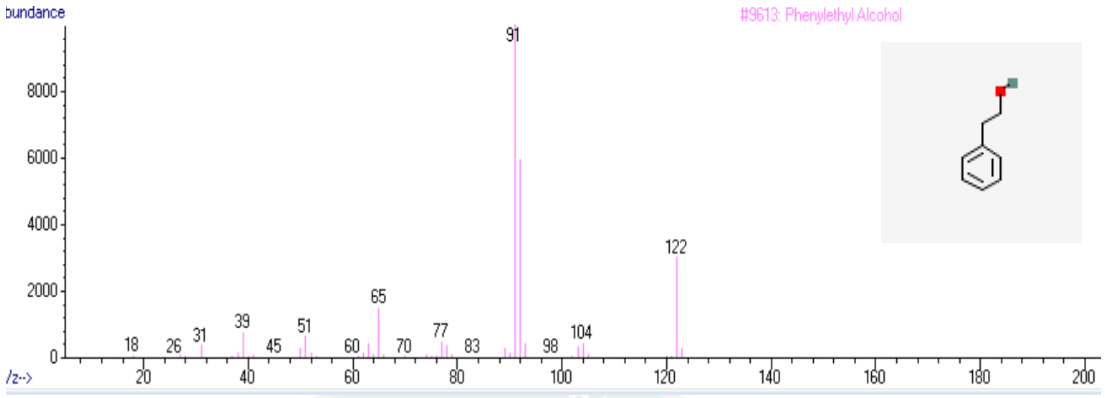
30. 2-Octanone



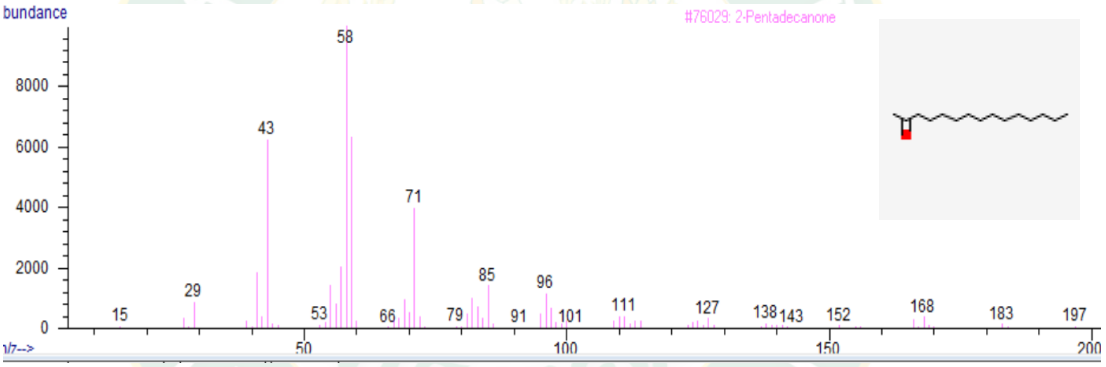
31. β-ocimene



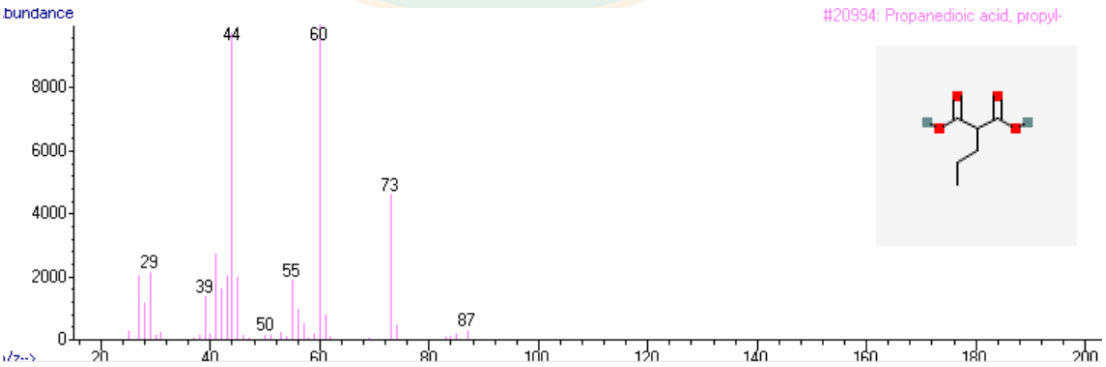
32. 2-Phenylethanol



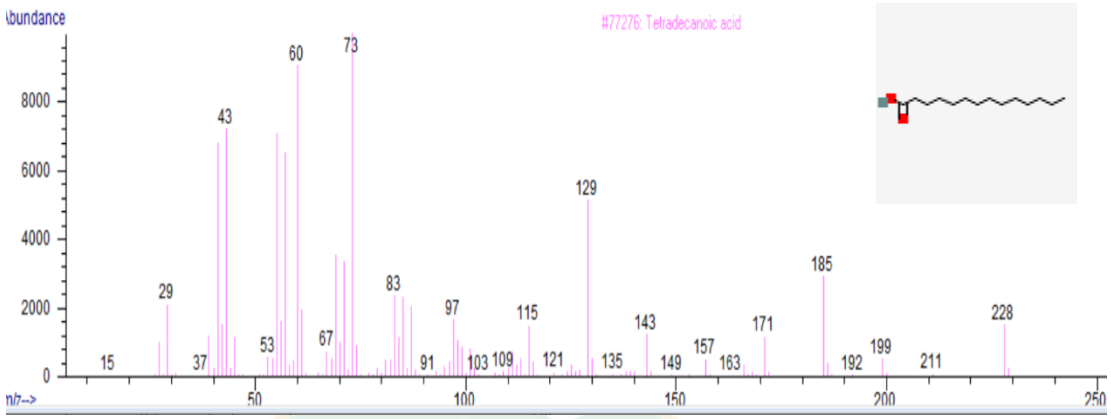
33. 2-Pentadecanone



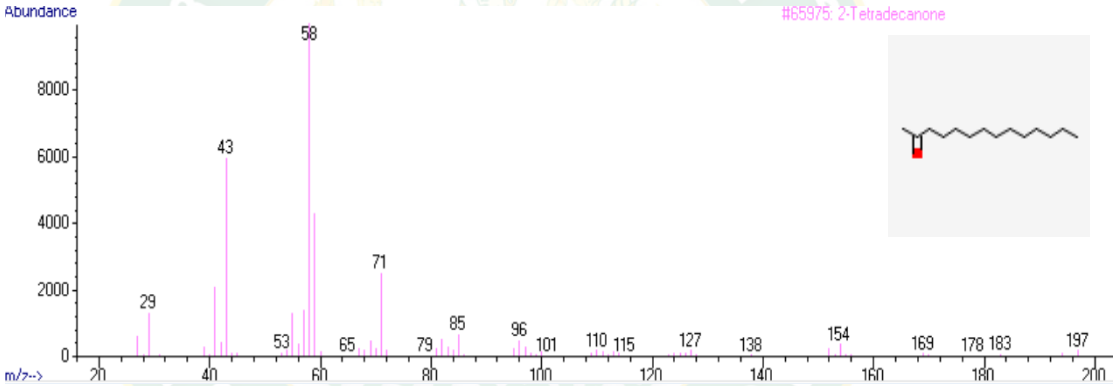
34. n-Propylmalonic acid



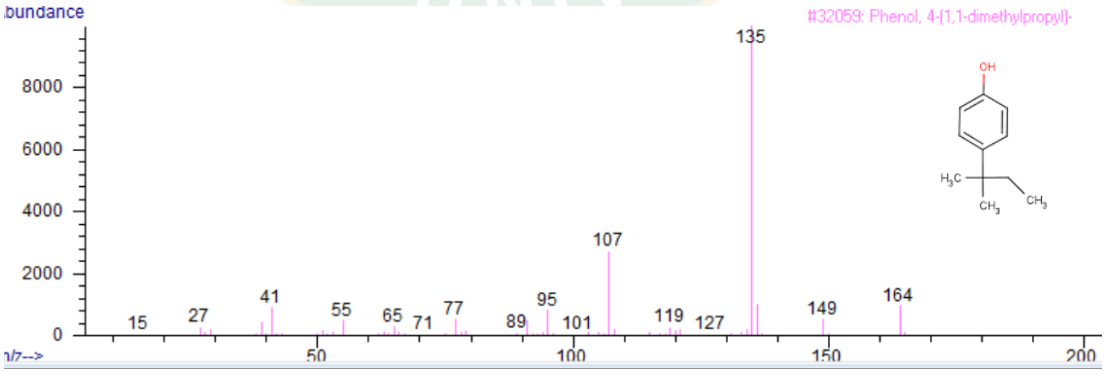
35. Tetradecanoic acid



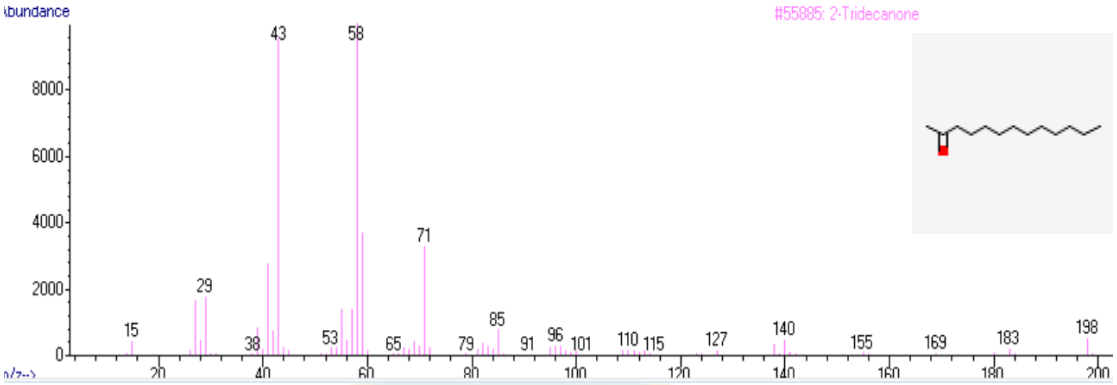
36. 2-Tetradecanone



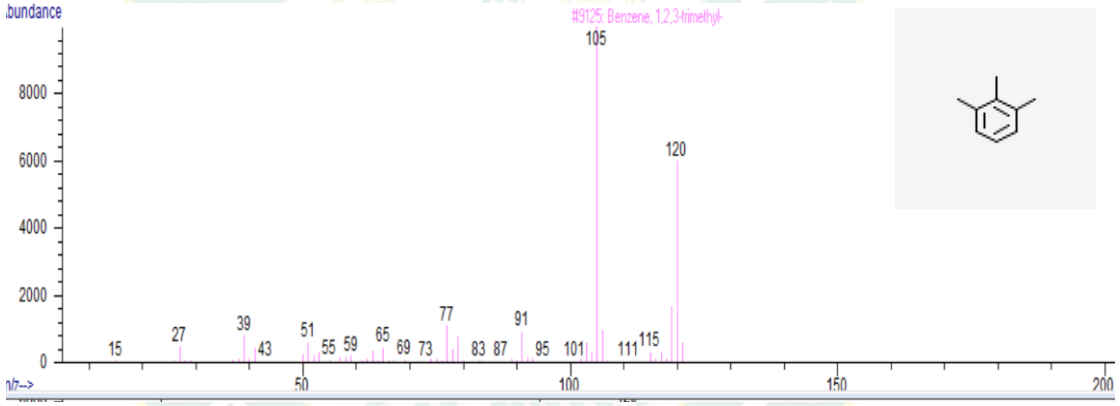
37. 4-tert-Pentylphenol



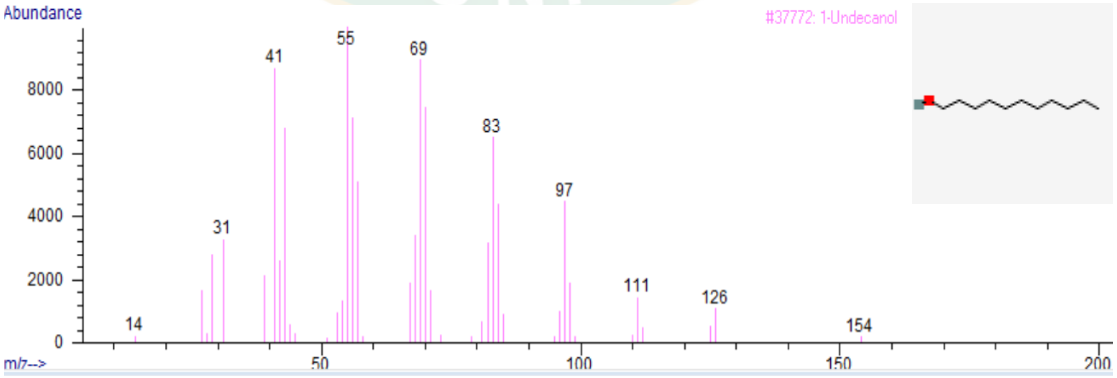
38. 2-Tridecanone



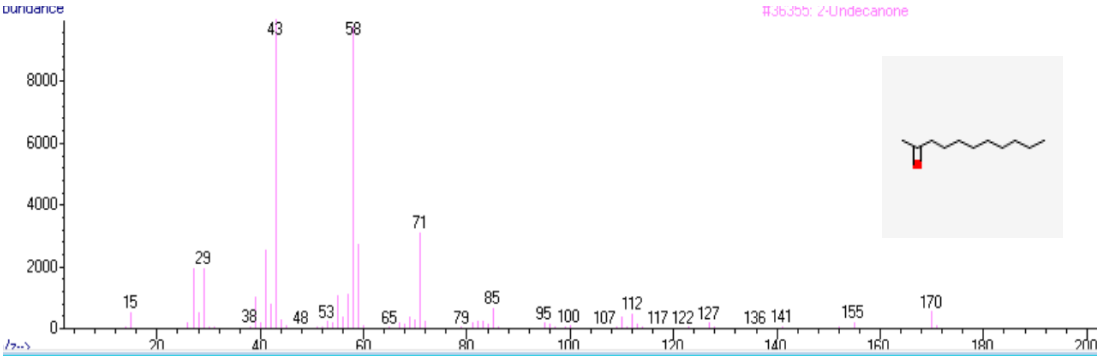
39. Trimethylbenzene



40. 1-Undecanol



41. 2-Undecanone



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวจรัสศรี แก้วฝั้น

เกิดเมื่อ 18 Jan 1983

ประวัติการศึกษา ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ (เคมี)

ประวัติการทำงาน

2549 – 2558: นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ปฏิบัติการ Asean food reference labolatory for veterinary drug residues

2558: การจัดการทดสอบความชำนาญ ของ Asean food reference labolatory for veterinary drug residues

2558– 2560: นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์

2558 – ปัจจุบัน เป็นวิทยากร ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการแปรรูปน้ำนมของกรมปศุสัตว์ ให้กับเกษตรกร เจ้าหน้าที่กรมปศุสัตว์และบริษัทเอกชนในประเทศไทย

2559: วิทยากร ทางด้านคุณภาพน้ำนมและการแปรรูปผลิตภัณฑ์นมแก่ชาวภูฏาน ในหลักสูตร Training on Modern Milk Processing Technology for Bhutanese Entrepreneurs ณ ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์

2559: เป็นวิทยากร ทางด้านวิทยาศาสตร์ผลิตภัณฑ์สัตว์การแปรรูปแก่ชาวเมียนม่า ในหลักสูตร Training on Meat Processing and Dairy Processing for Myanmar Farmers and Processors ณ ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์

2560: การประชุมความร่วมมือในสาขาเฉพาะระหว่างศูนย์กระบือนมประเทศฟิลิปปินส์ และกรมปศุสัตว์ ณ ศูนย์กระบือนม ประเทศฟิลิปปินส์

2562– ปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์เชียงใหม่ กองผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์