การประยุกต์ใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการวิเคราะห์กลิ่นหืน ของแมคคาเดเมียอบแห้ง

APPLICATION OF ELECTRONIC NOSE FOR RANCID ODOUR ANALYSIS OF DRIED MACADAMIA

กุลชญา สิ่วหงวน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การประยุกต์ใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการวิเคราะห์กลิ่นหืนของแมคคาเดเมียอบแห้ง

กุลชญา สิ่วหงวน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการวิเคราะห์กลิ่นหืนของแมคคาเดเมียอบแห้ง Application of Electronic Nose for Rancid Odour Analysis of Dried Macadamia
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวกุลชญา สิ่วหงวน
สาขาวิชา	เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์, ปร.ด.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์เจริญ เจริญชัย, Ph.D.
ปีการศึกษา	2558

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เจริญ เจริญชัย, Ph.D.)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญอร ไหมสุทธิสกุล, ปร.ด.)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์, ปร.ด.)

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
(อาจารย์จีรวัฒน์ เหรียญอารีย์, คศ.ม.)
วันที่ 3 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการวิเคราะห์กลิ่นหืนของแมคคาเดเมียอบแห้ง
ชื่อ-นามสกุล นางสาวกุลชญา สิ่วหงวน
สาขาวิชา เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์, ปร.ด.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์เจริญ เจริญชัย, Ph.D.
ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านกลิ่นของแมคคาเดเมียอบแห้งโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ และเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี

วิธีการวิจัย คือ นำแมคคาเดเมียอบแห้งมาใส่ในภาชนะที่ไม่มีฝาปิดที่อุณหภูมิห้อง 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นชั่งน้ำหนักใส่ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำแมคคาเดเมียมาทำการวิเคราะห์คุณภาพด้านกลิ่น โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาคืออุณหภูมิในการบ่มแปรเป็น 2 ระดับ คือ 40 และ 50 องศาเซลเซียส วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยใช้ความสูงพีคที่เวลาต่างๆ ของคอลัมน์ DB-5 และ DB-1701 ในการคัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการบ่ม จากนั้นนำมาทำการศึกษาคุณภาพด้านเคมี แล้วจัดกลุ่มแบบขั้นตอน (HCA) วิธีการรวมกลุ่มของวอร์ด และวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับคุณภาพด้านเคมี

ผลการวิจัย พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการบ่มคือ 50 องศาเซลเซียส ผลการจัดกลุ่มแบบขั้นตอน (HCA) ของการวิเคราะห์ด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์และคุณภาพด้านเคมี พบว่าสามารถจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่ม ดังนี้ การวิเคราะห์ด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์กลุ่มที่ 1 ที่เวลา 0 24 และ 48 ชั่วโมง กลุ่มที่ 2 ที่เวลา 72 และ 96 ชั่วโมง และกลุ่มที่ 3 ที่เวลา 120 ชั่วโมง ค่าความชื้น กลุ่มที่ 1 คือที่เวลา 0 ชั่วโมง กลุ่มที่ 2 ที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง และกลุ่มที่ 3 ที่เวลา 72, 96 และ 120 ชั่วโมง และค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก (TBA) กลุ่มที่ 1 ที่เวลา 0 ชั่วโมง กลุ่มที่ 2 ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง และกลุ่มที่ 3 ที่เวลา 120 ชั่วโมง ทั้งนี้การวิเคราะห์ความถดถอยระหว่างผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับคุณภาพด้านเคมีได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน

คำสำคัญ: แมคคาเดเมีย เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ การจัดกลุ่มแบบขั้นตอน การวิเคราะห์ความถดถอย

Thesis Title	Application of Electronic Nose for Rancid Odour Analysis of Dried Macadamia
Name - Surname	Miss Kunchaya Siwnguan
Program	Home Economics Technology
Thesis Advisor	Assistant Professor Orawan Oupathumpanont, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Assistant Professor Chareon Chareanchai, Ph.D.
Academic Year	2015

ABSTRACT

The purpose of this research was to find out the appropriate condition of Heracles electronic nose in analyzing rancid odour of dried macadamia nuts, and the correlation between the odour analysis by the electronic nose and the quality by chemical analysis.

Six bowls of dried macadamia nuts were placed in a room temperature for 0, 24, 48, 72, 96 and 120 hours respectively. Next, each was weighed, put and zipped in separate aluminium foil bags for odour analysis by the Heracles electronic nose. The experiment plan, CRD, was used to find out the appropriate incubation temperatures. The incubation temperatures were set at 40° C and 50° C with the peak heights of DB-5 and DB-1701. After that, their chemical quality was analyzed by the HCA through the Ward's method. Finally, the regression analysis was used to identify the correlation between the odour analysis by the electronic nose and the quality through chemical analysis.

It was found that the appropriate temperature for incubation was at 50° C. The results also revealed that the HCA classification, through the analysis of the electronic nose and the chemical analysis, could be grouped into 3 clusters. The former analysis showed the appropriate incubated times of the 3 clusters at 0, 24 and 48 hours, at 72 and 96 hours and at 120 hours respectively. The latter analysis indicated the suitable times with appropriate moisture contents of the 3 clusters at 0 hour, at 24 and 48 hours, and at 72, 96 and 120 hours correspondingly. The optimum times with appropriate contents of thiobarbituric acid were at 0 hour, at 24, 48, 72 and 96 hours, and at 120 hours accordingly. Furthermore, the regression analysis showed a direct correlation between the analysis by the electronic nose and chemical analysis.

Keywords: macadamia, Heracles electronic nose, hierarchical cluster analysis, regression analysis

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญ เจริญชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าและให้ความกรุณาในการให้ความรู้และคำปรึกษาแนะนำแนวทางและวิธีคิด ตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้การเขียนงานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์ที่สุดและขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญอร ไหมสุทธิสกุล ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าให้เกียรติเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการแนะนำแนวทาง ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ เพื่อให้งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และเพื่อนๆ ที่ช่วยให้การสนับสนุนทุนทรัพย์ ความรัก ความห่วงใย และเป็นกำลังใจให้เสมอมาและข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนมาจนถึงบัดนี้

ขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนในการใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือในการวิเคราะห์คุณภาพ เพื่อใช้ในการจัดทำวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจหากการค้นคว้าวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้ขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

กุลชญา สิ่วหงวน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... (3)

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... (4)

กิตติกรรมประกาศ..... (5)

สารบัญ..... (6)

สารบัญตาราง..... (8)

สารบัญรูป..... (9)

บทที่ 1 บทนำ..... 11

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 11

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย..... 12

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 12

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 12

บทที่ 2 ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 14

2.1 แมคคาเดเมีย..... 14

2.2 จมูกอิเล็กทรอนิกส์..... 24

2.3 การวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอน..... 29

2.4 การวิเคราะห์ความถดถอย..... 31

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 32

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย..... 34

3.1 วัตถุดิบ……..... 34

3.2 อุปกรณ์..... 34

3.3 สารเคมี..... 35

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 35

3.5 ระยะเวลาในการทดลอง..... 39

3.6 สถานที่ทำการศึกษาทดลอง..... 39

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์..... 40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม 40

4.2 การศึกษาคุณภาพด้านเคมี 52

4.3 การหาความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์คุณภาพด้านกลิ่นโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี 54

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 59

5.1 สรุปผลการทดลอง 59

5.2 ข้อเสนอแนะ 60

บรรณานุกรม 60

ภาคผนวก 65

ภาคผนวก ก วิธีการเตรียมตัวอย่างแมคคาเดเมีย และตัวอย่างแมคคาเดเมียทั้ง 6 ตัวอย่าง 66

ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี 70

ภาคผนวก ค สูตรในการคำนวณค่ามาตรฐานซี (Z-Score) สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล…… 73

ภาคผนวก ง แบบตอบรับผลงานการเผยแพร่วิจัย…… 76

ประวัติผู้เขียน 79

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อในแมคคาเดเมียดิบ..... 18

ตารางที่ 2.2 การออกดอกและเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาต่างๆกัน..... 20

ตารางที่ 3.1 สภาวะการวิเคราะห์เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ยี่ห้อ Alpha M.O.S. รุ่น Heracles I 37

ตารางที่ 3.2 สิ่งทดลองและปัจจัยที่ทำการศึกษา..... 37

ตารางที่ 4.1 ผลการบันทึกการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกเมล็ดของแมคคาเดเมียอบแห้ง..... 39

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบความสูงพีคคอลัมน์ DB-5 ที่เวลา 5.36 13.65 และ 20.94 วินาที ระหว่างอุณหภูมิในการบ่ม 40 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส..... 46

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบความสูงพีคคอลัมน์ DB-1701 ที่เวลา 6.17 12.44 และ 18.90 วินาที ระหว่างอุณหภูมิในการบ่ม 40 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส..... 48

ตารางที่ 4.4 ค่าปริมาณความชื้นของแมคคาเดเมีย..... 51

ตารางที่ 4.5 ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก..... 53

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี..... 55

ตารางที่ 4.7 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณระหว่างการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี..... 56

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบความสัมพันธ์พหุคูณของการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กับระยะเวลาในการเก็บรักษา..... 56

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ลักษณะต้นแมคคาเดเมีย..... 15
รูปที่ 2.2 ลักษณะดอกแมคคาเดเมีย..... 16
รูปที่ 2.3 ลักษณะเมล็ดแมคคาเดเมีย..... 16
รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบเมล็ดแมคคาเดเมีย เปลือกนอก กะลา และเนื้อใน..... 17
รูปที่ 2.5 แสดงความต่างของรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าในสารแต่ละชนิด..... 23
รูปที่ 2.6 ระบบรับรู้กลิ่นในโพรงจมูกมนุษย์..... 25
รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบจมูกธรรมชาติกับจมูกอิเล็กทรอนิกส์..... 26
รูปที่ 2.8 การจัดกลุ่มแบบการวิเคราะห์กลุ่ม..... 29
รูปที่ 2.9 แผนภาพการกระจาย (Scatter diagram) แบบเส้นตรงและแบบเส้นโค้ง..... 31
รูปที่ 3.1 กระบวนการวิเคราะห์ด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์..... 36
รูปที่ 4.1 โครมาโตแกรมของแมคคาเดเมียอบแห้งจากคอลัมน์ DB-5 และ DB-1701 ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ตามลำดับ อุณหภูมิในการบ่ม 40 องศาเซลเซียล (ก) คอลัมน์ DB-5 ที่ 0 ชั่วโมง (ข) คอลัมน์ DB-1701ที่ 0 ชั่วโมง (ค) คอลัมน์ DB-5 ' 24 ชั่วโมง (ฆ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 24 ชั่วโมง (ง) คอลัมน์ DB-5 ที่ 48 ชั่วโมง (จ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 48 ชั่วโมง (ฉ) คอลัมน์ DB-5 ที่ 72 ชั่วโมง (ช) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 72 ชั่วโมง (ซ) คอลัมน์ DB-5 ที่ 96 ชั่วโมง (ฌ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 96 ชั่วโมง (ญ) คอลัมน์ DB-5 ที่ 120 ชั่วโมง (ฎ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 120 ชั่วโมง..... 41
รูปที่ 4.2 โครมาโตแกรมของแมคคาเดเมียอบแห้งจากคอลัมน์ DB-5 และ DB-1701 ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ตามลำดับ อุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียล (ก) คอลัมน์ DB-5 ที่ 0 ชั่วโมง (ข) คอลัมน์ DB-1701ที่ 0 ชั่วโมง (ค) คอลัมน์ DB-5 ' 24 ชั่วโมง (ฆ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 24 ชั่วโมง (ง) คอลัมน์ DB-5 ที่ 48 ชั่วโมง (จ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 48 ชั่วโมง (ฉ) คอลัมน์ DB-5 ที่ 72 ชั่วโมง (ช) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 72 ชั่วโมง (ซ) คอลัมน์ DB-5 ที่ 96 ชั่วโมง (ฌ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 96 ชั่วโมง (ญ) คอลัมน์ DB-5 ที่ 120 ชั่วโมง (ฎ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 120 ชั่วโมง..... 43
รูปที่ 4.3 การวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอนของแมคคาเดเมียอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มเป็น 50 องศาเซลเซียส..... 50

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.4 การวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอน ของค่าความชื้นในแมคคาเดเมียอบแห้ง..... 52
รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอนของค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกในแมคคาเดเมีย
อบแห้ง..... 54
รูปที่ 4.6 ภาพการกระจายของผลการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ความชื้น
และ กรดไทโอบาร์บิทิวริกกับระยะเวลาในการเก็บรักษา..... 57

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แมคคาเดเมียเป็นไม้ยืนต้นแม้จะมีลักษณะเหมือนถั่วแต่ไม่ใช่พืชตระกูลถั่ว มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และกรดไขมันที่พบมากที่สุดคือโอเลอิกเอซิดมีมากถึงร้อยละ 53.69 [1] มีไขมันประเภทไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวสูงกว่าพืชให้น้ำมันชนิดอื่นๆ เช่น ผลมะกอก เมล็ดทานตะวัน และวอลล์นัท [2] และเป็นพืชที่มีราคาแพง มีความต้องการในตลาดโลกสูง นอกจากนี้ยังสามารถจำหน่ายได้ทั้งในรูปสินค้าการเกษตรหรือนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้ อีกทั้งยังสามารถนำน้ำมันที่สกัดจากแมคคาเดเมียมาใช้ในการทำอาหาร ผสมในเครื่องสำอาง แต่การที่แมคคาเดเมียมีปริมาณไขมันที่สูงส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ และเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นหืน [3] เมื่อเกิดการหืนโดยปฏิกิริยานี้ จะทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการลดลงและยังทำลายวิตามินต่างๆ ที่ละลายได้ในไขมัน [4] ปฏิกิริยาเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเก็บรักษาและแปรรูป

เครื่อง Heracles Electronic Nose หรือเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เป็นเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟีที่ใช้หลักการฟาสต์แก๊สโครมาโตกราฟฟีซึ่งเป็นกระบวนการในการแยกสารออกจากสารผสมโดยอาศัยหลักของการพาร์ติชั่นนิ่ง ระหว่าง 2 เฟส คือ สเตชั่นเนรีเฟส และโมบายเฟส จะแสดงภาพโครมาโตแกรม เป็นผลที่ได้จากการบันทึกระหว่างปริมาณสารที่แยกได้ไปยังตัวตรวจสอบ (Detector) กับเวลา ความสูงของโครมาโตกราฟฟีพีคนั้น (Peak height) เป็นสัดส่วนกับปริมาณของสารที่อยู่ในพีคนั้น [5] Heracles Electronic nose มีโปรแกรมประมวลผลแบบการวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปรที่สามารถวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพได้แบบเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี ทำงานร่วมกับ 2 คอลัมน์ แบบมีขั้วและแบบไม่มีขั้วควบคู่ไปกับการบ่มใน Incubator แล้วทำการดูดกลิ่นที่บริเวณนำส่วนหัวของขวด (Headspace) ฉีดเข้าเครื่อง Heracles เพื่อทำการวิเคราะห์กลิ่นและมีโปรแกรมการใช้งานโครงสร้างของกลิ่นรวมถึงฐานข้อมูลของสารประกอบอินทรีย์ Aro ChemBase มากกว่า 40,000 ชนิด

ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาแนวทางการนำเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกลิ่นของแมคคาเดเมียอบแห้ง โดยใช้การทดสอบ T-test ด้วยโปรแกรม SPSS จากความสามารถในการแยกความ

แตกต่างของสารและความสูงของพีคเพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสม จากนั้นนำความสูงพีคไปจัดกลุ่มแบบขั้นตอน (Hierarchical Cluster Analysis) โดยใช้วิธีการวัดระยะห่างแบบสแควร์ยูคลิเดียน (Square Euclidean Distance) และใช้วิธีการรวมกลุ่มแบบวิธีการของวอร์ด (Ward's Method) ด้วยโปรแกรม XLSTAT และวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการการวิเคราะห์คุณภาพด้านกลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี ซึ่งเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถวิเคราะห์กลิ่นของแมคคาเดเมียอบแห้งได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำ ไม่ยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่าง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อื่นๆได้อีกมากมายซึ่งวิเคราะห์ได้ทั้งของแข็งและของเหลว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแปลงทางด้านกลิ่นของแมคคาเดเมียอบแห้งโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

1.2.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์ทางด้านเคมี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหาการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์แมคคาเดเมียอบแห้งที่อายุการเก็บต่างๆ โดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแปลงทางด้านกลิ่น และการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์ทางด้านเคมี

1.3.2 ขอบเขตระยะเวลา

การวิจัยครั้งนี้เริ่มดำเนินงานตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2557 – เมษายน พ.ศ. 2559

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นของแมคคาเดเมียอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ และสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆ ต่อไป

1.4.2 ได้ทราบถึงความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์คุณภาพด้านกลิ่นโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

บทที่ 2
ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประยุกต์ใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการวิเคราะห์กลิ่นหืนของแมคคาเดเมียอบแห้งมีทฤษฎีที่จะนำมาใช้อ้างอิงเป็นพื้นฐานในการศึกษาวิจัยประกอบด้วย

2.1 แมคคาเดเมีย

2.2 จมูกอิเล็กทรอนิกส์

2.3 การวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอน

2.4 การวิเคราะห์ความถดถอย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แมคคาเดเมีย

2.1.1 ประวัติของแมคคาเดเมีย

ประวัติของแมคคาเดเมีย คือ แมคคาเดเมียเป็นเป็นไม้ยืนต้นแม้จะมีลักษณะเหมือนถั่วแต่ไม่ใช่พืชตระกูลถั่ว โดยนักพฤกษศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ Friedrich Wilhelm Ludwig Leichhardt ได้ค้นพบแมคคาเดเมียเป็นคนแรก ในปี พ.ศ. 2386 ประเทศออสเตรเลีย แต่เพียงแค่นำมาเก็บไว้ในพิพิธภัณฑ์พืช และต่อมาในปี พ.ศ. 2400 Baron Sir Ferdinand Jacob Heinrich von Mueller ชาวเยอรมันกับ Walter Hill ชาวสก็อตแลนด์ ซึ่งมีตำแหน่งเป็นผู้อำนวยการพฤกษศาสตร์ของเมืองบริสเบน ได้ทำการสำรวจค้นพบแมคคาเดเมียอีกครั้งที่บริเวณแม่น้ำไพน์ อ่าวมอร์ตัน รัฐควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลียแล้วนำมาทดลองปลูก และได้ขอจดทะเบียนแมคคาเดเมียที่พบเป็นพืชสกุลใหม่ชื่อ Macadamia เพื่อเป็นเกียรติแก่ John Macadam ซึ่งเป็นผู้ที่เคารพและเป็นเพื่อนสนิทซึ่งเป็นอาจารย์สอนวิชาเคมีมหาวิทยาลัยเมลเบิร์น [6] ในปี พ.ศ. 2424 แมคคาเดเมียได้ถูกแนะนำสู่ฮาวายโดย William Herbert Purvis ชาวสก็อตแลนด์ ต่อมาในปี พ.ศ. 2435 Edward Walter Jordan และ Robert Alfred Jordan ได้นำแมคคาเดเมียชุดที่สองจากประเทศออสเตรเลียไปปลูกที่ฮาวาย และมีการขยายพันธุ์ปลูกทั้ง 9 หมู่เกาะในฮาวาย โดยมีการปลูกมากที่สุดที่เกาะ Kauai Oahu Maui และ Hawaii [7] และได้ทำให้แมคคาเดเมียเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งในเวลานั้น

แมคคาเดเมียได้เข้ามาในประเทศไทยครั้งแรกโดยองค์การยูซ่อม (United States Operations Mission) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี พ.ศ.2496 ซึ่งได้ส่งเมล็ดพันธุ์แมคคาเดเมียสายพันธุ์ Integrifolia ซึ่งเป็นชนิดเปลือกเรียบ ให้กับกรมวิชาการเกษตรจากนั้นกรมวิชาการเกษตรได้ทำ

การทดลองปลูกแมคคาเดเมียครั้งแรกที่สถานีวิจัยทางการเกษตรฝางแม่มาลัยฟาร์ม และดอยมูเซอ จังหวัดตาก ในปี พ.ศ. 2496 [6] จากนั้นหม่อมราชวงศ์จักรทอง ทองใหญ่ ปลัดกระทรวงการเกษตร และนายประสิทธิ์ พุ่มชูศรี เจ้าของสวนชาระมิงค์ อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ได้ติดต่อขอกิ่งพันธุ์แมคคาเดเมียจากมหาวิทยาลัยฮาวายมาให้กับกรมวิชาการเกษตร ในปี พ.ศ. 2511 ซึ่งมหาวิทยาลัยฮาวายได้ส่งนายฟูกะนากะ ผู้เชี่ยวชาญแมคคาเดเมียเป็นผู้นำกิ่งพันธุ์ของแมคคาเดเมียมาให้ทั้งหมด 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ 246 พันธุ์ 333 และ พันธุ์ 508 โดยส่งให้กับนายดำเกิง ชาลีจันทร์ เพื่อนำไปทำการศึกษาการขยายพันธุ์แบบเสียบกิ่งกับต้นแมคคาเดเมียที่สวนชาระมิงคซึ่งผลการทดลองปลูกนั้นไม่ประสบความสำเร็จ และต่อมา นายไพโรจน์ ผลประสิทธิ์ ตำแหน่งกองค้นคว้าและทดลอง กรมวิชาการส่งเสริมการเกษตร ในปี พ.ศ. 2515 ได้ติดต่อขอพันธุ์แมคคาเดเมียที่เสียบกิ่งแล้วจากมหาวิทยาลัยฮาวาย ได้แก่ พันธุ์ 246 พันธุ์ 333 พันธุ์ 508 และ พันธุ์ 660 แล้วนำปลูกที่สถานีทดลองพืชสวนฝาง สามารถเก็บผลผลิตได้ในปี พ.ศ. 2520 ในปัจจุบันสถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้ทำการวิจัยคัดเลือกพันธ์พบว่าพันธุ์แมคคาเดเมียที่เหมาะสมสำหรับปลูกในประเทศไทย ได้แก่ แมคคาเดเมียพันธุ์เชียงใหม่ 400 แมคคาเดเมียพันธุ์เชียงใหม่ 700 และแมคคาเดเมียพันธุ์เชียงใหม่ 1000 [6]

2.1.2 ข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ของแมคคาเดเมีย

ข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ของแมคคาเดเมีย คือ แมคคาเดเมียทั่วโลกมี 18 สายพันธุ์ มีชื่อสามัญว่า Macadamia เป็นพืชในวงศ์ Proteaceae มีชื่อสามัญทางวิทยาศาสตร์ว่า *Macadamia tetraphylla* พบว่ามี 3 สายพันธุ์ที่รับประทานได้ [2] คือ แมคคาเดเมียสายพันธุ์ Integrifolia แมคคาเดเมียสายพันธุ์ Tetraphlla และ แมคคาเดเมียสายพันธุ์ Prealta โดยสายพันธุ์ที่มีการบริโภคมากที่สุดคือ แมคคาเดเมียสายพันธุ์ Integrifolia และ แมคคาเดเมียสายพันธุ์ Tetraphlla โดยต้นกำเนิดของ แมคคาเดเมียสายพันธุ์ Integrifolia อยู่ทางตะวันออกเฉียงใต้ของรัฐควีนสแลนด์ ประเทศออสเตรเลีย และต้นกำเนิดของแมคคาเดเมียสายพันธุ์ Tetraphlla อยู่ทางตะวันออกเฉียงใต้ของรัฐควีนสแลนด์ และตะวันออกเฉียงเหนือของรัฐนิวเซาท์เวลส์ ประเทศออสเตรเลีย ลักษณะโดยทั่วไปของแมคคาเดเมียสายพันธุ์ Integrifolia คือมีลักษณะกะลาผิวเรียบเป็นสายพันธุ์หลักในการผลิตทางการค้า เนื่องจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์ Integrifolia ให้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูงสามารถให้ปริมาณน้ำมันได้มากถึงร้อยละ 80 และมีน้ำตาลเพียงร้อยละ 4 ซึ่งหากมีน้ำตาลสูงกว่าร้อยละ 6 – 8 เมื่อนำแมคคาเดเมียไปคั่วจะเกิดปฏิกิริยา สีน้ำตาลทำให้มีสีเข้มขึ้นทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ [2] ลักษณะโดยทั่วไปของแมคคาเดเมียสายพันธุ์ Tetraphlla จะมีลักษณะต่างจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์ Integrifolia คือ มีเมล็ดผิวขรุขระ แต่ในด้านการในการผลิต แมคคาเดเมียสายพันธุ์ Tetraphlla ปลูกง่ายกว่าและสามารถปรับตัวได้ดีกว่า

แมคคาเดเมียสายพันธุ์ Integrifolia ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำหรือช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิกว้าง แต่ในด้านคุณภาพของเนื้อในแมคคาเดเมียสายพันธุ์ Tetraphlla มีคุณภาพต่ำกว่าเนื้อในแมคคาเดเมียสายพันธุ์ Integrifolia [2]

แมคคาเดเมียเป็นไม้ยืนต้นที่มีขนาดใหญ่ สูงประมาณ 180 เซนติเมตร กว้างประมาณ 150 เซนติเมตร คล้ายปีระมิด ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ลักษณะของลำต้นสูงตั้งตรง ไม่ผลัดใบ มีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นประมาณ 30 เซนติเมตร มีลักษณะของเปลือกของลำต้นหยาบ สีน้ำตาลเข้ม มีลักษณะของใบเหมือนหอกกลับหัว ซึ่งใบอ่อนมีสีชมพู ใบแก่มีสีเขียวเข้มขอบใบมีหนามเล็กน้อย ขนาดใบของต้นแมคคาเดเมียยาวประมาณ 10 – 30 เซนติเมตร กว้างประมาณ 2 – 4 เซนติเมตร มีลักษณะของดอกเป็นช่อยาวๆ ติดผลเป็นช่อ สีดอกของต้นแมคคาเดเมียจะมีตั้งแต่สีขาวไปจนถึงสีชมพูดัง แสดงในรูปที่ 2.2 มีลักษณะของเมล็ดเป็นทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เมล็ดแมคคาเดเมียจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดที่แข็งและหนาสีเขียวไปจนถึงสีเขียวเข้มห่อหุ้มเมล็ด ภายในเปลือกหุ้มเมล็ดประกอบด้วยกะลาแข็งสีน้ำตาลห่อหุ้มเนื้อในสีขาวนวล ดังแสดงในรูปที่ 2.4 แมคคาเดเมียเป็นพืชที่ต้องการอากาศค่อนข้างเย็น อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตได้ดีคืออุณหภูมิประมาณ 10 – 30 องศาเซลเซียส [2] สภาพดินควรมีความเป็นกรด – ด่าง ที่ประมาณ 5.5 – 6.6 ซึ่งที่เหมาะสมคือ 6.5 [6]

รูปที่ 2.1 ลักษณะต้นของแมคคาเดเมีย
ที่มา: [8]

รูปที่ 2.2 ลักษณะดอกของแมคคาเดเมีย
ที่มา: [9]

รูปที่ 2.3 ลักษณะเมล็ดของแมคคาเดเมีย
ที่มา: [10]

รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบเมล็ดของแมคคาเดเมีย เปลือกนอก กะลา และเนื้อใน
ที่มา: [11]

2.1.3 คุณค่าทางโภชนาการของแมคคาเดเมีย

แมคคาเดเมียมีปริมาณไขมันสูงถึงร้อยละ 76 แต่ไขมันที่พบส่วนใหญ่คือกรดโอเลอิก ซึ่งเป็นไขมันประเภทไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว โดยไขมันประเภทนี้ช่วยลดระดับปริมาณคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ ในกระแสเลือดทำให้ไม่เกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โดยอาทิตย์ [1] ได้ศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันของเมล็ดด้อยคุณภาพ ทำการศึกษาโดยใช้ เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี เฟลมไอออนไนเซชั่น พบว่าน้ำมันแมคคาเดเมียที่ได้จากเมล็ดด้อยคุณภาพมีส่วนประกอบของกรดไขมันโอเลอิก ลิโนเลอิก และลิโนเลนิก ซึ่งมีประโยชน์ต่อผิวหนัง และสุขภาพ และสามารถนำมาทำน้ำมันนวดสปาได้ นอกจากแมคคาเดเมียมีไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวที่ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในกระแสเลือดแล้ว ยังเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง แมคคาเดเมีย 100 กรัม จะให้พลังงาน 718 กิโลแคลอรี่ ไขมันทั้งหมด 75.77 กรัม ประกอบด้วยไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว 58.88 กรัม ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน 1.50 กรัม โปรตีน 7.91 กรัม คาร์โบไฮเดรต 13.82 กรัม [12] ปราศจากกลูเตน และไม่มีคอเลสเตอรอล ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อในแมคคาเดเมียดิบ

คุณค่าทางโภชนาการ	จำนวนต่อ 100 กรัม
พลังงาน	718 กิโลแคลอรี่
คาร์โบไฮเดรต	13.82 กรัม
เส้นใยอาหาร	8.6 กรัม
ไขมันทั้งหมด	75.77 กรัม
ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว	58.88 กรัม
โปรตีน	7.91 กรัม
วิตามินซี	1.2 มิลลิกรัม
วิตามินอี	0.5 มิลลิกรัม
ไทอามิน	1.2 มิลลิกรัม
ไรโบฟลาวิน	0.2 มิลลิกรัม
ไนอาซิน	2.5 มิลลิกรัม
ไรโบฟลาวิน	0.2 มิลลิกรัม
ไนอาซิน	2.5 มิลลิกรัม
วิตามิน บี 6	0.3 มิลลิกรัม
แคลเซียม	85.0 มิลลิกรัม
เหล็ก	3.7 มิลลิกรัม
แม็กนีเซียม	130 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	188 มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	368 มิลลิกรัม
สังกะสี	1.3 มิลลิกรัม
ทองแดง	0.8 มิลลิกรัม
แมงกานีส	4.1 มิลลิกรัม
เถ้า	1.1 กรัม

ที่มา: [12]

2.1.4 สายพันธุ์ของแมคคาเดเมีย

สายพันธุ์ของพันธุ์แมคคาเดเมียที่ได้จากการวิจัยและเปรียบเทียบพันธุ์จากสถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร ได้แนะนำพันธุ์แมคคาเดเมีย และคัดเลือกพันธุ์ดี สำหรับแนะนำให้เกษตรกรได้นำไปปลูกมีจำนวน 3 สายพันธุ์ [6] ดังนี้

2.1.4.1 พันธุ์เชียงใหม่ 400 ออกดอกมาก ใช้ปลูกร่วมกับพันธ์อื่นเพื่อช่วยผสมเกสรให้กับพันธ์อื่น [6] มีลักษณะทรงต้นตั้งตรง ทรงพุ่มของใบมีลักษณะคล้ายปิรามิด ความสูงของต้นประมาณ 150 – 200 เซนติเมตร มีพุ่มแน่นกว้างประมาณ 100 – 150 เซนติเมตร ให้ผลผลิตที่มีขนาดเล็กถึงไปจนถึงปานกลาง มีลักษณะของกะลาที่บางผิวเรียบ ลักษณะของเมล็ดรูปร่างกลมมีผิวสีน้ำตาลอ่อน มีจุดลายประลักษณะของเนื้อในมีรูปร่างกลมสีขาว น้ำหนักรวมทั้งเมล็ดและกะลามีน้ำหนักประมาณ 5 – 8 กรัม น้ำหนักเมล็ดเนื้อในประมาณ 1.5 – 2.7 กรัม มีจำนวนเมล็ด 175 – 190 เมล็ดต่อกิโลกรัม [7]

2.1.4.2 พันธุ์เชียงใหม่ 700 มีขนาดของเมล็ดค่อนข้างใหญ่เนื้อในให้น้ำหนักสูงกว่าพันธุ์เชียงใหม่ 400 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 [6] มีลักษณะทรงต้นกึ่งต้นตรง มีพุ่มแน่น มีลักษณะคล้ายปิรามิด ความสูงของต้นประมาณ 150 – 200 เซนติเมตร ทรงพุ่มกว้างประมาณ 100 – 150 เซนติเมตร มีลักษณะของกะลาบาง ลักษณะรูปร่างของเมล็ดกลมมีผิวเรียบสีน้ำตาลอ่อนมีจุดลายประลักษณะของเนื้อในมีรูปร่างกลม สีขาวสวย ให้ผลผลิตสูง น้ำหนักรวมทั้งเมล็ดแห้งและกะลามีน้ำหนักประมาณ 6 – 8 กรัม มีจำนวนเมล็ด 135 – 150 เมล็ดต่อกิโลกรัม จะมีคุณภาพดีหากปลูกในพื้นที่สูง 700 เมตรขึ้นไป [7]

2.1.4.3 พันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีขนาดของเมล็ดปานกลางเนื้อในมีคุณภาพดีมาก ทั้งนี้ต้นแมคคาเดเมียจะเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตสูงหากปลูกในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศเย็นที่ความสูง 1,000 เมตรขึ้นไป สามารถเจริญเติบโตในสภาพอาการที่แล้งได้แต่ไม่สามารถทนกับสภาพภูมิอากาศที่ร้อนได้ถ้าปลูกในพื้นที่ต่ำกว่า 700 เมตรลงมา จะทำให้เกิดอาการแพ้ความร้อน คือใบเหลืองซีด ขอบใบไหม้ [6] มีลักษณะทรงต้นกึ่งต้นตรง มีพุ่มค่อนข้างแน่นทรงกลมแผ่กว้างกว่าพันธุ์เชียงใหม่ 400 และพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีรูปร่างลักษณะและสีสวย ความสูงของต้นประมาณ 150 – 200 เมตร พุ่มกว้างประมาณ 120 – 150 เซนติเมตร ลักษณะเมล็ดมีรูปร่างกลมผิวเรียบสีน้ำตาลอ่อน มีจุดประเล็กน้อยมีรอยแตกสีดำชัดเจน มีเนื้อในรูปร่างกลมสีขาวมีคุณภาพยอดเยี่ยม น้ำหนักแห้งรวมทั้งกะลาประมาณ 5 – 8 กรัม ให้ผลผลิตจำนวน 148 – 170 เมล็ดต่อกิโลกรัม [7]

การออกดอก การติดผลและการเก็บเกี่ยว จะมีช่วงการออกดอก การติดผลและการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ปลูกและสายพันธุ์ โดยพันธุ์เชียงใหม่ 400 มีอายุการเก็บเกี่ยว

ผลประมาณ 180 – 200 วัน หลังจากดอกบานในสภาพพื้นที่สูงประมาณ 800 – 1,300 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล แมคคาเดเมีย จะมีช่วงออกดอก 2 ช่วงใหญ่ แต่ในสภาพพื้นที่ที่ต่ำกว่า 800 เมตรลงมาจะออกดอกและให้ผลผลิตได้เพียงครั้งเดียว [7] ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การออกดอกและการเก็บเกี่ยวของแมคคาเดเมียในช่วงเวลาต่างๆ

พื้นที่ปลูกความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (เมตร)	ช่วงเดือนที่ออกดอก	ช่วงช่วงเดือนที่เก็บเกี่ยว	วันที่อายุดอกบานถึงวันที่เก็บเกี่ยว
800 – 1,300	พฤศจิกายน – ธันวาคม	มิถุนายน – กันยายน	180 – 210
-	กรกฎาคม – สิงหาคม	เมษายน – พฤษภาคม	180 – 210
ต่ำกว่า 800	ธันวาคม – กุมภาพันธ์	กรกฎาคม – กันยายน	180 – 210

ที่มา : [7]

2.1.5 การปลูกต้นแมคคาเดเมีย

การปลูกต้นแมคคาเดเมียควรปลูกแมคคาเดเมียให้สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 700 เมตร ขึ้นไป ไม่ควรปลูกในพื้นที่ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง 400 เมตร ดินที่ใช้ปลูกควรเป็นดินร่วนปนทราย พื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกแมคคาเดเมียในประเทศไทย คือ อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 19 ขึ้นไป องศาเหนือ โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปลูกอยู่ที่ 10 – 30 องศาเซลเซียส [6] พื้นที่การปลูก ควรให้มีระยะห่างต้นและแถวประมาณ 8x10 เมตร และยังสามารถปลูกพืชผักแซมในพื้นที่ว่างระหว่างแถวในช่วง 10 – 12 ปีแรก ขนาดหลุมสำหรับขุดใส่ต้นกล้าแมคคาเดเมียควรขุดให้มีขนาดกว้าง x ยาว x ลึก ประมาณ 75x75x75 เซนติเมตร หรือ 1x1x1 เมตร ควรรองก้นหลุมด้วยหินฟอสเฟตหลุมละประมาณ 1 – 2 กิโลกรัม ก่อนทำการปลูก และนำปุ๋ยอินทรีย์ คลุกเคล้ากับดินที่จะนำใส่ในหลุม [7]

2.1.6 การให้น้ำต้นแมคคาเดเมีย

การให้น้ำแมคคาเดเมียควรให้น้ำอย่างสม่ำเสมอโดยเฉพาะในระยะติดผลช่วงอายุต้นแมคคาเดเมีย 2 เดือนแรก ประมาณ 3 ลิตรต่อต้นต่อวัน ในช่วงหน้าแล้ง ในช่วงอายุต้นแมคคาเดเมีย 1 – 3 ปี ควรให้น้ำประมาณ 20 ลิตรต่อต้นต่อวัน ในช่วงอายุต้นแมคคาเดเมีย 4 – 7 ปี ควรให้น้ำประมาณ 30 ลิตรต่อต้นต่อวัน และในช่วงอายุต้นแมคคาเดเมีย 7 ปี ขึ้นไป ควรให้น้ำประมาณ 120 ลิตรต่อต้นต่อวัน [6]

2.1.7 การตัดแต่งกิ่งต้นแมคคาเดเมีย

การตัดแต่งกิ่งต้นแมคคาเดเมียมีการทำในระยะแรกที่เริ่มปลูกคือ 6 – 12 เดือนแรก เมื่อกิ่งประธานสูงเกิน 80 – 100 เซนติเมตร และกิ่งประธานยังไม่แตกกิ่งออกข้าง ต้องทำการตัดแต่งให้ต้นมีกิ่งประธานเหลือเพียง 1 กิ่ง ต้องทำการเด็ดยอดกิ่งประธานออกเพื่อให้กิ่งข้างแตกออกอย่างน้อย 2 – 3 กิ่ง และ เลือกกิ่งที่มีลักษณะตั้งตรง เพื่อใช้กิ่งนั้นเป็นกิ่งประธานต่อไป หลังจากที่แมคคาเดเมียติดผลจะตัดเฉพาะกิ่งที่เป็นโรคและกิ่งที่ออกแน่นเกินไปออกไป ซึ่งการตัดแต่งจะทำน้อยมาก เพราะโดยปกติแล้วแมคคาเดเมียออกดอกภายในทรงพุ่ม [6]

2.1.8 การขยายพันธุ์ต้นแมคคาเดเมีย

การขยายพันธุ์แมคคาเดเมียนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทาบกิ่ง การติดตา การเสียบยอด และการใช้ต้นตอจากการเพาะเมล็ด [7]

2.1.9 การให้ผลผลิตของต้นแมคคาเดเมีย

การให้ผลผลิตของต้นแมคคาเดเมียหลังจากปลูก 4 – 5 ปี จะเริ่มให้ผลผลิตประมาณ 1 – 3 กิโลกรัมต่อต้น และเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในทุก 10 ปีขึ้นไป จะให้ผลผลิตประมาณ 20 – 30 กิโลกรัมต่อต้น ต้นแมคคาเดเมียที่มีอายุ 20 ปีขึ้นไปจะให้ผลผลิตประมาณ 40 – 60 กิโลกรัมต่อต้น ทั้งนี้อายุการให้ผลผลิตของต้นแมคคาเดเมียจะยาวนานไม่น้อยกว่า 50 ปี หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับการดูแลรักษา ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ยาวนานควรหมั่นดูแลรักษาใส่ปุ๋ยบำรุงดินอย่างสม่ำเสมอ [7]

2.1.10 การแปรรูปแมคคาเดเมีย

การแปรรูปแมคคาเดเมียหลังเก็บเกี่ยวและผ่านการกะเทาะกะลาออกแล้วให้นำมาคัดเลือกเอาเมล็ดพันธุ์ที่มีตำหนิออก นำเฉพาะเมล็ดที่มีคุณภาพดีมาอบ หรือ ทอด โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 135 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาทอดประมาณ 12 – 15 นาที จะนิยมนำมาทอดกับน้ำมันมะพร้าว [2] โดยการอบแห้งใช้เวลานาน 40 – 50 นาที อุณหภูมิประมาณ 135 องศาเซลเซียส ถ้าเป็นเนื้อในของแมคคาเดเมียสายพันธุ์ Tetraphylla ซึ่งมีน้ำตาลสูงกว่าแมคคาเดเมียสายพันธุ์ Integrifolia ควรลดอุณหภูมิให้เหลือเพียง 127 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบ 12 นาที โดยอบแห้งจะอบจนความชื้นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 1.5 – 2 [2] เมล็ดแมคคาเดเมียที่มีเปลือกมีสีน้ำตาล คือเป็นเมล็ดที่สุกนานแล้ว ถ้าเมล็ดแมคคาเดเมียมีดำควรนำไปกะเทาะเปลือกออกแล้วนำไปอบแห้งภายใน 24 ชั่วโมง เพราะจะทำให้เกิดความร้อนทำให้เนื้อในมีคุณภาพไม่ดี โดยกนกรัตน์ [2] ทำการศึกษาผลของการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนร่วมกับแบบลมร้อนและบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพแมคคาเดเมีย พบว่าการอบแห้งแมคคาเดเมียทั้งกะลาโดยวิธีปั๊มลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยลดความชื้นให้เหลือ ร้อยละ 11.11 และอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นภาวะที่

เหมาะสมในการอบแห้งแมคคาเดเมียทั้งกะลา และสุพรทิพย์ [3] ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารให้กลิ่นรสและไขมันระหว่างกระบวนการแปรรูปถั่วแมคคาเดเมียพบว่าการอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับการอบแห้งแบบอุโมงค์จะช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้ง และยังรักษาคุณภาพของแมคคาเดเมียไว้ได้ดี หลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งแล้วให้นำมาบรรจุถุงพลาสติก ปิดปากถุงด้วยระบบสุญญากาศแล้วนำไปเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น

2.1.11 การตลาดของแมคคาเดเมีย

การตลาดของแมคคาเดเมีย ปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียได้อย่างหลากหลายประเภท เช่น ถ่านจากกะลาแคคาเดเมีย น้ำมันแมคคาเดเมีย ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวและเส้นผม ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ และอื่นๆอีกมากมาย หากการปลูกแมคคาเดเมียในประเทศไทยสามารถให้ผลผลิตได้ถึงร้อยละ 70 ของการเพาะปลูกที่ฮาวาย นั้นถือว่าสามารถเพาะปลูกได้ประสบผลสำเร็จในระดับหนึ่ง ทางด้านการตลาดของประเทศไทยจะได้เปรียบฮาวายเนื่องจากราคาที่ดิน และ แรงงานราคาถูก [7] ในปี พ.ศ.2556 ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่นำเข้าแมคคาเดเมียมากที่สุด อันดับที่ 2 คือ ประเทศจีน อันดับที่ 3 คือ ประเทศเยอรมณี [13] โดยมีการคาดการณ์กันว่าในอนาคตประเทศไทยอาจเป็นหนึ่งในประเทศที่ส่งออกผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียสู่ตลาดโลกได้ในอันดับต้นๆ ซึ่งในปี พ.ศ.2557 ประเทศออสเตรเลียเป็นประเทศที่ผลิตแมคคาเดเมียได้มากที่สุดถึง 14,100 เมตริกตัน [13] อย่างไรก็ตาม ในด้านการตลาดของแมคคาเดเมียในส่วนแบ่งของตลาดพืชเคี้ยวมันมี เพียงร้อยละ 3 ของอัตราส่วนพืชเคี้ยวมันทั้งหมด ซึ่งอัลมอลด์มีส่วนแบ่งสูงถึงร้อยละ 45 – 48 นอกจากนี้ยังมีผู้ที่ยังไม่รู้จักแมคคาเดเมีย เช่น ในประเทศจีน แคนนาดา และประเทศในแถบยุโรป หากมีการประชาสัมพันธ์ให้มีคนรู้จักแมคคาเดเมียมากขึ้นกัน จะสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียไปยังประเทศเหล่านั้นได้ แมคคาเดเมียนั้นสามารถช่วยเพิ่มความหลากหลายในการส่งออกสินค้าการเกษตรของไทย [7]

2.1.12 การเสื่อมเสียของแมคคาเดเมีย

2.1.12.1 การเหม็นหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ถั่วแมคคาเดเมียอบแห้งนั้นทำให้มีกลิ่นและรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ เช่น มีความมันเยิ้ม มีรสชาติเลี่ยน เกิดกลิ่นหืน มีผลทำให้ปริมาณวิตามินเอถูกทำลาย และสูญเสียวิตามินอี คือ ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นเมื่อน้ำมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ น้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนจะถูกออกซิไดส์ได้เร็วกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวโดยเฉพาะที่พันธะคู่ ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ ไม่ให้กลิ่น แต่สารประกอบนี้ไม่คงตัว จะสลายตัวให้สารประกอบชนิดอื่น เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน ที่ให้กลิ่นหืน ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างต่อเนื่องเมื่อไขมันหรืออาหารสัมผัสกับอากาศ เนื่องจาก

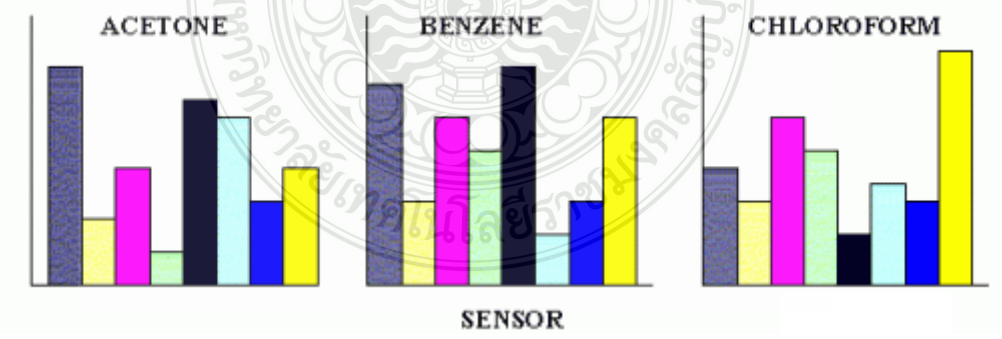
เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ [14] ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดขึ้นได้แม้อยู่ที่อุณหภูมิห้อง และสามารถถูกเร่งโดยแสง ความร้อน โลหะหนัก อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเป็น 2 เท่า เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 15 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิในช่วง 20 – 60 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้นานเป็น 4 เท่าของเมื่อเก็บไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส

2.1.12.2 การเกิดการเน่าเสียจากการเกิดรา คือ การเน่าเสียจากจุลินทรีย์ สามารถสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินขึ้นได้ ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 พ.ศ.2529 เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ได้กำหนดไว้ว่าให้มีการปนเปื้อนสารอะฟลาทอกซินได้ไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่อ อาการ 1 กิโลกรัม ในผลิตภัณฑ์ถั่วแมคคาเดเมียอบแห้งสามารถเกิดราได้ง่ายทั้งในระหว่างการขนส่งจากไร่ถั่วแมคคาเดเมียมายังโรงงานผลิต และจากกระบวนการผลิตที่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งถั่วแมคคาเดเมียนั้นยังไม่ผ่านกระบวนการอบแห้งมีปริมาณค่าความชื้นสูงสามารถเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย

2.2 จมูกอิเล็กทรอนิกส์

2.2.1 จมูกอิเล็กทรอนิกส์

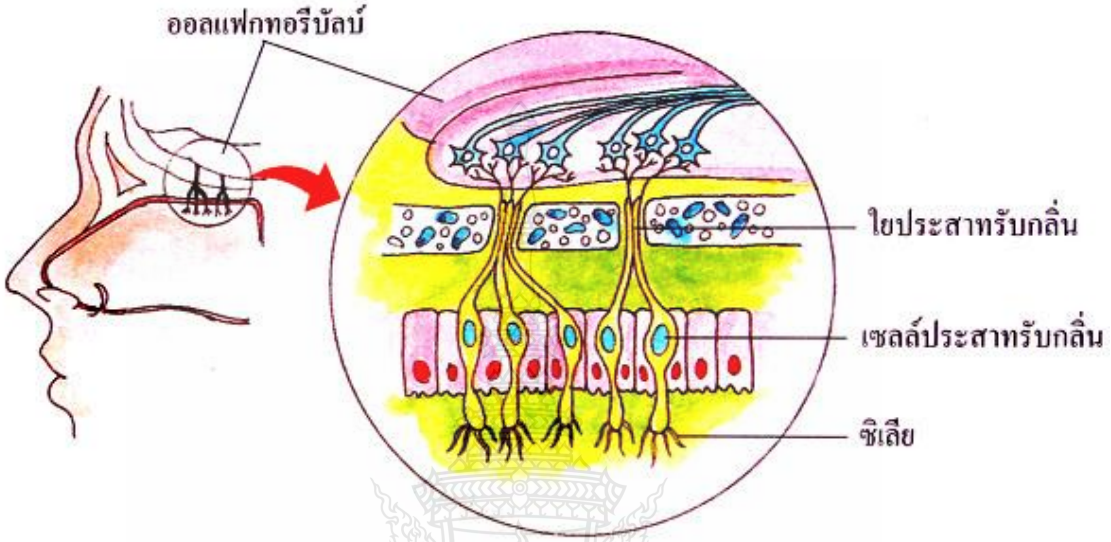
จมูกอิเล็กทรอนิกส์ถูกสร้างเพื่อตรวจสอบ และจดจำกลิ่นต่างๆให้ได้คล้ายกับการทำงานของจมูกมนุษย์ จุดเด่นของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีด้วยวิธีอื่นคือ เป็นอุปกรณ์ใช้ง่าย ทราบผลการตรวจรวดเร็ว และบอกข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของกลิ่นได้ถูกต้องแม่นยำ



รูปที่ 2.5 แสดงความต่างของรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าในสารแต่ละชนิด
ที่มา : [15]

จมูกอิเล็กทรอนิกส์มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่ง คือ ส่วนของเครื่องมือและส่วนอุปกรณ์ที่เป็นฮาร์ดแวร์ซึ่งประกอบด้วย เซนเซอร์รับกลิ่น แก๊ส ไอระเหย ระบบส่งข้อมูลและระบบจัดเก็บข้อมูล ส่วนที่สอง คือ โปรแกรมรับ บันทึก และประมวลผลข้อมูลซึ่งเป็นซอฟแวร์ โดยการทำงานเริ่มจาก เมื่อเซนเซอร์รับกลิ่นของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ตรวจจับกลิ่นที่ผ่านเข้ามาได้ โดยส่วนรับกลิ่นจะประกอบด้วยเซนเซอร์หลายชนิดมีจำนวนตั้งแต่ 5 – 100 ตัว โดยเซนเซอร์โดยแต่ละชนิดจะตรวจจับกลิ่นได้ต่างกัน ตอบสนองต่อกลิ่นหรือแก๊สชนิดเดียวกันแตกต่างกัน เมื่อการตอบสนองไม่เหมือนกัน เซนเซอร์แต่ละชนิดจึงส่งสัญญาณไฟฟ้าออกไปต่างกัน ความแตกต่างของสัญญาณไฟฟ้าทำให้เกิดรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าเฉพาะ เมื่อเปลี่ยนกลิ่นใหม่จะได้ชุดสัญญาณไฟฟ้าเฉพาะที่ต่างกัน แสดงในรูปที่ 2.5 โดยสามารถใช้ซอฟแวร์บันทึก และจัดเก็บรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าต่างๆ ไว้ได้ในหน่วยความจำเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการทำงานต่อไป การนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์ไปใช้ในการตรวจหากลิ่น คือการเปรียบเทียบชุดข้อมูลสัญญาณไฟฟ้าต่างๆ ที่อยู่ในหน่วยความจำ กับชุดข้อมูลสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากชุดเซนเซอร์ ว่ามีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร เซนเซอร์ทำหน้าที่แปลงสัญญาณกลิ่นที่เป็นโมเลกุลให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถตรวจวัดและสามารถบันทึกได้ ซึ่งเซนเซอร์รับกลิ่นส่วนใหญ่ทำจากวัสดุ 4 ประเภทคือ ทำจากสารโลหะออกไซด์ ทำจากโพลิเมอร์นำไฟฟ้า แมสเซนซิทีฟเพียโซอิเล็กทริก และแมสซีเล็คตีฟเซนเซอร์ [15] ผู้ที่ศึกษาค้นคว้าในรุ่นแรกเรื่องกลไกการรับรู้กลิ่นของมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม คือ ริชาร์ด แอกเซล กับ ลินดา บี. บัค การวิจัยศาสตร์ของการรับรู้กลิ่นในระดับโมเลกุลได้เริ่มขึ้นนับตั้งแต่เดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2547 ซึ่งเพิ่งจะเริ่มศึกษาและพัฒนาในเรื่องของการทำงานของระบบประสาทสัมผัสด้านกลิ่นมาได้ไม่นาน อาจเป็นเพราะไม่มีผู้ที่เห็นความสำคัญของระบบประสาทสัมผัสด้านกลิ่น ทั้งที่การรับประทานอาหารให้อร่อยนั้นขึ้นอยู่กับการทำหน้าที่ของจมูก เนื่องจากลิ้นสามารถรับรส ได้แค่ หวาน เปรี้ยว ขม เค็มเท่านั้น แต่จมูกสามารบอกได้ว่าอาหารนั้นมีกลิ่นที่น่ารับประทานหรือไม่รองจากมีลักษณะปรากฏที่น่ารับประทาน การทำหน้าที่รับกลิ่นของจมูกสำหรับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ นั้นมีความสำคัญมากถึงการอยู่รอดของเผ่าพันธุ์ เช่น ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวบอกสัญญาณของอาหาร การจดจำที่อยู่อาศัย ความพร้อมของการผสมพันธุ์ และสัญญาณเตือนภัย โดยหนูแฮมสเตอร์นั้นมียีนที่เข้ารหัสโปรตีนซึ่งเป็นโมเลกุลรับกลิ่นถึง 1,000 ยีน คิดเป็นร้อยละ 3 ของรหัสพันธุกรรมของหนูแฮมสเตอร์ แสดงให้เห็นว่าระบบประสาทสัมผัสการรับรู้กลิ่นนั้นมีความสำคัญมากต่อการดำรงชีวิตของหนูแฮมสเตอร์ การรับรู้กลิ่นเป็นระบบมีความซับซ้อนมาก โดยมนุษย์ที่ถูกฝึกมา เช่น นักดมกลิ่นน้ำหอม อาจมีความสามารถในการจดจำกลิ่นน้ำหอมได้มากถึง 10,000 ชนิด มนุษย์ทั่วไปสามรถแยกแยะกลิ่นและจดจำกลิ่นได้จากประสบการณ์ที่ผ่านมา เช่น กลิ่นหืน กลิ่นนม กลิ่นฉุนและกลิ่นอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งมนุษย์ก็มี

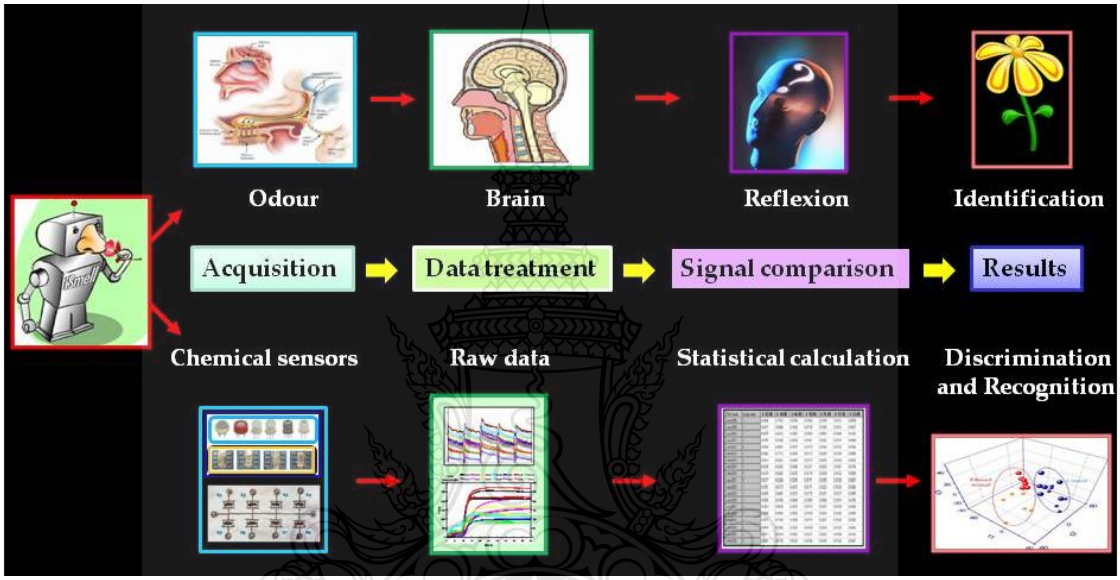
ความสามารถจดจำกลิ่นจำนวนมากได้ แต่ยังไม่มากพอที่จะแยกความแตกต่างของกลิ่นที่มีโครงสร้างทางเคมีหลักที่แตกต่างกันเพราะมนุษย์ไม่สามารถรับรู้โครงสร้างสามมิติของโปรตีนที่เป็นโมเลกุลในการรับกลิ่นซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด [16]



รูปที่ 2.6 ระบบรับรู้กลิ่นในโพรงจมูกมนุษย์
ที่มา: [17]

การทำงานของจมูกมนุษย์คือเมื่อสูดอากาศเข้าไป อากาศก็จะพาไอของโมเลกุลกลิ่นเข้าไปในโพรงจมูก ซึ่งกระแสลมแปรปรวนจะช่วยทำให้ไอโมเลกุลนั้นสัมผัสกับต่อมรับกลิ่นซึ่งอยู่บนเซลล์ประสาทรับกลิ่นโดยปลายข้างหนึ่งของเซลล์ประสาทรับกลิ่นจะไปรวมกันที่ต่อมรวมประสาทซึ่งจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณแล้วนำส่งไปสู่สมองส่วนรับกลิ่น แสดงในรูปที่ 2.6 ประสาทรับกลิ่นแต่ละเซลล์นั้นจะมีโมเลกุลรับกลิ่นเพียงชนิดเดียวเท่านั้นจากพันชนิด เซลล์รับกลิ่นที่มีโมเลกุลรับกลิ่นชนิดเดียวกันจะส่งสัญญาณไปที่ต่อมรวมประสาทชนิดเดียวกันทำให้สมองแยกแยะได้ว่าสัญญาณที่เข้ามานั้นมาจากเซลล์โมเลกุลรับกลิ่นชนิดไหนซึ่งสมองจะทำการประมวลผลอย่างเพราะมีโมเลกุลรับกลิ่นเป็นพันชนิด มีเซลล์รับกลิ่นล้านเซลล์ที่ส่งสัญญาณมายังท่อรวมสัญญาณนับหมื่นท่อ การรับรู้กลิ่นของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมประกอบด้วย ส่วนรับกลิ่นรวมถึงตัวรับกลิ่นและระบบรับกลิ่น ระบบนำสัญญาณประสาทรวมถึงระบบส่งและขยายสัญญาณประสาท ระบบประมวลผลจะสามารถแยกแยะและจดจำกลิ่นได้ ข้อจำกัดของจมูกมนุษย์คือความสามารถในการแยกแยะและจดจำกลิ่นของแต่ละคนไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการตรวจสอบรวมถึงความเหนื่อยล้าของสมองทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่ายและสารเคมีที่กลิ่นทั้งหลายเป็นสารละเหยที่มีอันตรายต่อมนุษย์ดังนั้นจึง

ได้มีการพัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาแทนที่การทำงานของจมูกมนุษย์ในส่วนนี้ลักษณะของจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะมีโครงสร้างเหมือนกับการทำงานของจมูกมนุษย์ คือ ส่วนรับกลิ่นประกอบด้วยตัวนำกลิ่นเข้ามา ท่อรวมกลิ่นเพื่อให้กลิ่นมีความเข้มข้นขึ้น และเซ็นเซอร์รับกลิ่นซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญ ส่วนรวบรวมสัญญาณจะทำการแปรสัญญาณจากเซ็นเซอร์ ส่วนระบบประมวลผลซึ่งจะสามารถนำสัญญาณที่ได้มาทำการเปรียบเทียบเชิงสถิติกับฐานข้อมูลเดิม อาจใช้ระบบประสาทเทียมเพื่อแยกแยะกลิ่น [16] แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบจมูกธรรมชาติกับจมูกอิเล็กทรอนิกส์
ที่มา : [18]

การทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะเลียนแบบจมูกธรรมชาติในแทบทุกด้าน เช่น การที่ดมกลิ่นใดกลิ่นหนึ่งเป็นเวลานานจะเกิดความเคยชินและอาจไม่รู้สึกถึงกลิ่นนั้นในระยะเวลาหนึ่ง เช่น ถ้าเข้าไปในที่ที่มีกลิ่นเหม็นแล้วนั่งอยู่สักครู่จมูกก็จะเริ่มไม่สามารถรับรู้ถึงกลิ่นเหม็นนั้นได้ แต่หากเดินออกไปสูดอากาศในที่อื่นสักพักแล้วเดินกลับเข้ามาใหม่ก็จะได้กลิ่นเหม็นกลิ่นนั้นอีกครั้ง จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกันคือ ถ้านำมาวิเคราะห์กลิ่นของช็อกโกแลตแล้วนำไปวิเคราะห์กลิ่นน้ำหอมชนิดหนึ่งในทันที เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็อาจจะไม่สามารถรับรู้กลิ่นน้ำหอมชนิดนั้นได้ดี เนื่องจากโมเลกุลกลิ่นของช็อกโกแลตนั้นได้เข้าไปจับตัวเซ็นเซอร์ทำให้เซ็นเซอร์ไม่สามารถจับกับโมเลกุลกลิ่นน้ำหอมที่เข้ามาใหม่ได้ จึงต้องมีวิธีการไล่กลิ่นเดิมออกไปโดยการเป่า

อากาศเข้าไปที่ตัวเซ็นเซอร์ นอกจากนั้นจมูกอิเล็กทรอนิกส์ต้องการเรียนรู้ก่อนว่ากลิ่นที่นำวิเคราะห์นั้นคือกลิ่นอะไรซึ่งเหมือนจมูกมนุษย์คือเมื่อตอนที่มนุษย์เกิดมานั้นแทบไม่มีข้อมูลของกลิ่นอยู่ในสมองเลย จึงต้องมีการเรียนรู้ตั้งแต่เด็กว่าช็อกโกแลตมีกลิ่นอย่างไร นมมีกลิ่นอย่างไร จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็ต้องการการฝึกฝนเช่นเดียวกันที่ เพื่อให้สามารถจดจำแยกแยะกลิ่นได้ [16]

2.2.2 เครื่อง Heracles Electronic nose

เป็นเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี่ที่ใช้หลักการฟาสต์แก๊สโครมาโตกราฟฟีซึ่งเป็นกระบวนการในการแยกสารออกจากสารผสม โดยอาศัยหลักของการพาร์ติชั่นนิ่ง ระหว่าง 2 เฟส คือ สเตชั่นเนรีเฟส และโมบายเฟส จะแสดงภาพโครมาโตแกรม เป็นผลที่ได้จากการบันทึกระหว่างปริมาณสารที่แยกได้ไปยังตัวตรวจสอบ (Detector) กับเวลา ความสูงของโครมาโตกราฟฟี่พีคนั้น (Peak height) เป็นสัดส่วนกับปริมาณของสารที่อยู่ในพีคนั้น [5] มีความสามารถในการวิเคราะห์และแยกองค์ประกอบที่ซับซ้อนได้ให้ผลที่แม่นยำและรวดเร็ว ใช้ได้กับสารประกอบอินทรีย์ที่สามารถระเหยเป็นไอได้ง่ายแต่ไม่ใช้แก๊สโครมาโตการฟฟีในการวิเคราะห์สารประกอบอนินทรีย์เพราะสารประกอบอนินทรีย์ไม่สามารถกลายเป็นไอได้ในอุณหภูมิที่ทำการทดลอง วิธีแก๊สโครมาโตการฟฟี่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ทั้งคุณภาพและปริมาณสามารถพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวอย่างได้โดยเทียบกับค่ารีเทนชันไทม์ [19] Heracles Electronic nose มีโปรแกรมประมวลผลแบบการวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปรที่สามารถวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพได้แบบเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี ทำงานร่วมกับ 2 คอลัมน์ แบบมีขั้วและแบบไม่มีขั้วควบคู่ไปกับการบ่มใน Incubator แล้วทำการดูดกลิ่นที่บริเวณนำส่วนหัวของขวด (Headspace) ฉีดเข้าเครื่อง Heracles เพื่อทำการวิเคราะห์กลิ่นและมีโปรแกรมการใช้งานโครงสร้างของกลิ่นรวมถึงฐานข้อมูลของสารประกอบอินทรีย์ Aro ChemBase มากกว่า 40,000 ชนิด

2.2.2.1 แก๊สตัวพา คือ แก๊สที่มีค่าสัมประสิทธ์ของการแพร่กระจายต่ำ มวลโมเลกุลต่ำ มีความบริสุทธิ์สูง เช่น H_2 และ He จะแยกสารได้ดีกว่าแก๊สที่มีน้ำหนักโลเลกุลสูง แก๊สตัวพาต้องเฉื่อยกว่าสารตัวอย่างเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับสารตัวอย่างทำหน้าที่พาโมเลกุลของสารตัวอย่างออกจากคอลัมน์สู่ดีเทคเตอร์การเลือกแก๊สตัวพาเป็นสิ่งที่สำคัญเพราะจะมีผลต่อความสามารถของดีเทคเตอร์และการแยกสาร [19]

2.2.2.2 คอลัมน์เป็นส่วนสำคัญของโครมาโตกราฟฟี คอลัมน์แต่ละชนิดมีความสามารถในการแยกสารต่างๆออกจากกันได้ แต่หนึ่งคอลัมน์ไม่สามารถแยกสารทุกชนิดได้ในเวลาเดียวกัน โดยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟฟีนิยมใช้อยู่ 2 ชนิด คือ แบบมีขั้ว และ แบบไม่มีขั้ว ในการระบุชนิดของสารซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ได้ทั้งแบบมีขั้วและไม่มีขั้ว

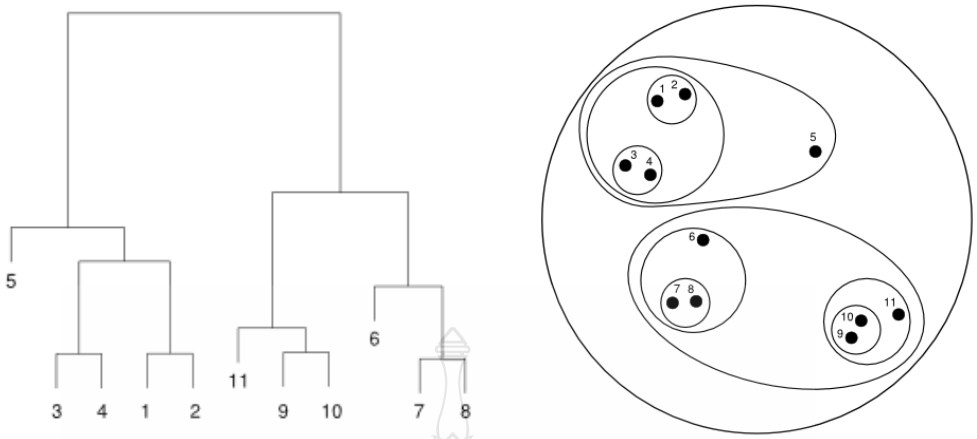
2.2.2.3 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Head space ใช้ได้กับสารตัวอย่างที่มีสถานะเป็นของเหลวและของแข็งที่มีสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายเป็นส่วนประกอบ การบรรจุสารตัวอย่างจะต้องบรรจุอยู่ในขวดที่มีผาปิดสนิท เมื่อทำการให้ความร้อนสารตัวอย่างจะถูกทำให้กลายเป็นไอลอยอยู่ในพื้นที่ว่างที่บริเวณส่วนหัวของขวด ต้องควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการทำให้สารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์กลายเป็นไอ คือ ปริมาณของสารตัวอย่างที่บรรจุในขวด ค่ากรด – ด่าง ของสารตัวอย่าง อุณหภูมิที่สูงพอเพื่อที่จะทำให้สารตัวอย่างกลายเป็นไอ และเวลาที่ใช้ต้องให้ไอของสารตัวอย่างกระจายจนถึงสมดุล [19]

2.2.2.4 ดีเทคเตอร์ตั้งอยู่ส่วนปลายของคอลัมน์เมื่อสารประกอบถูกแยกออกแล้วภายในคอลัมน์แล้วไปยังดีเทคเตอร์ ดีเทคเตอร์จะทำหน้าที่วัดขนาดของสารประกอบว่ามีปริมาณมากน้อยเท่าไร ดีเทคเตอร์ที่ใช้ทั่วไปคือ ดีเทคเตอร์แบบใช้ความร้อน ดีเทคเตอร์แบบใช้เปลวไฟและแมสสเปคโตรมิเตอร์

2.2.2.5 โครมาโตแกรมเมื่อตัวอย่างที่วิเคราะห์ถูกฉีดเข้าไปในเครื่อง Heracles จะไหลผ่านเข้าไปในคอลัมน์แล้วผ่านไปยังดีเทคเตอร์ปริมาณของสารจะถูกบันทึกโดยเครื่องบันทึกผลจะแสดงผลเป็นโครมาโตแกรม ใช้อธิบายผลของการแยกสารประกอบได้ [20]

2.3 การวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอน

การวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอน (Hierarchical Cluster Analysis) เป็นเทคนิคการแบ่งกลุ่มออกเป็นกลุ่มย่อยเพื่อศึกษาว่าบุคคลหรือสิ่งต่างๆ แบ่งอย่างน้อย 2 กลุ่ม โดยมีหลักเกณฑ์ในการแบ่งคือ จัดกลุ่มกันตามความเหมือนหรือความแตกต่างของตัวแปร กลุ่มที่มีลักษณะเหมือนให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ส่วนต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะต่างกันในตัวแปรจะถูกจัดอยู่คนละกลุ่มกัน โดยไม่ทราบว่ามีกี่กลุ่มมาก่อนและพยายามให้บุคคลหรือสิ่งต่างๆ ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมีความคล้ายคลึงกันมากที่สุดและให้แต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันมากที่สุด เช่น การแบ่งกลุ่มจากความชอบสีผู้ที่ชอบสีฟ้าจะอยู่ในกลุ่มของผู้ที่ชอบสีฟ้า ผู้ที่อยู่กลุ่มอื่นคือผู้ที่ชอบสีอื่น การใช้เทคนิควิเคราะห์กลุ่มจะสามารใช้ได้ในหลายๆด้าน เช่น ด้านการแพทย์ คือ การแบ่งกลุ่มของคนได้ตามอาการของโรค แบ่งกลุ่มโรงพยาบาลที่มีประสิทธิภาพ ด้านการศึกษา คือ แบ่งกลุ่มนักเรียนตามผลการเรียน และ อื่นๆ อีกมากมาย สามารถจำแนกกลุ่มโดยการแบ่งกลุ่มแบบขั้นตอนและจะไม่มีการย้ายกลุ่มไปไว้ในกลุ่มอื่นๆ แสดงในรูปที่ 2.8 [21] และสามารถนำมาใช้ร่วมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis) เพื่อใช้อธิบายความสัมพันธ์ของตัวอย่างให้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยภูฤทธ์ [22] ใช้ในการจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผาโดยลักษณะทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส



รูปที่ 2.8 การจัดกลุ่มแบบการวิเคราะห์กลุ่ม
ที่มา : [23]

2.3.1 การวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอนด้วยเทคนิค Agglomeration

วิธีนี้จะนับ 1 หน่วยเป็น 1 กลุ่ม n หน่วย คือ n กลุ่ม จากนั้นจะพิจารณาว่ารวมหน่วยคู่ใดเข้าด้วยกันจากความคล้ายหรือความต่าง ถ้ารวมหน่วยด้วยความคล้ายจะรวมคู่ที่มีความคล้ายกันมากที่สุด ถ้ารวมหน่วยด้วยความต่างจะรวมคู่ที่มีความต่างกันน้อยที่สุดไว้ด้วยกัน จากนั้นเลือกวิธีการรวมกลุ่มซึ่งมีหลายวิธี ทำการรวมกลุ่มเข้าด้วยกันจนเหลือเพียง 1 กลุ่ม คือทุกหน่วยอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

2.3.1.1 การรวมกลุ่มแบบเดี่ยว โดยจะรวมหน่วยในกลุ่ม 2 กลุ่มเข้าด้วยกัน โดยหน่วยหนึ่งอยู่ในกลุ่มที่ A และอีกหน่วยหนึ่งอยู่ในกลุ่มที่ B ($A \neq B$) จะรวมกลุ่ม A และ B เข้าด้วยกัน ถ้าความคล้ายของสองหน่วยมากที่สุด [21]

2.3.1.2 การรวมกลุ่มแบบสมบูรณ์ คล้ายกับวิธีการรวมกลุ่มแบบเดี่ยวคือในแต่ละขั้นจะคำนวณระยะห่างระหว่างกลุ่ม 2 กลุ่ม เป็นระยะห่างที่ใกล้ที่สุดของหน่วย 2 หน่วยจากแต่ละกลุ่ม [17]

2.3.1.3 การรวมกลุ่มโดยใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม จะรวมกลุ่มโดยใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม 2 กลุ่ม แบบการหาค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างหน่วยต่างๆทุกคู่ที่อยู่ในกลุ่ม 2 กลุ่ม [21]

2.3.1.4 การรวมกลุ่มโดยใช้จุดกลางกลุ่ม ต้องหาจุดกลางกลุ่มของแต่ละกลุ่มก่อน โดยถ้ามีหน่วยเดียวในกลุ่มจุดกลางกลุ่มคือหน่วยนั้น ถ้ามีมากกว่า 1 หน่วย จุดกลางกลุ่มคือค่าเฉลี่ยของหน่วยต่างๆที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน จากนั้นเมื่อได้จุดกลางกลุ่มจึงคำนวณหาระยะห่างระหว่างจุดกลางกลุ่ม 2 กลุ่มทุกคู่ ถ้ากลุ่มใดระยะห่างต่ำสุดจะรวมกลุ่มนั้นเข้าด้วยกัน [21]

2.3.1.5 การรวมกลุ่มโดยใช้ค่ามัธยฐาน ใช้ค่ามัธยฐานเป็นค่ากลางกลุ่มแทนค่าเฉลี่ย รวมกลุ่มโดยคำนวณระยะห่างของค่ามัธยฐานถ้ากลุ่มคู่ใดมีค่าต่ำสุดจะรวมกลุ่มนั้นเข้าด้วยกัน [21]

2.3.1.6 การรวมกลุ่มของวอร์ด คือการพิจารณาผลบวกของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง โดยจะหากลุ่ม 2 กลุ่มที่เมื่อรวมกันแล้วทำให้ผลบวกของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองของกลุ่มใหม่ที่รวมกันแล้วมีค่าต่ำสุด บางครั้งเรียกว่าวิธีแปรปรวนต่ำสุด [21]

2.3.2 การวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอนด้วยเทคนิค Divisive

มีเทคนิคย่อยคือ AID (Automatic Interaction Detection) จะมีการกำหนดตัวแปรตาม 1 ตัว ตัวแปรที่เหลือเป็นตัวแปรอิสระ โดยขั้นตอนแรกทุกหน่วยจะอยู่ในกลุ่มเดียวกัน จากนั้นแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย การแบ่งจะพิจารณาจากตัวแปรอิสระที่ทำให้ตัวแปรตามมีค่าต่างกัน [21]

2.4 การวิเคราะห์ความถดถอย

การวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) เป็นวิธีที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแประ 2 ประเภทเพื่อพยากรณ์ตัวแปรตามด้วยค่าความสัมพันธ์ เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย การวิเคราะห์การถดถอยแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย และ การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ การวิเคราะห์การถดถอยแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

2.4.1 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรง จำแนกได้เป็น 2 แบบ

2.4.1.1 การวิเคราะห์การถดถอยเส้นตรงแบบง่าย

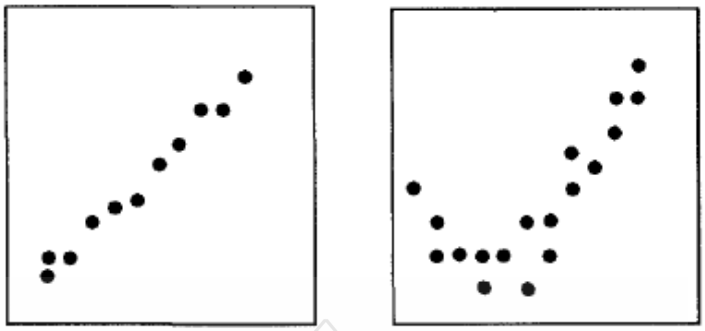
2.4.1.2 การวิเคราะห์การถดถอยเส้นตรงแบบพหุคูณ

2.4.2 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นโค้ง จำแนกได้เป็น 2 แบบ

2.4.2.1 การวิเคราะห์การถดถอยเส้นโค้งแบบง่าย

2.4.2.1 การวิเคราะห์การถดถอยเส้นโค้งแบบพหุคูณ

แผนภาพการกระจาย (Scatter diagram) เมื่อต้องการศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยไม่ทราบว่าข้อมูลนั้นมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงหรือแบบเส้นโค้ง ก่อนวิเคราะห์ควรเขียนแผนภาพการกระจายก่อน [24] ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แผนการภาพกระจาย (Scatter diagram) แบบเส้นตรงและแบบเส้นโค้ง
ที่มา : [25]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิธิ [26] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการจัดกลุ่มของกลิ่นในผลิตภัณฑ์ผงกะหรี่ จำนวน 20 ตัวอย่างด้วยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสวิธีซอร์ทติงกับการใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อศึกษาความสามารถในการวัดกลิ่นของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับจมูกมนุษย์ พบว่าการจัดกลุ่มด้วยวิธีซอร์ทติง สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 มีกลิ่นเก่าเก็บ กลิ่นที่มีรสชาติเค็ม กลิ่นเครื่องเทศฉุน และกลุ่มที่ 2 มีกลิ่นเย็นสดชื่น และกลิ่นคล้ายใบไม้แห้ง ผลการศึกษาด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถแบ่งกลุ่มได้เป็น 2 กลุ่ม เช่นกัน คือ กลุ่มที่ 1 มีมีความเข้มของสารระเหยในกลุ่มอะโรมาติกค่อนข้างสูง กับ กลุ่มที่ 2 มีความเข้มของสารระเหยที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ตัวอย่างมีความใกล้เคียงกัน โดยกลุ่มที่มีอะโรมาติกสูงส่วนใหญ่จะมีลักษณะตรงกับกลุ่มที่ 1 ในการจัดด้วยวิธีซอร์ทติงและกลุ่มตัวอย่างที่มีสารระเหยที่มีขั้ว และไม่มีขั้วสูงจะมีลักษณะตรงกับกลุ่มที่ 2 ในการจัดด้วยวิธีซอร์ทติง

ชนิต [27] ได้ทำการศึกษาวิธีการประเมินคุณภาพของสารระเหยให้กลิ่นทุเรียนหมอนทองโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีกับเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อศึกษาให้ทราบถึงชนิดและความสัมพันธ์ของวิธีการวิเคราะห์ทั้งสองวิธี ผลการศึกษาพบว่าการประเมินสารระเหยให้กลิ่นโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี่ทำให้ทราบถึงปริมาณความเข้มข้นของสารระเหยแต่ละชนิดได้โดยตรง พบสารระเหยในกลุ่มเอสเทอร์ ซัลเฟอร์ คีโตน อะซีตัลดีไฮด์ และ แอลกอฮอล์ โดยมีสารระเหยจากพวกเอสเทอร์เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งสารระเหยที่พบปริมาณมากคือ Ethyl propanoate ethyl butanoate propyl propanoate ethyl acetate และ ethyl 2-methyl butanoate ในขณะที่การประเมินด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะต้องนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกันระหว่างตัวอย่างชุดเดียวกัน ซึ่งจากการประเมินสารระเหยให้กลิ่นทุเรียน พบว่าเซ็นเซอร์ในชุด LY2/LG LY2/G LY2/gCTL LY2/gCT T70/2 และ

PA/2 มีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของกลิ่นทุเรียนโดยรวม ดังนั้นเซ็นเซอร์ชุด LY2/LG LY2/G LY2/gCTL LY2/gCT T70/2 และ PA/2 มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์กลิ่นทุเรียนหมอนทองซึ่งได้ชื่อว่าเป็นราชาของผลไม้

คงวุฒิ [28] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ และศึกษาระดับการเปลี่ยนแปลงการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์โดยนำเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักมาใช้ เพื่อวิเคราะห์และแปรผลแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ร่วมกับดัชนีของปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชัน ผลการศึกษาพบว่าสามารถแยกความแตกต่างของชุดข้อมูลที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ ได้อย่างชัดเจน พบว่าอายุของน้ำมันทอดที่แตกต่างกัน (83 และ166 ชั่วโมง) ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของคุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ และเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA และ ค่า p-AV พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับสัญญาณตอบสนองจากเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศได้

พจนา [29] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการจำแนกกลุ่มของผลิตภัณฑ์กะทิสำเร็จรูปทางการค้าจำนวน 11 ตัวอย่าง โดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ กับการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาแบบซอร์ทติง โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 15 คน จำแนกกลุ่มจากประเมินลักษณะด้านกลิ่นของตัวอย่าง พบว่า การวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ สามารถจัดกลุ่มตัวอย่างกะทิสำเร็จรูปได้ 4 กลุ่ม ซึ่งมีความสัมพันธ์กับวัตถุดิบในการผลิต และกรรมวิธีในการแปรรูป ส่วนผลของการจัดกลุ่มจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาแบบซอร์ทติง สามารถจัดกลุ่มของผลิตภัณฑ์ได้เป็น 3 กลุ่ม การจำแนกทั้ง 2 วิที่ให้ผลใกล้เคียงกัน ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับวัตถุดิบในการผลิต และกรรมวิธีในการแปรรูป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการวิเคราะห์กลิ่นหืนของแมคคาเดเมียอบแห้ง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจสอบคุณภาพด้านกลิ่นของแมคคาเดเมียอบแห้ง และเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีของแมคคาเดเมียอบแห้ง มีขั้นตอนและวิธีการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 วัตถุดิบ

ผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบแห้งบรรจุถุงพลาสติกสุญญากาศ จากอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์ในการเตรียมแมคคาเดเมีย

3.2.1.1 เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ TANITA รุ่น KD 200

3.2.1.2 เครื่องรีดปิดปากถุง

3.2.1.3 โกร่งบดสาร

3.2.1.4 ขวดแก้ว ขนาด 5 มิลลิลิตร

3.2.2 เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ยี่ห้อ Alpha M.O.S. รุ่น Heracles I

3.2.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

3.2.3.1 อุปกรณ์ในการวัดความชื้น

1) ภาชนะอลูมิเนียม

2) ตู้อบไฟฟ้า

3) โถดูดความชื้น

4) เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ TANITA รุ่น KD 200

3.2.3.2 อุปกรณ์ในการวัดกรดไทโอบาร์บิทิวริก (TBA)

1) หลอดแก้ว

2) เตาไฟฟ้า

3) ลูกแก้วเล็กๆ

4) ฟลาสค์กลั่น

5) หลอดแก้วที่มีจุกปิด

3.3 สารเคมี

3.3.1 กรดไทโอบาร์บิทิวริก

3.3.2 กรดไฮโดรคลอริก

3.3.3 กรดแอซีติกเข้มข้น (Glacial acetic ที่มีความชื้นน้อยกว่า ร้อยละ 0.1)

3.3.4 คลอโรฟอร์ม

3.3.5 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่อิ่มตัว

3.3.6 สารละลายโพแทสเซียมไทโอซัลเฟส

3.3.7 น้ำแป้ง

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของแมคคาเดเมียอบแห้ง

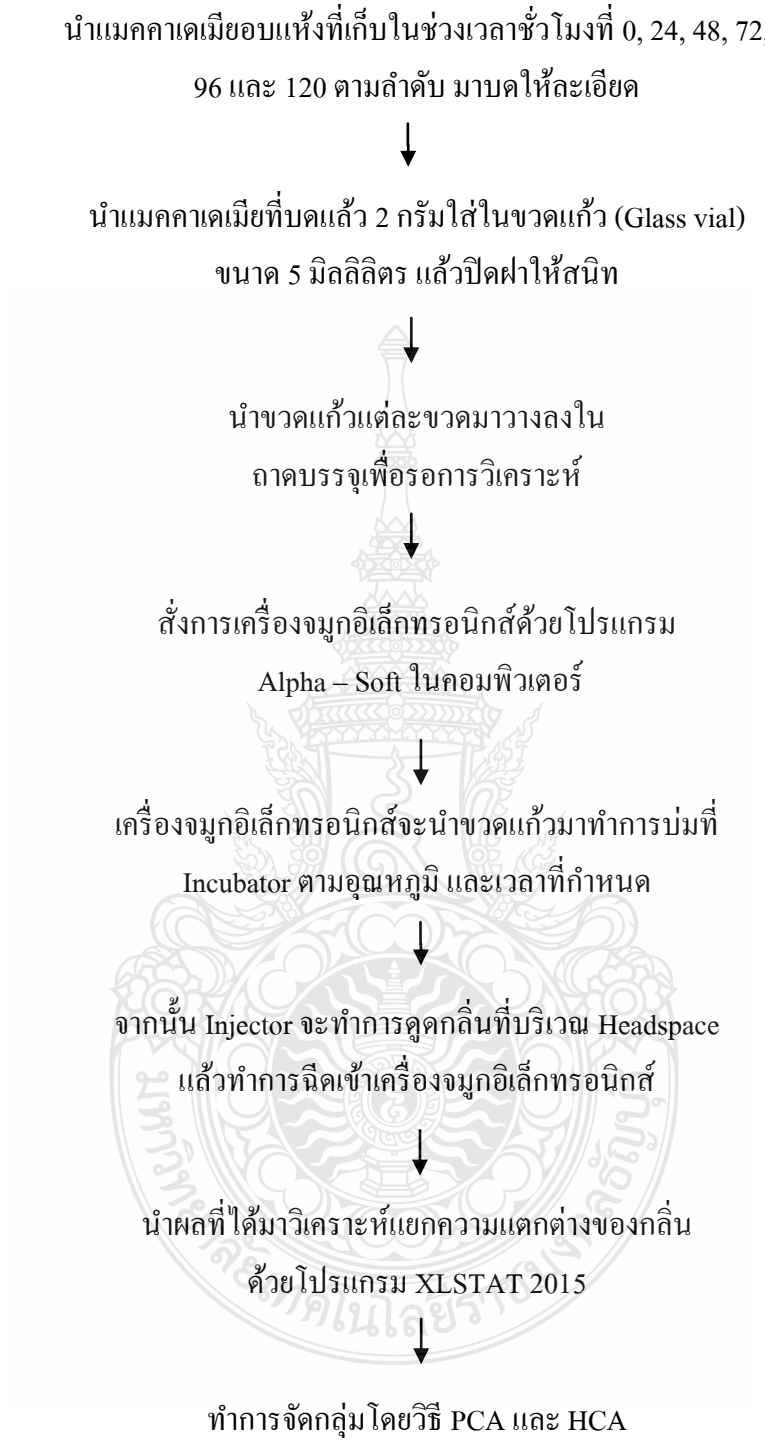
3.4.1.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างแมคคาเดเมียอบแห้งที่บรรจุถุงพลาสติกสุญญากาศ จากอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ มาใส่ในภาชนะที่ไม่มีฝาปิดที่อุณหภูมิห้องแล้วทำการเก็บตัวอย่างในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์แล้วปิดปากถุงด้วยเครื่องรีดปิดปากถุงเพื่อรอการวิเคราะห์ที่เวลา 0, 24, 48 72, 96 และ 120 ชั่วโมง ก่อนนำใส่ถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ให้สังเกตลักษณะของแมคคาเดเมียที่เวลาต่างๆ และบันทึกผล

3.4.1.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแปลงกลิ่นโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

นำตัวอย่างแมคคาเดเมียจากข้อ 3.4.1.1 มาบดให้ละเอียด แล้วนำไปวิเคราะห์กลิ่นโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ [28] แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาคืออุณหภูมิในการบ่ม แปรเป็น 2 ระดับ คือ 40 และ 50 องศาเซลเซียส เวลาในการบ่ม 20 นาที ดัดแปลงสภาวะวิเคราะห์จากงานวิจัยของ Bonnefille [30] แสดงในตารางที่ 3.1 วางแผนการทดลองแบบ CRD

(Completely Randomized Design) จะได้สิ่งทดลองทั้งหมด 12 สิ่งทดลอง แสดงในตารางที่ 3.2 จากนั้นคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมโดยศึกษาจากความสามารถในการแยกความแตกต่างของสารและความสูงของพีคจากการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในการบ่ม 40 และ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้การทดสอบ T-test ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS เวอร์ชันทดลอง เมื่อทำการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมแล้วนำไปทำการจัดกลุ่มแบบขั้นตอน โดยใช้วิธีการวัดระยะห่างแบบสแควร์ยูคลิเดียน (Square Euclidean Distance) และใช้วิธีการรวมกลุ่มแบบวิธีการของวอร์ด (Ward's Method) ด้วยโปรแกรม XLSTAT 2015 เวอร์ชันทดลอง



รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการวิเคราะห์ด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์
ที่มา : ดัดแปลงจาก [28]

ตารางที่ 3.1 สภาวะการวิเคราะห์เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ยี่ห้อ Alpha M.O.S. รุ่น Heracles I

สภาวะวิเคราะห์	ระดับ
ปริมาณตัวอย่าง	2 กรัม
การบ่มตัวอย่างใน Incubator	40 และ 50 องศาเซลเซียส 20 นาที
คอลัมน์	DB-5 และ DB-1701
อุณหภูมิในการฉีด	200 องศาเซลเซียส
Sampling Temp	40 และ 50 องศาเซลเซียส
Pre-purge	5 วินาที
Preheat Time	20 วินาที
Desorption Temp	250 องศาเซลเซียส
Injection Duration	3000 ms
Initial Hold Time	2 วินาที
Heating Rate	5 องศาเซลเซียสต่อวินาที
Final Temp	270 องศาเซลเซียส
Final Hold Time	2 วินาที
FID Temp	280 องศาเซลเซียส
Acquisition time	50 วินาที

ที่มา : ดัดแปลงจาก [30]

ตารางที่ 3.2 สิ่งทดลองและปัจจัยที่ทำการศึกษา

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	จำนวนชั่วโมง
1	40	0
2	40	24
3	40	48
4	40	72
5	40	96
6	40	120
7	50	0
8	50	24

ตารางที่ 3.2 สิ่งทดลองและปัจจัยที่ทำการศึกษา (ต่อ)

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	จำนวนชั่วโมง
9	50	48
10	50	72
11	50	96
12	50	120

3.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

3.4.2.1 การวัดค่าความชื้น [31] AOAC 2000

3.4.2.2 การวัดค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก (TBA) [31] AOAC 2000

นำตัวอย่างจากข้อ 3.4.1.1 มาหาความชื้นและกรดไทโอบาร์บิทิวริกแล้วนำผลการทดลองไปทำการจัดกลุ่มแบบขั้นตอนโดยใช้วิธีการวัดระยะห่างแบบสแควร์ยูคลิเดียนและใช้วิธีการรวมกลุ่มแบบวิธีการของวอร์ด ด้วยโปรแกรม XLSTAT 2015 เวอร์ชันทดลอง

3.4.3 ศึกษาการหาความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์คุณภาพด้านกลิ่นของแมคคาเดเมียโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

นำผลที่ได้จากข้อ 3.4.1 และ ข้อ 3.4.2 มาหาความสัมพันธ์ด้วยการวิเคราะห์ความถดถอย โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS เวอร์ชันทดลอง และทำแผนภาพการกระจาย และโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2007 เวอร์ชันทดลอง

3.5 ระยะเวลาในการทดลอง

ระยะเวลาเริ่มตั้งแต่ เดือน มิถุนายน 2557 – มีนาคม พ.ศ. 2559

3.6 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิจารณ์

การวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการวิเคราะห์กลิ่นหืนของแมคคาเดเมียอบแห้งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านกลิ่นของแมคคาเดเมียอบแห้งโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์และเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี มีผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

4.1.1 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างแมคคาเดเมียโดยการวางไว้ในภาชนะที่ไม่ปิดฝาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องตั้งแต่ที่ 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง และทำการบันทึกลักษณะภายนอกของแมคคาเดเมียที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการบันทึกการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกเมล็ดของแมคคาเดเมียอบแห้ง

สิ่งทดลอง	ชั่วโมงที่เก็บ	การเปลี่ยนแปลงลักษณะของแมคคาเดเมียที่สังเกตได้
1	0	มีลักษณะมีสีเหลืองอ่อนนวลไม่คล้ำมีความกรอบของเนื้อแมคคาเดเมียไม่มีไขมันซึมออกมาจากตัวแมคคาเดเมียและมีลักษณะแห้ง ลักษณะของแมคคาเดเมียยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างมากเท่าไร
2	24	เมื่อเปรียบเทียบจากชั่วโมงที่ 0 หรืออาจเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย จึงไม่สามารถสังเกตได้ชัดเจน แต่ตัวเมล็ดแมคคาเดเมียเริ่มมีลักษณะแฉะปรากฏให้เห็น
3	48	สีของแมคคาเดเมียเหลืองคล้ำขึ้นแต่ยังเปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อเทียบกับชั่วโมงที่ 24 ความกรอบของเนื้อแมคคาเดเมียลดลงจากเดิม มีไขมันซึมออกมาจากตัวแมคคาเดเมียเพิ่มขึ้นกว่าเดิม สีของแมคคาเดเมียเหลืองคล้ำเข้มขึ้นกว่าเดิม ความกรอบของเนื้อ

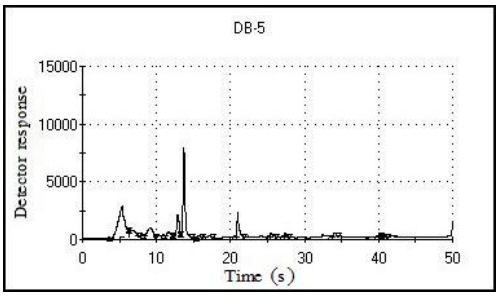
ตารางที่ 4.1 ผลการบันทึกการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกเมล็ดของแมคคาเดเมียอบแห้ง (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ชั่วโมงที่เก็บ	การเปลี่ยนแปลงลักษณะของแมคคาเดเมียที่สังเกตได้
4	72	แมคคาเดเมียลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับชั่วโมงที่ 48 เนื้อแมคคาเดเมียเริ่มมีความอ่อนนิ่มเพิ่มขึ้น มีไขมันซึมออกมาจากแมคคาเดเมียเพิ่มขึ้นกว่าเดิม มีความชื้นเพิ่มขึ้นและมีลักษณะแฉะ
5	96	สีของแมคคาเดเมียเหลืองคล้ำขึ้นสังเกตได้ชัดเจน มีความกรอบน้อยลงและเนื้อแมคคาเดเมียมีความอ่อนนิ่ม มีไขมันซึมออกมาจากตัวแมคคาเดเมียสังเกตได้ชัดเจน มีความชื้นในเนื้อแมคคาเดเมียเพิ่มขึ้นเนื่องจากแมคคาเดเมียมีเนื้อที่มีลักษณะแฉะ
6	120	สีของแมคคาเดเมียน้ำตาลอมเหลืองคล้ำเข้มขึ้นจากเดิม เริ่มไม่มีความกรอบมีความอ่อนนิ่มและความชื้นมากขึ้น นอกจากนั้นยังมีไขมันซึมออกมาจากแมคคาเดเมียจนสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจน แมคคาเดเมียมีเนื้อที่มีลักษณะแฉะ

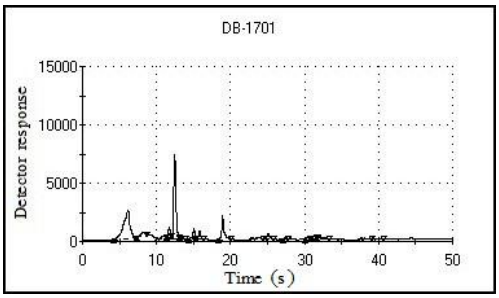
จากตารางที่ 4.1 เมื่อทิ้งแมคคาเดเมียไว้ในอากาศออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่ของกรดไขมันทำให้เกิดออโตออกซิเดชัน [32] โดยจะไปเร่งให้น้ำมันเกิดมีกรดไขมันอิสระมากขึ้นทำให้แมคคาเดเมียมีลักษณะมันเยิ้มเมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น เกิดการเสื่อมเสียได้เร็วขึ้นและเกิดรา

4.1.2 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์กลิ่นของแมคคาเดเมีย

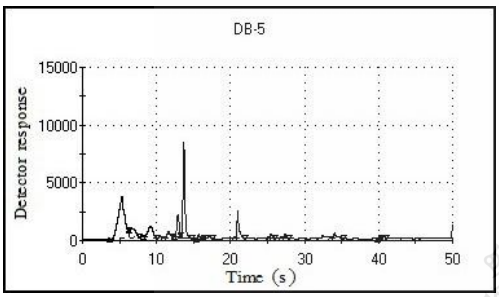
4.1.2.1 การวิเคราะห์กลิ่นของแมคคาเดเมียอบแห้งชั่วโมงที่ 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ด้วย จมูกอิเล็กทรอนิกส์ อุณหภูมิในการบ่ม 40 และ 50 องศาเซลเซียส ได้ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากคอลัมน์ DB-5 และ DB-1701 แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



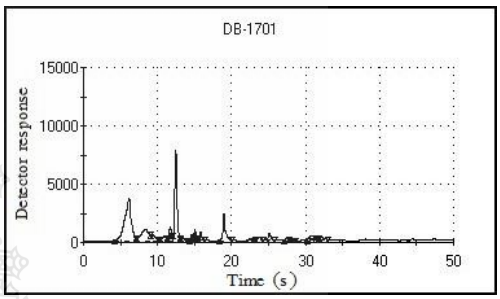
(ก)



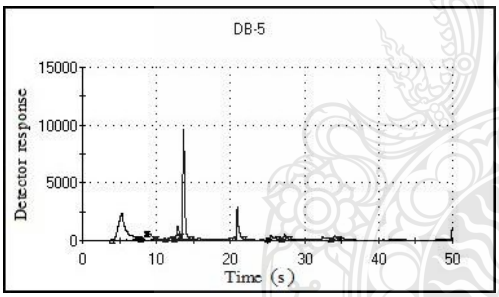
(ข)



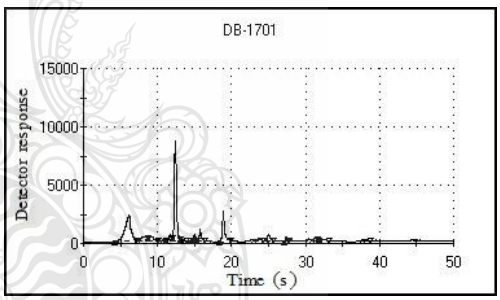
(ค)



(ฆ)

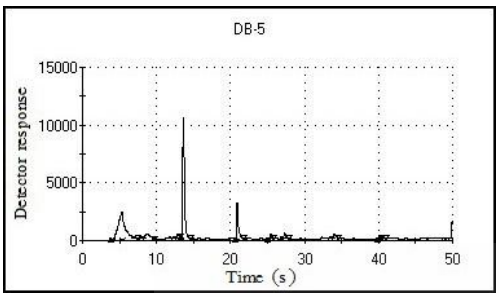


(ง)

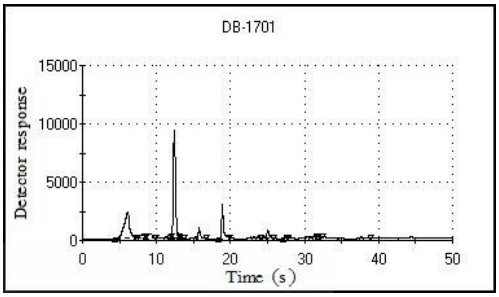


(จ)

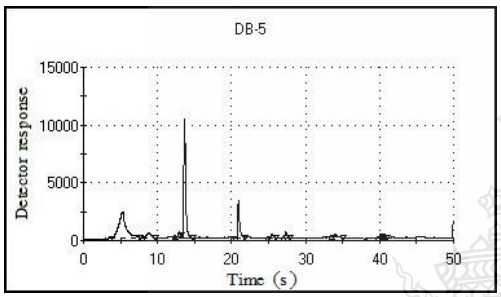
รูปที่ 4.1 โครมาโตแกรมของแมคคาเดเมียอบแห้งจากคอลัมน์ DB-5 และ DB-1701 ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0, 24, และ 48 ตามลำดับ อุณหภูมิในการบ่ม 40 องศาเซลเซียส (ก) คอลัมน์ DB-5 ที่ 0 ชั่วโมง (ข) คอลัมน์ DB-1701ที่ 0 ชั่วโมง (ค) คอลัมน์ DB-5 ที่ 24 ชั่วโมง (ฆ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 24 ชั่วโมง (ง) คอลัมน์ DB-5 ที่ 48 ชั่วโมง (จ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 48 ชั่วโมง



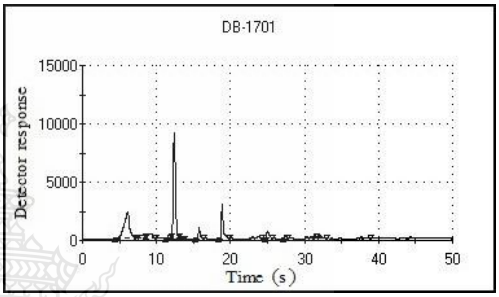
(ฉ)



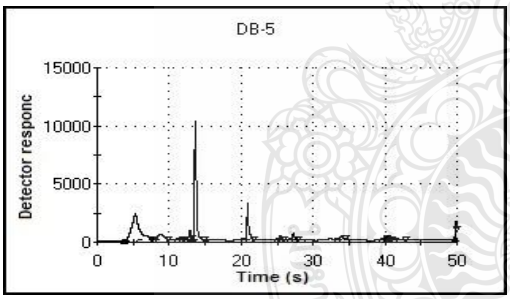
(ช)



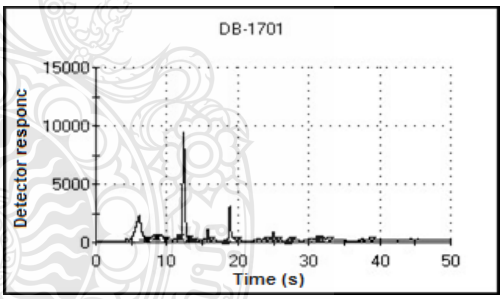
(ซ)



(ฌ)

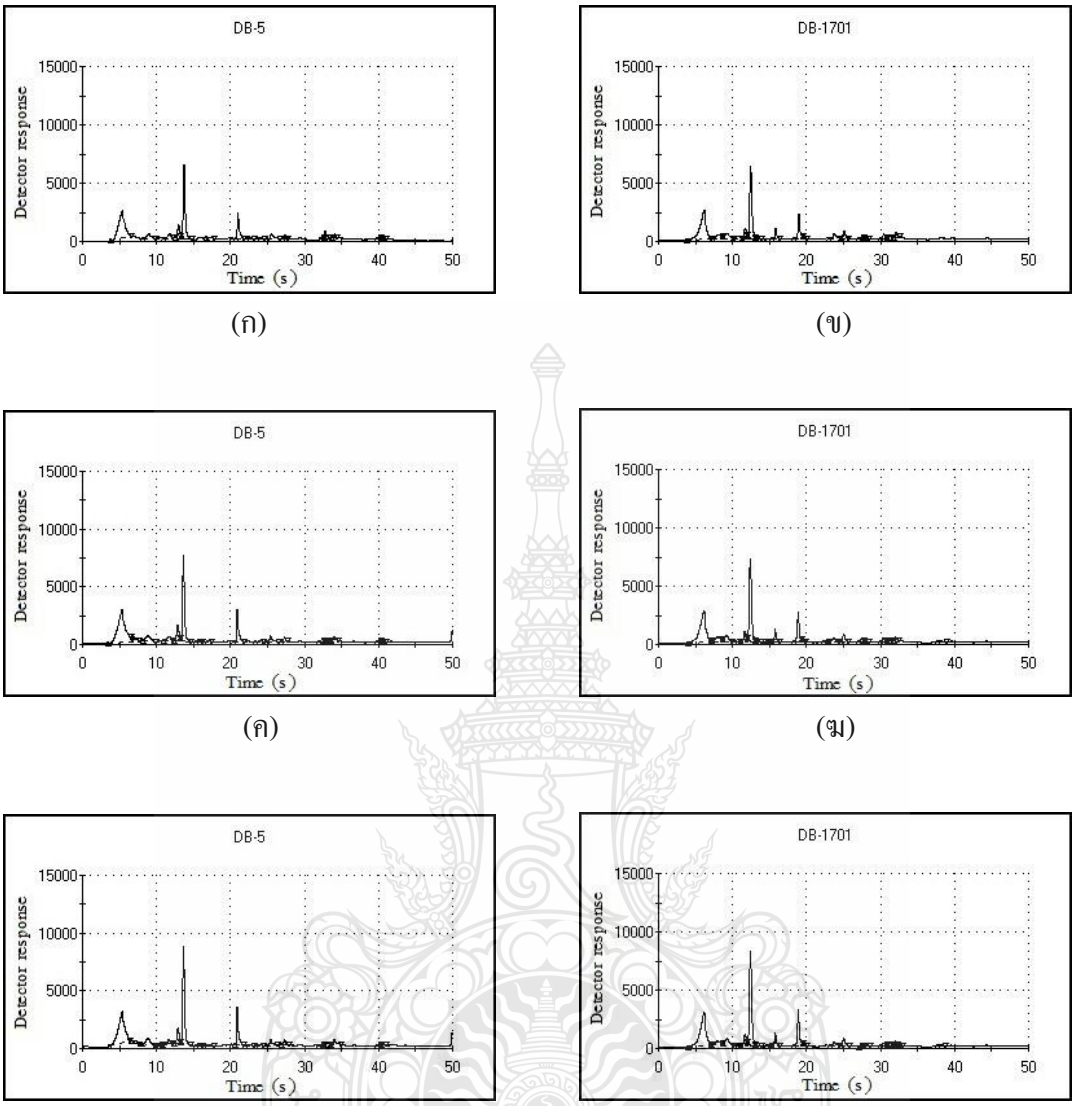


(ญ)

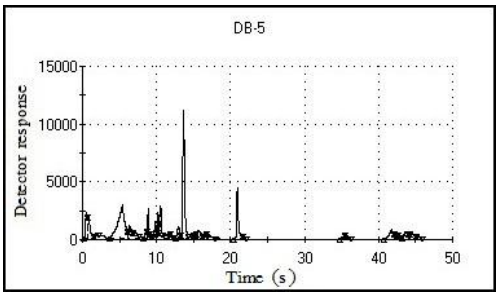


(ฎ)

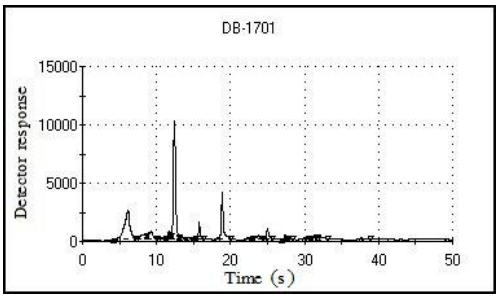
รูปที่ 4.1 โครมาโตแกรมของแมคคาเดเมียอบแห้งจากคอลัมน์ DB-5 และ DB-1701 ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 72, 96 และ 120 ตามลำดับ อุณหภูมิในการบ่ม 40 องศาเซลเซียส (ฉ) คอลัมน์ DB-5 ที่ 72 ชั่วโมง (ช) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 72 ชั่วโมง (ซ) คอลัมน์ DB-5 ที่ 96 ชั่วโมง (ฌ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 96 ชั่วโมง (ญ) คอลัมน์ DB-5 ที่ 120 ชั่วโมง (ฎ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 120 ชั่วโมง (ต่อ)



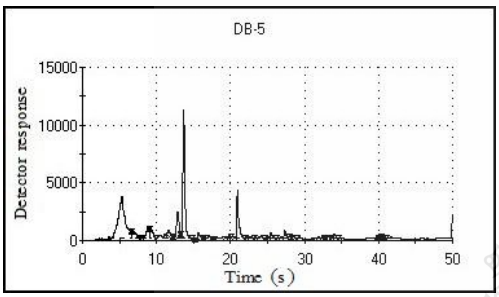
รูปที่ 4.2 โครมาโตแกรมของแมคคาเดเมียอบแห้งจากคอลัมน์ DB-5 และ DB-1701 ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0, 24, และ 48 ตามลำดับ อุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส (ก) คอลัมน์ DB-5 ที่ 0 ชั่วโมง (ข) คอลัมน์ DB-1701ที่ 0 ชั่วโมง (ค) คอลัมน์ DB-5 ที่ 24 ชั่วโมง (ฆ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 24 ชั่วโมง (ง) คอลัมน์ DB-5 ที่ 48 ชั่วโมง (จ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 48 ชั่วโมง



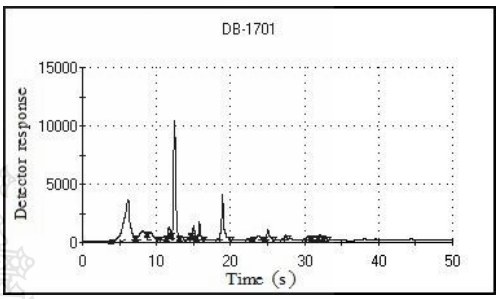
(ฉ)



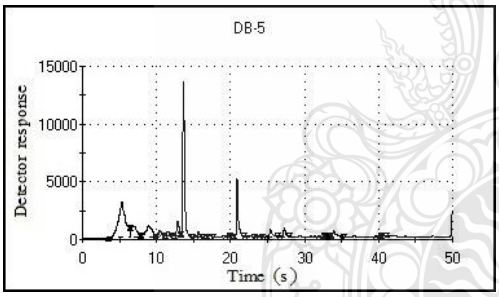
(ช)



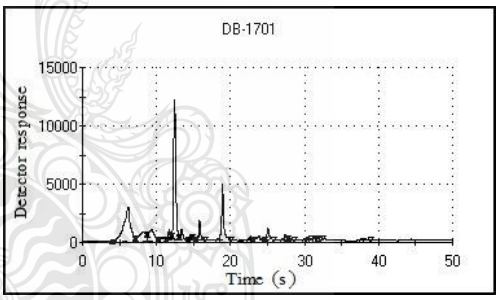
(ซ)



(ฌ)



(ญ)



(ฎ)

รูปที่ 4.2 โครมาโตแกรมของแมคคาเดเมียอบแห้งจากคอลัมน์ DB-5 และ DB-1701 ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 72, 96 และ 120 ตามลำดับ อุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส (ฉ) คอลัมน์ DB-5 ที่ 72 ชั่วโมง (ช) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 72 ชั่วโมง (ซ) คอลัมน์ DB-5 ที่ 96 ชั่วโมง (ฌ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 96 ชั่วโมง (ญ) คอลัมน์ DB-5 ที่ 120 ชั่วโมง (ฎ) คอลัมน์ DB-1701 ที่ 120 ชั่วโมง (ต่อ)

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 โครมาโตแกรมแมคคาเดเมียอบแห้งอุณหภูมิในการบ่ม 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าคอลัมน์ DB-5 ที่ชั่วโมงในการเก็บรักษาที่ 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง มีพีคที่สูงมากกว่า 2,000 จำนวน 3 พีค ที่เวลา 5.36 13.65 และ 20.94 วินาที ตามลำดับ และคอลัมน์ DB-1701 ที่ชั่วโมงในการเก็บรักษาที่ 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง มีพีคที่สูงมากกว่า 2,000 จำนวน 3 พีค ที่เวลา 6.17 12.44 และ 18.90 วินาที ตามลำดับ ซึ่งการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ พีคที่ได้ควรสูงมากกว่า 2,000 และจากการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ของแมคคาเดเมียอบแห้งชั่วโมงที่ 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ภาพโครมาโตแกรมประกอบด้วยคอลัมน์ DB-5 จับสารไม่มีขั้ว และ คอลัมน์ DB-1701 จับสารมีขั้ว พีคที่เกิดขึ้นในแนวแกน X คือเวลามีหน่วยเป็นวินาที แกน Y คือความเข้มข้นของกลิ่น พีคที่มีความสูงมากจะแสดงถึงปริมาณความเข้มของกลิ่นที่มีมาก จำนวนพีคที่ปรากฏแสดงถึงจำนวนของสารประกอบที่ระเหยออกมา

4.1.2.2 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในการบ่ม 40 และ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้การทดสอบ T-test จากค่าความสูงของพีคคอลัมน์ DB-5 ที่เวลา 5.36 13.66 และ 20.94 วินาที ตามลำดับ และ คอลัมน์ DB-1701 ที่เวลา 6.17 12.44 และ 18.90 วินาที ตามลำดับ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบความสูงพีคคอลัมน์ DB-5 ที่เวลา 5.36 13.65 และ 20.94 วินาที ระหว่างอุณหภูมิในการบ่ม 40 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส

เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมีย	ความสูงพีคที่เวลา 5.36 วินาที		เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมีย	ความสูงพีคที่เวลา 13.65 วินาที		เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมีย	ความสูงพีคที่เวลา 20.94 วินาที	
	อุณหภูมิในการบ่ม 40 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิในการบ่ม 40 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิในการบ่ม 40 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส
0 ns	2474.04±166.00	2989.98±1161.74	0 ns	7688.19±65.81	8205.98±604.82	0 ns	2238.44±209.71	2696.39±519.23
24 ns	3253.85±367.24	2847.20±77.74	24 ns	7809.52±448.88	8425.28±2295.65	24 *	2249.85±93.36	3035.23±190.72
48 ns	2333.37±26.59	2887.15±279.56	48 ns	9275.6±125.16	9021.44±658.42	48 ns	3033.38±798.70	3646.78±514.53
72 *	2321.15±39.89	3253.72±328.29	72 ns	11060.11±758.25	10540.40±902.86	72 ns	3303.40±205.32	2858.57±1075.31
96 *	2292.03±22.71	2792.12±143.71	96 ns	10057.10±150.27	10695.07±367.87	96 *	3152.81±79.88	4244.54±281.88
120 *	2376.50±229.77	3059.11±101.52	120 *	9823.29±65.48	12967.45±296.91	120 *	3125.12±62.41	4576.27±334.29

หมายเหตุ ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.2 พบว่าความสูงพีคที่เวลา 5.36 วินาที อุณหภูมิในการบ่ม 40 และ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมียชั่วโมงที่ 0, 24 และ 48 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ความสูงพีคที่เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมียชั่วโมงที่ 72, 96 และ 120 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยอุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส มีค่าความสูงพีคมากกว่า ความสูงพีคที่เวลา 13.65 วินาที อุณหภูมิในการบ่ม 40 และ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมียชั่วโมงที่ 0, 24 48, 72 และ 96 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ความสูงพีคที่เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมียชั่วโมงที่ 120 อุณหภูมิในการบ่ม 40 และ 50 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยอุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส มีค่าความสูงพีคมากกว่า และความสูงพีคที่เวลา 20.94 วินาที อุณหภูมิในการบ่ม 40 และ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมียชั่วโมงที่ 0, 48 และ 72 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยความสูงพีคที่เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมียชั่วโมงที่ 24, 96 และ 120 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยอุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส มีค่าความสูงพีคมากกว่า

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบความสูงพีคคอลัมน์ DB-1701 ที่เวลา 6.17 12.44 และ 18.90 วินาที ระหว่างอุณหภูมิในการบ่ม 40 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส

เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมีย	ความสูงพีคที่เวลา 6.17 วินาที		เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมีย	ความสูงพีคที่เวลา 12.44 วินาที		เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมีย	ความสูงพีคที่เวลา 18.90 วินาที	
	อุณหภูมิในการบ่ม 40 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิในการบ่ม 40 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิในการบ่ม 40 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส
0 ns	2472.01±23.88	2480.25±47.43	0 ns	7561.22±745.04	7392.36±1442.98	0 ns	2154.22±187.75	2486.31±448.24
24 *	3473.74±165.99	2766.91±93.36	24 ns	7249.50±434.66	7587.90±498.87	24 ns	2219.09±83.67	2828.67±196.10
48 *	2229.20±54.02	2865.76±32.84	48 ns	8821.99±535.99	8461.12±541.77	48 ns	2664.23±119.03	3223.57±187.39
72 *	2220.02±25.51	3400.79±139.47	72 ns	9917.44±649.14	9861.65±807.66	72 *	3117.59±144.06	3769.89±238.50
96 *	2194.26±38.94	2513.98±51.32	96 *	9021.45±82.35	9844.36±218.13	96 *	2946.09±67.36	3911.24±59.93
120 *	2081.00±50.29	2869.94±87.94	120 *	9082.40±117.24	11749.85±324.31	120 *	2905.50±19.43	4647.73±115.17

หมายเหตุ ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

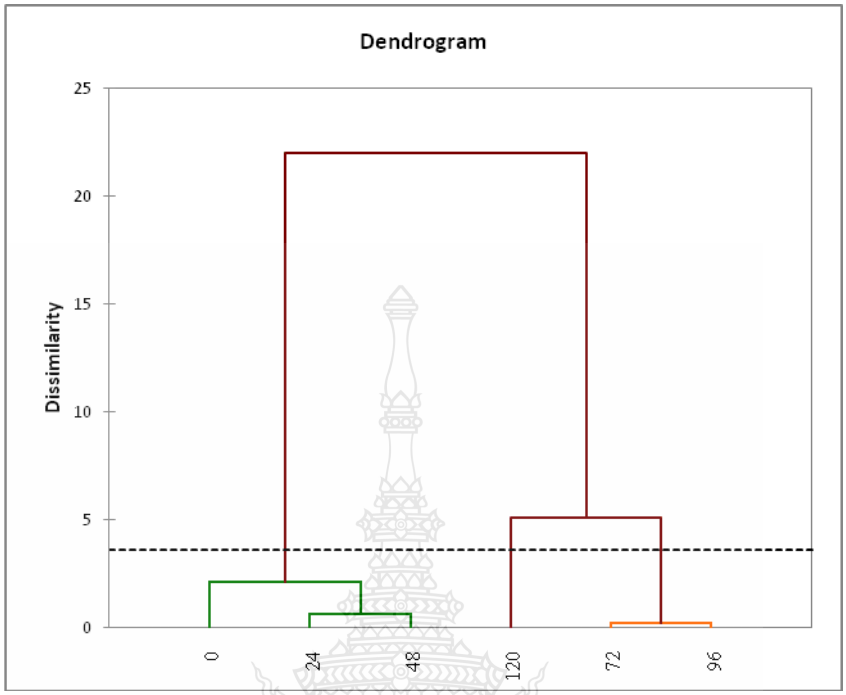
* คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.3 พบว่าความสูงพีคที่เวลา 6.17 วินาที อุณหภูมิในการบ่ม 40 และ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมียชั่วโมงที่ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ความสูงพีคที่เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมียชั่วโมงที่ 24, 48, 72, 96 และ 120 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ความสูงพีคที่เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมียชั่วโมงที่ 48, 72, 96 และ 120 อุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส มีค่ามากกว่า ความสูงพีคที่เวลา 12.44 วินาที อุณหภูมิในการบ่ม 40 และ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมียชั่วโมงที่ 0, 24 48 และ 72 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ความสูงพีคที่เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมียชั่วโมงที่ 96 และ 120 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยอุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส มีค่าความสูงพีคมากกว่า และความสูงพีคที่เวลา 18.90 วินาที อุณหภูมิในการบ่ม 40 และ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมียชั่วโมงที่ 0, 24 และ 48 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่ความสูงพีคที่เวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมียชั่วโมงที่ 72, 96 และ 120 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยอุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส มีค่าความสูงพีคมากกว่า

จากการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในการบ่ม 40 และ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้การทดสอบ T-test จากความสูงพีคคอลัมน์ DB-5 และ คอลัมน์ DB-1701 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาแมคคาเดเมียนานขึ้น แมคคาเดเมียที่อุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างจากอุณหภูมิในการบ่ม 40 องศาเซลเซียส ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์กลิ่นของแมคคาเดเมียอบแห้งโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์คืออุณหภูมิในการบ่นตัวอย่าง 50 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการระเหยกลิ่นรสของอาหาร [33] ในงานวิจัยของ Bonnefille [28] ทำการศึกษาการควบคุมการเกิดกลิ่นหืนของถั่วหลายชนิดโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่สภาวะดังแสดงในตารางที่ 3.1 พบว่าพีคที่เวลา 13.30 วินาที จากคอลัมน์ DB-5 เมื่อนำไปเทียบกับสารมาตรฐานเป็นสารให้กลิ่นหืนคือ Octanal ดังนั้นจึงเลือกพีคที่เวลา 13.65 วินาที มาทำการศึกษาหาความสัมพันธ์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีต่อไป

4.1.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นแมคคาเดเมียอบแห้งจากอุณหภูมิที่เหมาะสม

นำอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 4.1.2 มาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นแล้วนำผลที่ได้ไปจัดกลุ่มโดยใช้การจัดกลุ่มแบบขั้นตอนได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.3 การวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอนของแมคคาเดเมียอบแห้งที่อุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.3 ผลการจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิคการจัดกลุ่มแบบขั้นตอน ของข้อมูลน้ำหนักองค์ประกอบของ 2 องค์ประกอบ ของแมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง อุณหภูมิในการบ่ม 50 องศาเซลเซียส พบว่า สามารถจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยแมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 0, 24 และ 48 ชั่วโมง กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยแมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 72 และ 96 ชั่วโมง และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยแมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 120 ชั่วโมง

4.2 การศึกษาคุณภาพทางเคมี

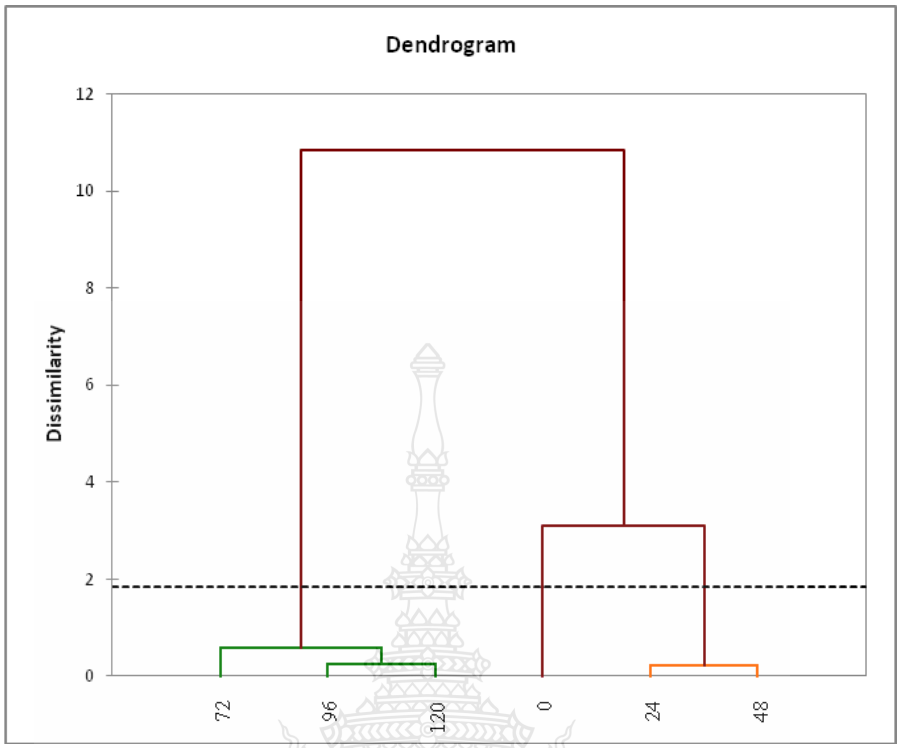
4.3.1 ค่าความชื้น

นำแมคคาเดเมียอบแห้งที่บรรจุในถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องจากจากสภาวะในข้อ 3.4.1.1 ระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง มาทำการวิเคราะห์ค่าความชื้น ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าปริมาณความชื้นของแมคคาเดเมียอบแห้ง

สิ่งทดลอง	ชั่วโมงที่เก็บตัวอย่าง	ปริมาณความชื้นของแมคคาเดเมีย (ร้อยละ)
1	0	1.05
2	24	2.50
3	48	3.05
4	72	4.05
5	96	4.35
6	120	4.90

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าในระยะเวลาในการเก็บรักษา 0 ชั่วโมง มีค่าความชื้นต่ำที่สุดและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่เปลี่ยนไปเนื่องจากเมื่อแมคคาเดเมียสัมผัสกับอากาศนานขึ้นก็จะทำให้เกิดการดูดซับความชื้นในอากาศมากขึ้น ในระยะเวลาในการเก็บรักษา 120 ชั่วโมง มีค่าความชื้นมากที่สุด ซึ่งความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดกลิ่นหืนของแมคคาเดเมียอบแห้งและกลิ่นหืนจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บแมคคาเดเมียไว้ในอุณหภูมิห้อง [35] จากนั้นนำค่าความชื้นของแมคคาเดเมียอบแห้งที่ชั่วโมงในการเก็บรักษาที่ 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 มาการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในแมคคาเดเมียอบแห้งด้วยการจัดกลุ่มแบบขั้นตอนได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.4 การวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอนของค่าความชื้นของแมคคาเดเมียอบแห้ง

จากรูปที่ 4.4 ผลการจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิคการจัดกลุ่มแบบ ของข้อมูลน้ำหนักองค์ประกอบของ 2 องค์ประกอบ ของค่าความชื้นในแมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง พบว่าสามารถจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 แมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 0 ชั่วโมง มีค่าความชื้นแตกต่างจากกลุ่มที่ 2 และ 3 แมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 24 และ 48 ชั่วโมง ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 แสดงว่าแมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าความชื้นไม่แตกต่างกัน และแมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 72, 96 และ 120 ชั่วโมง ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่ 3 แสดงว่าแมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 72, 96 และ 120 ชั่วโมง มีค่าความชื้นไม่แตกต่างกัน

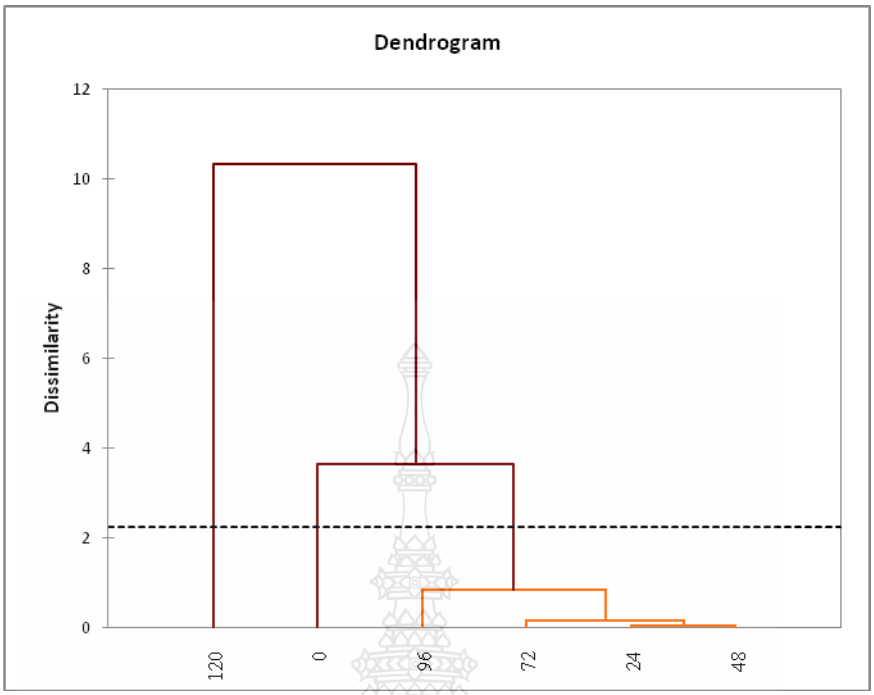
4.3.2 ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก

นำแมคคาเดเมียอบแห้งที่บรรจุในถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องจากจากสภาวะในข้อ 3.4.1 ระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง มาทำการวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก

สิ่งทดลอง	ระยะเวลา(ชั่วโมง)	ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก
1	0	0.09
2	24	0.16
3	48	0.16
4	72	0.17
5	96	0.21
6	120	0.35

จากตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกของแมคคาเดเมียอบแห้ง พบว่ามีการเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เปลี่ยนไปจนถึงระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ 120 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นจะมีค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกสูงเพิ่มขึ้น ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกเป็นดัชนีที่ชี้ให้เห็นถึงระดับการเกิดกลิ่นหืนในอาหาร [4] สามารถนำไปประเมินอายุการเก็บรักษาได้ ซึ่งการวัดค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกคือปฏิกิริยาลำดับที่สองของปฏิกิริยาออซิเดชันของไขมัน [35] อย่างไรก็ตามค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกเป็นเพียงการวัดในส่วนที่เป็นสารประกอบที่ระเหยได้ซึ่งสารประกอบที่ระเหยได้จะสามารถสลายได้ในการเก็บรักษาและกระบวนการผลิต จากนั้นนำค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกของแมคคาเดเมียอบแห้งที่ชั่วโมงในการเก็บรักษาที่ 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 มาการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกรดไทโอบาร์บิทิวริก ในแมคคาเดเมียอบแห้งด้วยการจัดกลุ่มแบบขั้นตอนได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอนของค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกในแมคคาเดเมียอบแห้ง

จากรูปที่ 4.5 ผลการจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิคการจัดกลุ่มแบบขั้นตอนของข้อมูลน้ำหนักองค์ประกอบของ 2 องค์ประกอบ ของค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก ในแมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง พบว่าสามารถจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 แมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 0 ชั่วโมง มีค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกแตกต่างจากกลุ่มที่ 2 และ 3 แมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 แสดงว่าแมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 24 48, 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก ไม่แตกต่างกัน และแมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 120 ชั่วโมง ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่ 3 แสดงว่าแมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 120 ชั่วโมง แตกต่างจากแมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

4.3 การหาความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์คุณภาพด้านกลิ่นโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

การวิเคราะห์ความถดถอย ของการวิเคราะห์กลิ่นของแมคคาเดเมียอบแห้งโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ การหาค่าความชื้น และการหาค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก ที่ระยะเวลาในการเก็บ

รักษา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง ในงานวิจัยของ Bonnefille [28] ทำการศึกษาการควบคุมการเกิดกลิ่นหืนของถั่วหลายชนิดโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งได้ทำการศึกษาที่สภาวะเดียวกับงานวิจัยนี้และผลการวิจัยเมื่อนำไปเทียบกับสารมาตรฐานพบ Octanal ที่เวลา 13.30 วินาที ในคอลัมน์ DB-5 ซึ่งในงานวิจัยนี้พบพีคที่เวลา 13.65 วินาที ในคอลัมน์ DB-5 และเนื่องจาก Octanal คือสารประกอบที่ให้กลิ่นหืนเกิดขึ้นเมื่อกรดไลโนเลอิกรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศ [34] ดังนั้นจึงได้นำผลการวิเคราะห์กลิ่นโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ คือ ความสูงพีคที่เวลา 13.65 ค่าความชื้น และค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก มาทำการวิเคราะห์ความถดถอย เพื่อหาความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์กลิ่นโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี โดยนำผลการวิเคราะห์ไปแปลงเป็นค่ามาตรฐานซี (Z-Scores) ก่อนการวิเคราะห์ ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

	ระยะเวลาในการเก็บรักษา	เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์	ความชื้น	กรดไทโอบาร์บิทิวริก
ระยะเวลาในการเก็บรักษา	-	0.982*	0.976*	0.893*
เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์	-	-	0.964*	0.887*
ความชื้น	-	-	-	0.839*
กรดไทโอบาร์บิทิวริก	-	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.6 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีความสัมพันธ์กับวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ค่าความชื้น และค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีความสัมพันธ์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าความชื้น และค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.7 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณระหว่างการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

Model	R	R^2	Adj. R^2	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R^2 Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.990[a]	.980	.949	10.123	.980	32.123	3	2	.030	3.221

a. Predictors: (Constant), กรดไทโอบาร์บิทิวริก, ความชื้น, เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

b. Dependent Variable: ระยะเวลาในการเก็บรักษา

จากตารางที่ 4.7 พบว่า การวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความชื้น และ กรดไทโอบาร์บิทิวริก มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี มีอิทธิพลในการกำหนดความแปรปรวนของระยะเวลาในการเก็บรักษาได้ประมาณร้อยละ 98

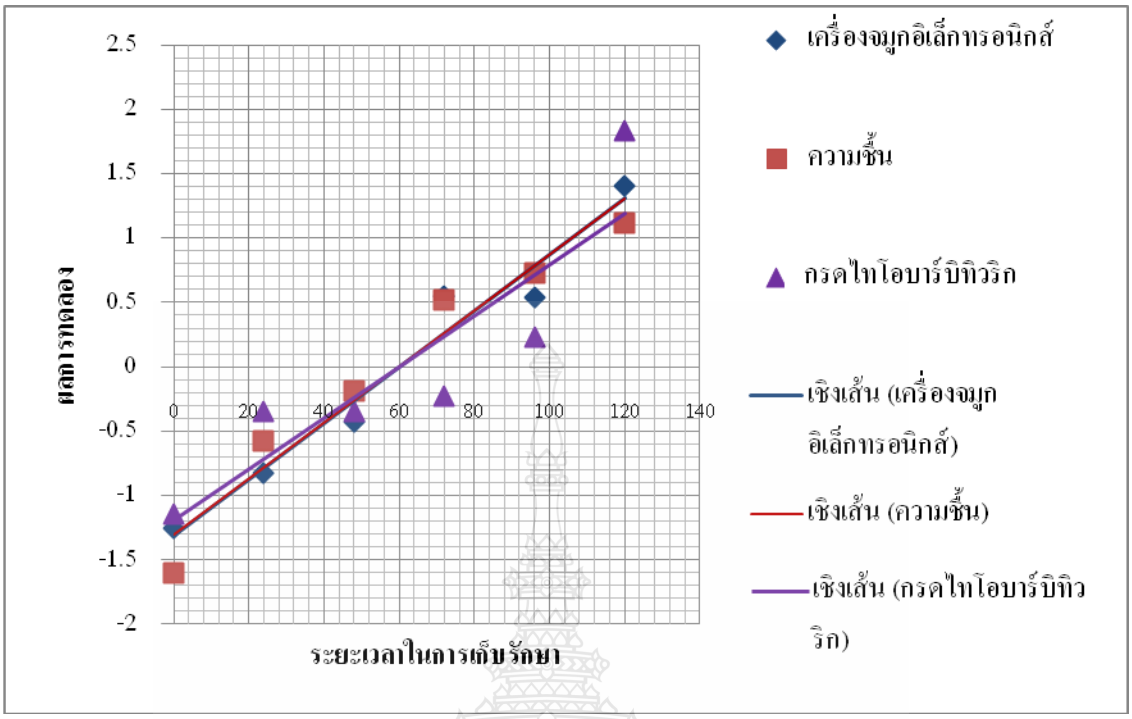
ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบความสัมพันธ์พหุคูณของการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กับระยะเวลาในการเก็บรักษา

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	9875.060	3	3291.687	32.123	.030[b]
	Residual	204.940	2	102.470		
	Total	10080.000	5			

a. Dependent Variable: ระยะเวลาในการเก็บรักษา

b. Predictors: (Constant), กรดไทโอบาร์บิทิวริก, ความชื้น, เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 4.8 พบว่า การวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความชื้น และ กรดไทโอบาร์บิทิวริก มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ค่า sig. = 0.030)



รูปที่ 4.6 ภาพการกระจายของผลวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ความชื้น และกรดไทโอบาร์บิทิวริก กับระยะเวลาในการเก็บรักษา

จากรูปที่ 4.6 จะสามารถเห็นความสัมพันธ์ระหว่างวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ความชื้น และ กรดไทโอบาร์บิทิวริก กับระยะเวลาในการเก็บรักษาพบว่ามีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงทางบวก และมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นผลวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ความชื้น และ กรดไทโอบาร์บิทิวริก ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สามารถอธิบายได้ว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณกลิ่น ความชื้น และกรดไทโอบาร์บิทิวริก ในผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบแห้ง การที่ผลการทดลองบางส่วนไม่อยู่บนเส้นตรงนั้นมีสาเหตุมาจากความแปรผันที่อาจเกิดขึ้นอย่างสุ่มซึ่งไม่สามารถอธิบายได้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการประยุกต์ใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการวิเคราะห์กลิ่นหืนของแมคคาเดเมียอบแห้งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านกลิ่นของแมคคาเดเมียอบแห้งโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์และเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีสามารถสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะดังนี้

5.1.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านกลิ่นของแมคคาเดเมียอบแห้งโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

5.1.1.1 จากการบันทึกผลการเตรียมตัวอย่างเมื่อทิ้งแมคคาเดเมียไว้ในอากาศที่ระยะเวลาต่างๆ ทำให้แมคคาเดเมียมีลักษณะมันเยิ้มเมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น

5.1.1.2 ผลการคัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเหมาะสมในการวิเคราะห์กลิ่นของแมคคาเดเมียอบแห้ง นำไปจัดกลุ่มด้วยการจัดกลุ่มแบบขั้นตอน สามารถจัดกลุ่มได้ทั้งหมด 3 กลุ่ม ซึ่งเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและสามารถวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีกมากมายทั้งในรูปของเหลวและแก๊ส และสามารถนำมาประเมินอายุการเก็บรักษาในระหว่างการเก็บรักษาและจำหน่ายได้ อีกทั้งยังใช้ในการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบเพื่อให้วัตถุดิบนั้นมีความสม่ำเสมอ การหาสารปนเปื้อนและการเน่าเสียต่างๆ สามารถระบุได้ว่าสารประกอบระเหยที่ออกมาเป็นสารอะไร ใช้ในกระบวนการผลิตในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์กับสินค้ามาตรฐาน เป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับผู้ประกอบการที่ต้องการวิเคราะห์สารประกอบระเหยของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วมีความแม่นยำ และการใช้เทคนิคการจัดกลุ่มแบบขั้นตอน นั้นสามารถแยกแยะความแตกต่างของสารประกอบระเหยที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเก็บแมคคาเดเมียอบแห้งที่ชั่วโมงต่างๆได้อย่างชัดเจน

5.1.2 การศึกษาการหาความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์คุณภาพด้านกลิ่นโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ผลการศึกษาพบว่าแมคคาเดเมียอบแห้งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา 0, 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกลิ่นโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านเคมี กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นปริมาณกลิ่น

ของแมคคาเดเมียอบแห้งมีมากขึ้นตามระยะเวลาที่เปลี่ยนไปสัมพันธ์กับค่าความชื้นและค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกในแมคคาเดเมียอบแห้งซึ่งมีมากขึ้นด้วยเช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์กลิ่นของแมคคาเดเมียอบแห้งโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีข้อเสนอแนะในขั้นตอนในการดำเนินงานและส่วนที่น่าจะปฏิบัติเพื่อให้ผลการทดลองที่ได้ครบถ้วนมากขึ้นดังนี้

5.2.1 ควรศึกษาผลการวิเคราะห์จากเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์โดยนำไปเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานว่าสารประกอบระเหยที่ออกมาจากแมคคาเดเมียอบแห้งเป็นสารใดซึ่งจะทำให้ทราบชื่อของสารประกอบระเหยนั้นๆ และนำไปเปรียบเทียบกับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

บรรณานุกรม

[1] อาทิตย์ วานิชอดิศักดิ์ วารุณี เตีย และอาภาพรรณ ชัฏไพศาล. “การศึกษาปริมาณกรดไขมันของแมคคาเดเมีย, “ว. วิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่ 40, นน. 157-160**,** กันยายน – ธันวาคม 2552.

[2] กนกรัตน์ เหลืองสด, “ผลของการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนร่วมกับแบบลมร้อนและบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพแมคคาเดเมีย,” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

[3] สุพรทิพย์ พัฒนยินดี, “การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารให้กลิ่นรสและไขมันระหว่างกระบวนการแปรรูปถั่วแมคคาเดเมีย,” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

[4] นิธิยา รัตนปานนท์, หลักการวิเคราะห์อาหาร, พิมพ์ครั้งที่ 1. ปีที่ 2554. กรุงเทพมหานคร : โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์. 2554.

[5] เพริศพิชญ์ คณาธารณา, ทฤษฎีแกสโครมาโตกราฟฟี, พิมพ์ครั้งที่ 1. ปีที่ 2526. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 2526.

[6] สุรเวทย์ กฤษณะเศรณี, *สาราณุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ (ออนไลน์)*, 2554, สืบค้นได้จาก: http://kanchanapisek.or.th/kp6/Ebook/BOOK36/pdf/book36_5.pdf, (12 พฤษภาคม 2557)

[7] อาทิตย์ วานิชอดิศักดิ์, “การจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากถั่วแมคคาเดเมีย,” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548

[8] Flound. *sk119ccc* (*online*), 2009, Available**:** http://www.sk119ccc.com/CCC/n ews_detail .php?page=274, (12 May 2014)

[9] Tasanee Yanopas. *foodtechchula* (*online*), 2011, Available**:** http://www.foodtechchula.com/photo/6301310:Photo:3325?context=popular, (12 May 2014)

[10] Cm_coffee. *oknation* (*online*), 2010, Available**:** http://www.oknation.net/blog/cmarabica/2010/07/01/entry-1, (12 May 2014)

[11] สำรวจโลก. *nextsteptv* (*online*), 2557, ม.ม.ป., สืบค้นได้จาก: http://www.nextsteptv.com/?p=3159, (12 พฤษภาคม 2557)

บรรณานุกรม (ต่อ)

[12] Nutrition Facts. *selfnutritiondata* (*online*), 2014, Available: http://nutritiondata.self.com/facts/nut-and-seed-products/3123/2, (27 January 2014)

[13] Industry News. *international Nut&DriedFruit* (*online*), 2015, Available: https://www.nutfruit.org/wp-continguts/uploads/2015/11/global-statistical-review-2014-2015_101779.pdf, (20 January 2016)

[14] นิธิยา รัตนปานนท์, เคมีอาหาร, พิมพ์ครั้งที่ 2. ปีที่ 2549. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 2549

[15] บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. *electron.rmutphysics (ออนไลน์)*, ม.ม.ป., สืบค้นได้จาก: http://www.electron.rmutphysics.com/news/index.php?option=com_content&task=view&id=1607, (20 มกราคม 2559)

[16] ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ, "จมูกอิเล็กทรอนิกส์," *อัพเดท*, ปีที่ 20 นน. 107 – 110, กรกฎาคม 2548

[17] Nokkonk. *วิชาการ.คอม (ออนไลน์)*, 2554. สืบค้นได้จาก: http://www.vcharkarn.com/lesson/1183, (20 มกราคม 2559)

[18] Modtanoi. *ศูนย์กลางข้อมูลเกษตรทันสมัยหนึ่งเดียวในไทย (ออนไลน์)*, 2557, สืบค้นได้จาก: https://kasetmodern.wordpress.com/2014/11/26/electronic-nose2/, (20 มกราคม 2559)

[19] ชูติมา ศรีวิบูลย์, การวิเคราะห์โดยเครื่องมือโครมาโตกราฟี, พิมพ์ครั้งที่ 1. ปีที่ 2546. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2546.

[20] พัฒนา เหล่าไพบูลย์, โครมาโตกราฟีแบบของเหลวแรงดันสูง หลักการและการประยุกต์ใช้ ครั้งที่พิมพ์ครั้งที่ 3. ปีที่ 2554. ขอนแก่น: หจก.ขอแก้นการพิมพ์. 2554.

[21] กัลยา วานิชย์บัญชา, การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร, พิมพ์ครั้งที่ 2. ปีที่ 2550.กรุงเทพมหานคร: ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.2550.

[22] ภูฤทธิ์ เงินชัย, "การจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผาโดยลักษณะทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส" วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2555

[23] Daniel Phillips. *Linux Kernel (online),* 2009, Available: http://cs.jhu.edu/~razvanm/fs-expedition/tux3.html, (27 January 2016)

บรรณานุกรม (ต่อ)

[24] ธีระดา ภิญโญ. *มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทรา (ออนไลน์)*, ม.ม.ป. http://www.teacher.ssru.ac.th/terada/file.php/1/simple_regression_4.1_.pdf, (20 มกราคม 2559)

[25] Pritish Biswas. *APB COUNSULTANT (online),* 2015, Available: http://isoconsultantpune.com/kaoru-ishikawas-basic-seven-qc-tools/, (27 January 2016)

[26] นิธิ มีใย และ ธงชัย สุวรรณสิชณ์, "การจัดกลุ่มกลิ่นผงกะหรี่ทางการค้าด้วยวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัสวิธีซอร์ทติงและจมูกอิเล็กทรอนิกส์," ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2554, หน้า 51 – 58.

[27] ชนิต ชนะปาลพันธุ์ พิสิฏฐ์ ธรรมวิถี อนุวัตร แจ้งชัด และสุมิตรา บุญบำรุง, "การประเมินสารให้กลิ่นของทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีและจมูกอิเล็กทรอนิกส์, "ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2554, หน้า 234 – 241.

[28] คงวุฒิ นิรันตสุข, " การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์," วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2549.

[29] พจนา จุลสิงห์ และ ธงชัย สวุรรณสชิณ์, "การเปรียบเทียบการวัดค่าด้วยวิธีจมูกอิเล็กทรอนิกส์และวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัสแบบซอร์ทติงเพื่อจำแนกกลุ่มผลิตภัณฑ์กะทิสำเร็จรูปทางการค้า, "ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2554, หน้า 481 – 489.

[30] M. Bonnefille, *alpha-mos (online)*, 2011, Available from: http://www.alpha-mos.com/pdf/en/articles/Alpha-MOS_Articles_11_10_AgroFood_HighTech.pdf, (15 January 2013).

[31] AOAC.2000. Offical Method of Analysis of AOAC International 17thed AOAC International Washington D.C.

[32] อนรรฆอร ศรีไสยเพชร, *คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (ออนไลน์)*, 2558, สืบค้นได้จาก http://www.science.mju.ac.th/chemistry/staffs/a_srisaipet.htm, (20 มกราคม 2559).

บรรณานุกรม (ต่อ)

[33] รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, *e-book.ram (ออนไลน์)*, 2547, เข้าถึงได้จาก http://e-book.ram.edu/e-book/inside/html/dlbook.asp?code=CM480(48), (10 มกราคม 2559).

[34] Miraliakbari, H., Shahidi, F, "Oxidative stability of tree nut oils". Journal of Agricultural and Food Chemistry 56, 2008, pp. 4751-4759.

[35] D. A. Walton , *University of the Sunshine Coast (online)*, 2005, Available from: research.usc.edu.au/vital/access/services/Download/usc:919/SOURCE2, (15 March 2016).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการเตรียมตัวอย่างแมคคาเดเมีย และตัวอย่างแมคคาเดเมียทั้ง 6 ตัวอย่าง

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแมคคาเดเมีย

1. นำแมคคาเดเมียมาวางไว้ให้โดนอากาศและความชื้นโดยไม่มีภาชนะ ดังรูปที่ ก.1

รูปที่ ก.1 ขั้นตอนการเตรียมแมคคาเดเมีย

2. เก็บตัวอย่างบรรจุในซองอลูมิเนียมฟอยล์ ซีลปิดผนึก ดังรูปที่ ก.2

รูปที่ ก.2 การเก็บตัวอย่างแมคคาเดเมียในซองอลูมิเนียมฟอยล์

ตัวอย่างแมคคาเดเมียทั้ง 6 ตัวอย่าง

รูปที่ ก.3 ตัวอย่างแมคคาเดเมียที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 ชั่วโมง

รูปที่ ก.4 ตัวอย่างแมคคาเดเมียที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 24 ชั่วโมง

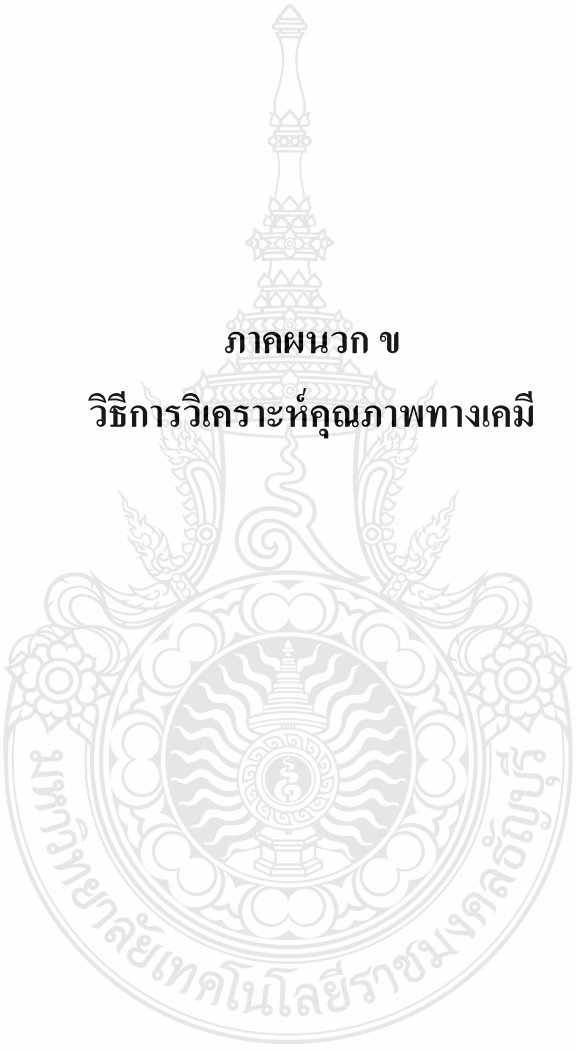
รูปที่ ก.5 ตัวอย่างแมคคาเดเมียที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 48 ชั่วโมง

รูปที่ ก.6 ตัวอย่างแมคคาเดเมียที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 72 ชั่วโมง

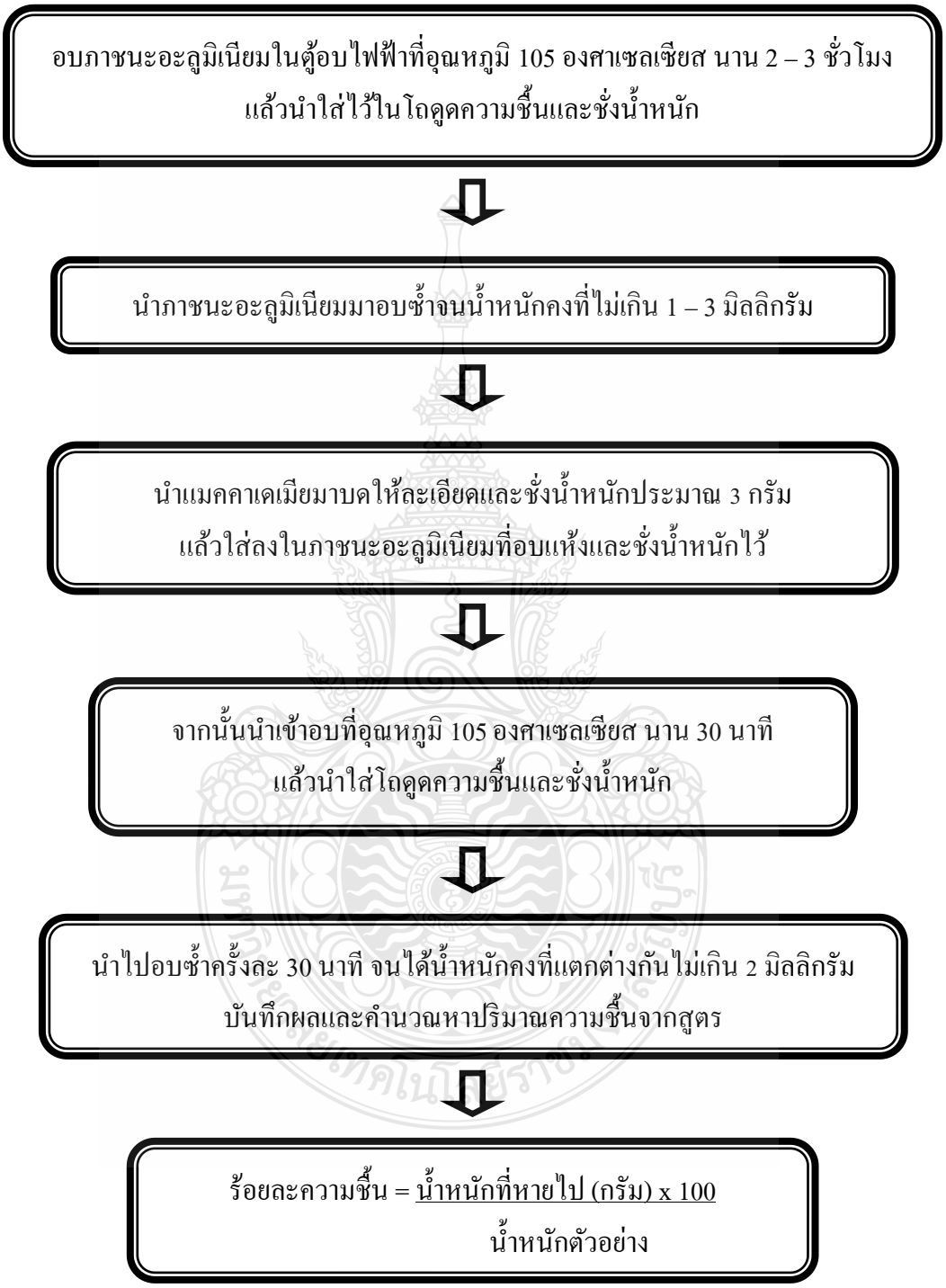
รูปที่ ก.7 ตัวอย่างแมคคาเดเมียที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 96 ชั่วโมง

รูปที่ ก.8 ตัวอย่างแมคคาเดเมียที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 120 ชั่วโมง

ภาคผนวก ข
วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

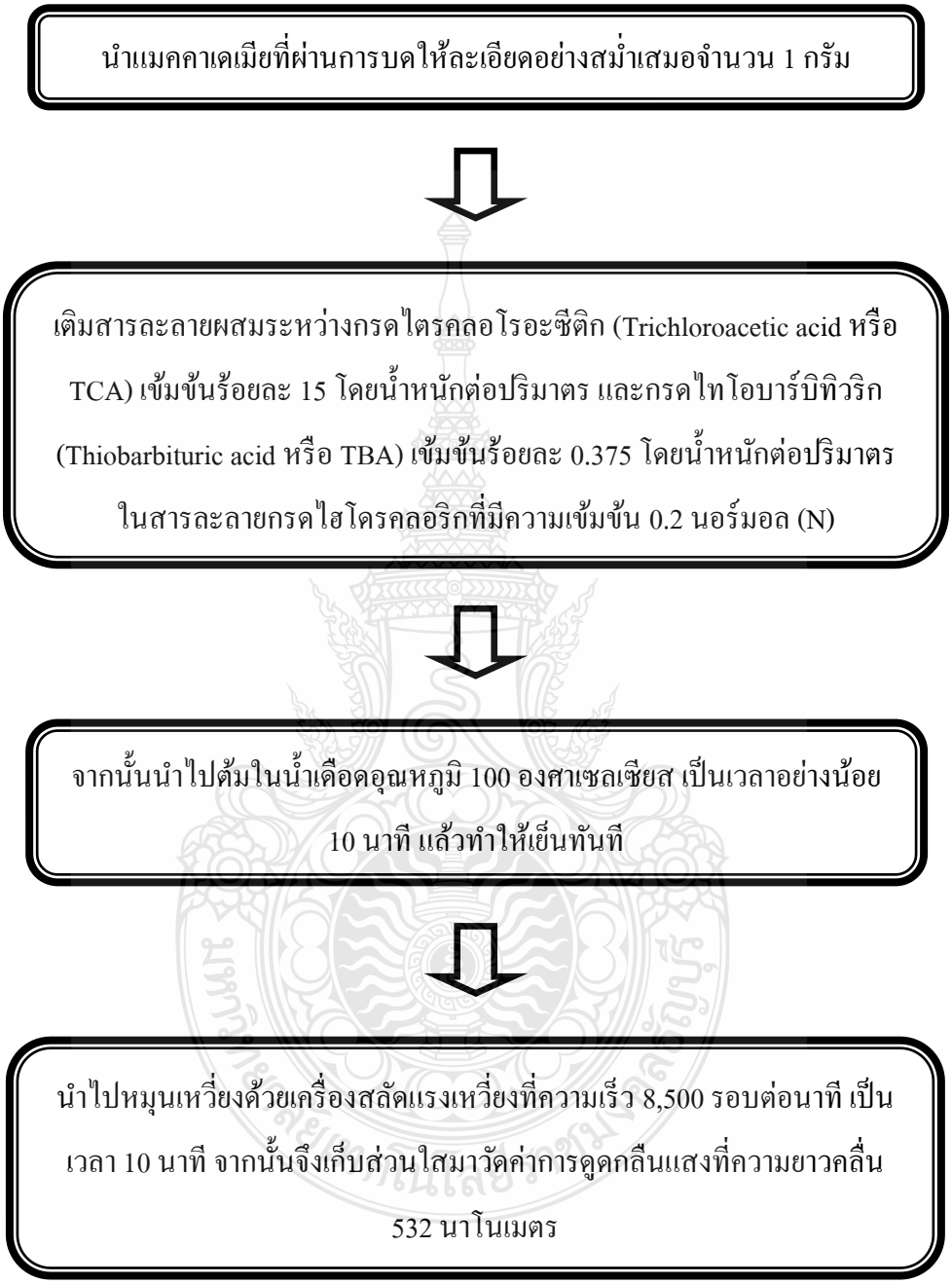


การวัดค่าความชื้น



รูปที่ ข.1 แสดงการวัดค่าความชื้น

การหาค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก (TBA)



รูปที่ ข.2 แสดงการวัดค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก (TBA)

ภาคผนวก ค
สูตรในการคำนวณค่ามาตรฐานซี (Z-Score) และ สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สูตรในการคำนวณค่ามาตรฐานซี (Z-Score)

$$Z - Score = \frac{X - \overline{X}}{S.D}$$

เมื่อ Z คือ ค่ามาตรฐานซี

X คือ ผลการทดลอง

$\overline{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองทั้งหมด

S.D คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

n	แทน กลุ่มตัวอย่างของแมคคาเดเมียที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างๆ
$\overline{X}$	แทน ค่าเฉลี่ยของคะแนน
S.D.	แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
df	แทน ชั้นของความอิสระ (Degree of freedom)
r	แทน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
R	แทน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ
R^2	แทน ค่าสัมประสิทธิ์ของการกำหนด (Coefficient of determination)
R^2 Change	แทน ค่าสัมประสิทธิ์ของการกำหนดที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มตัวแปร
Adj.R^2	แทน ค่าสัมประสิทธิ์ของการกำหนดที่ได้รับการปรับตามจำนวนตวแปรอิสระ
t	แทน ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับค่าพารามเตอร์ของสมการถดถอย แต่ละค่าที่อยู่ในสมการ
F	แทน ค่าสถิติที่ใช้การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคณ

ภาคผนวก ง
แบบตอบรับผลงานการเผยแพร่วิจัย

ที่ ศธ ๐๕๒๗.๐๒/ว ๐๖๘๒

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
อำเภอเมืองพิษณุโลก
จังหวัดพิษณุโลก ๖๕๐๐๐

๓ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๙

เรื่อง ตอบรับการนำเสนอผลงานวิจัย

เรียน คุณกุลชญา สิ่วหงวน

ตามที่ ท่านได้สมัครนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ ๓๘ (The 38th National Graduate Research Conference) ระหว่างวันที่ ๑๙-๒๐ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๙ ระหว่างเวลา ๐๘.๓๐-๑๖.๓๐ น. ณ อาคารเอกาทศรถ มหาวิทยาลัยนเรศวร นั้น

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้พิจารณาผลงานของท่านเรียบร้อยแล้ว และขอเรียนให้ทราบว่าผลงานวิจัยของท่านได้รับการคัดเลือกให้นำเสนอผลงานประเภทโปสเตอร์ และผลงานวิจัยของท่านจะได้รับการเผยแพร่ในรูปแบบรายงานการประชุม (Proceedings) พร้อมทั้งได้รับใบเกียรติบัตรรับรองการนำเสนอผลงานในครั้งนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และเข้าร่วมการนำเสนอผลงานวิจัยตามวัน เวลา และสถานที่ ดังกล่าว จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)
รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน ปฏิบัติราชการแทน
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร

งานวิจัยและวิเทศสัมพันธ์ บัณฑิตวิทยาลัย
โทร. ๐ ๕๕๙๖ ๘๘๓๕
โทรสาร. ๐ ๕๕๙๖ ๘๘๔๔

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 38
"บัณฑิตศึกษากับการพัฒนาสู่โลกาภิวัตน์"
ขอมอบเกียรติบัตรนี้เพื่อแสดงว่า
กุลชญา สิ่วหงวน
ได้เข้าร่วมนำเสนอผลงานประเภท Poster presentation
ให้ไว้ ณ วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2559
(รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย แสงอินทร์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ประธานที่ประชุม ทคบร.
(ศาสตราจารย์ ดร.รัตนะ บัวสนธ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวกุลชญา สิ่วหงวน
วัน เดือน ปีเกิด	3 ตุลาคม 2533
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 61/75 หมู่ 6 ตำบลลำลูกกา อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี 12150
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรคหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อ พ.ศ. 2556
ประสบการณ์ทำงาน	พ.ศ.2556-2559 ครูธุรการ (เจ้าหน้าที่พัสดุ) โรงเรียนนวมินทราชินูทิศสตรีวิทยา ๒
เบอร์โทรศัพท์	094-959-0941
อีเมล์	Kunchaya_s@mail.rmutt.ac.th