การศึกษาการสกัดน้ำมันและคุณสมบัติของน้ำมันจากแมคคาเดเมียที่ปลูกที่บ้านดอยช้าง

อรดา สถาพร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
โครงการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2549

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

โครงการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ชื่อเรื่อง

การศึกษาการสกัดน้ำมันและคุณสมบัติของน้ำมันจากแมคคาเดเมียที่ปลูก ที่บ้านดอยช้าง

โดย

อรดา สถาพร

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปราณี วราสวัสดิ์)
วันที่ 23 เดือน ม.ค. พ.ศ. 2549

กรรมการที่ปรึกษา .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุมาพร ศิริพินท์)
วันที่ 23 เดือน ม.ค. พ.ศ. 2549

กรรมการที่ปรึกษา .....
(อาจารย์ ดร.สุธยา พิมพ์พิไล)
วันที่ 23 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2549

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร .....
(อาจารย์ ดร.สุธยา พิมพ์พิไล)
วันที่ 23 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2549

โครงการบัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงวุฒิ เพ็ชรประดับ)
รองประธานกรรมการโครงการบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่ 24 เดือน พ.ค. พ.ศ. 49

ชื่อเรื่อง การศึกษาการสกัดน้ำมันและคุณสมบัติของน้ำมันจากแมคคาเดเมียที่ปลูกที่บ้านดอยช้าง

ชื่อผู้เขียน นางสาวอรดา สถาพร

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปราณี วราสวัสดิ์

บทคัดย่อ

แมคคาเดเมีย (Macademia) เป็นพืชเคี้ยวมันที่นิยมบริโภคเพราะมีรสชาติอร่อย ประเทศไทยมีการเพาะปลูกเพื่อทดแทนการนำเข้า โดยส่งเสริมให้ปลูกบนพื้นที่ราบสูง เพื่อทดแทนป่าที่หายไปจากการทำไร่เลื่อนลอยเนื่องจากเป็นไม้ยืนต้นที่เขียวตลอดปีการผลิตและงานวิจัย รวมถึงการพัฒนาแมคคาเดเมียในประเทศไทยยังไม่กว้างขวางนัก ทั้งนี้เนื่องจากแมคคาเดเมียเป็นพืชใหม่ที่ยังไม่เป็นที่รู้จัก ในการวิจัยครั้งนี้ได้มีการนำเอาเมล็ดแมคคาเดเมียจำนวน 3 สายพันธุ์ได้แก่ พันธุ์เชียงใหม่ 400 (HAES 660) พันธุ์เชียงใหม่ 700 (HAES 741) และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 (HAES 508) ที่ปลูกที่บ้านดอยช้าง อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย มาศึกษากรรมวิธีการสกัดน้ำมันเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันที่สูงที่สุด ซึ่งพบว่าการนำเอาเมล็ดแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มาทำการให้ความร้อนด้วยการนึ่งที่ระยะเวลา 7 นาทีก่อนเข้าสู่กระบวนการบีบอัด แล้วนำส่วนกากที่เหลือจากการบีบอัดมา สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน เป็นกรรมวิธีที่สามารถสกัดน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียได้ปริมาณสูงที่สุด น้ำมันดิบที่ได้เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และทางด้านเคมีพบว่าน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าความถ่วงจำเพาะและจุดหลอมเหลวที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และพบว่าน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่าความขุ่นสูงที่สุด ส่วนการวิเคราะห์ค่าสี พบว่า น้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าสี L หรือมีค่าความสว่างที่สุดคือ 20.10 ± 0.65 ในขณะที่น้ำมันจากแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าสี a ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าสี b เป็นลบสูงที่สุด คือมีค่า -14.57 ± 0.10 ส่วนผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่ามีค่าไอโอดีน, สารที่สปอนนิฟายไม่ได้และค่าความเป็นกรดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และน้ำมันดิบที่ได้จากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่าสปอนนิฟายสูงที่สุดคือ 191.203 ± 0.644 (mg KOH/oil 1 g) ส่วนน้ำมันดิบจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่น้อยที่สุดคือ1.315 ± 0.378 (milliequiv./oil 1 kg) เมื่อนำน้ำมันดิบ (crude oil) ที่ได้มาผ่าน

กรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) แล้วนำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า น้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 และแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าความถ่วงจำเพาะแตกต่างจากพันธุ์เชียงใหม่ 1000 ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 0.870 ที่ 25 องศาเซลเซียส และน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 มีค่าความขุ่นที่สูงที่สุดคือ 0.490 ± 0.006 NTU น้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 มีค่าสี L ที่สูงที่สุดคือมีค่า 14.29 ± 0.19 ค่าสี a ค่าสี b และจุดหลอมเหลวในน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วทั้ง 3 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วพบว่าทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าไอโอดีน, ค่าความเป็นกรด และ ค่าเปอร์ออกไซด์ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่น้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่าสปอนนิฟายที่สูงที่สุด คือ 191.178 ± 0.277 (mg KOH / oil 1 g) และน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าสารสปอนนิฟายไม่ได้น้อยที่สุดคือ 0.195 ± 0.002 (% by weight) เมื่อนำน้ำมันดิบที่ได้มาผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ แล้วนำมาตรวจวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินอีพบว่าไม่สามารถตรวจพบวิตามินอีในน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ส่วนน้ำมันดิบจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 เมื่อนำไปผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้ว มีปริมาณน้ำมันบริสุทธิ์ที่ได้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ ร้อยละ 42.667 ± 0.667 ของน้ำมันแมคคาเดเมียดิบ

Title	A Study of Oil Extraction and Properties (of the Oil) Extracted from Macadamia Nut Grown at Doi Chang Village
Author	Miss Orada Sathaporn
Degree of	Master of Science in Food Technology
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Pranee Warasawas

ABSTRACT

Macadamia is a delicious nut that is starting to be highly accepted by consumers. It is now being produced in Thailand to substitute for its importation. The plant is being promoted for production in highland areas in order to improve the disintegrated forest because it belongs to the family of evergreen trees. In Thailand, the production and research of macadamia together with its development are not yet fully undertaken because the plant is still less known. In this study, three (3) varieties of macadamia were used, namely: Chiangmai 400 (HAES 660), Chiangmai 700 (HAES 741) and Chiangmai 1000 (HAES 508) were planted in Doi Chang village, Mae Sruai district, Chiang Mai province. This study was focused on the methods of oil extraction to get the highest yield from macadamia seeds. Using Chiangmai 700, the macadamia seeds were heated by steaming for 7 minutes before undergoing mechanical pressure. The remaining residues were then extracted by hexane. This method was to find the highest extracted quantity. The crude oil from the 3 varieties of the nut were then analyzed for physical and chemical properties. Results showed that crude oil from 3 varieties had specific gravity and melting point that were not significantly different ($p > 0.05$). In addition, it was also found that Chiangmai 1000 had the highest turbidity. In color analysis, Chiangmai 700 variety had the highest L value at 20.10 ± 0.65 but oil from 3 macadamia varieties gave a value that were not significantly different ($p > 0.05$). Oil from Chiangmai 700 variety having the lowest b value (-14.57 ± 0.10). The chemical properties of the crude oil from all 3 varieties such as iodine value, unsaponifiable matters and acid value, were not significantly different ($p > 0.05$) but Chiangmai 1000 variety had the highest saponification number (191.203 ± 0.644 mg KOH/oil 1 g). Crude oil from Chiangmai 700 variety had the lowest peroxide value (1.315 ± 0.378 milliequivalent of active oxygen / oil 1 kg) when

crude oil undergo refining and were then analyzed for their physical properties. Results showed that refined oil from Chiangmai 700 and Chiangmai 400 varieties had specific gravity that was different from Chiangmai 1000 (0.870 at 25°C). Meanwhile, Chiangmai 400 had the highest turbidity (0.490 ± 0.006 NTU) and highest L value (14.29 ± 0.19). The values for color a and b together with melting point in refined oil from 3 macadamia varieties were not significantly different ($p > 0.05$). The chemical properties of the refined oil of 3 varieties were shown that to be not significantly different in iodine value, acid value and peroxide value, but Chiangmai 1000 variety had the highest saponification number (191.178 ± 0.277 mg KOH/oil 1 g), while Chiangmai 700 variety had the lowest unsaponificable matters (0.195 ± 0.002 % by weight). Vitamin E could not be detected in the refined oil of 3 varieties. The crude oil from Chiangmai 700 that underwent refining had the highest yield at 42.667 ± 0.667 % .

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปราณี วราสวัสดิ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ได้ให้คำแนะนำในการวางแผนการดำเนินงานทดลอง ตลอดจนช่วยสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์สำหรับใช้ในการดำเนินงาน จนกระทั่งงานทดลองสำเร็จ และได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไข จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อุมาพร ศิริพินทุ์ และ อาจารย์ ดร.สุธยา พิมพ์พิไล กรรมการที่ปรึกษา และอาจารย์ ดร.วีรชัย พุทธวงศ์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขจนกระทั่งสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์อย่างสมบูรณ์

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุกๆ คนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาในการศึกษา

อรดา สถาพร

พฤษภาคม 2549

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
ABSTRACT	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(9)
สารบัญตารางภาคผนวก	(10)
อักษรย่อ	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
แมคคาเดเมีย	3
ปริมาณผลผลิต	5
ราคาผลผลิต	6
วิทยาการก่อนการเก็บเกี่ยวและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว	6
ไขมันหรือลิปิด	10
ลักษณะเฉพาะของไขมัน	11
กรรมวิธีการสกัดน้ำมัน	12
การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์	16
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	21
วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	21
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	22
วิธีการทดลอง	24

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	33
1. ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบพื้นฐานของเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์	33
2. การ ศึกษาวิธีการที่ใช้ในการสกัดน้ำมัน จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันสูงสุด	36
3. การศึกษาคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมีย	39
4. การศึกษาคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีปรับปรุงคุณภาพหรือผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้ว	44
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	52
สรุปผลการทดลอง	52
ข้อเสนอแนะ	54
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก	58
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพ	59
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง	90
ภาคผนวก ค ประวัติผู้วิจัย	116

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	คุณค่าทางอาหารของเนื้อในเมล็ดแมคคาเดเมีย	9
2	สมบัติและชนิดของกรดไขมันในน้ำมันที่สกัดจากเนื้อในเมล็ดแมคคาเดเมีย เปรียบเทียบกับน้ำมันมะพร้าว	10
3	ค่าดัชนีประเมินคุณภาพน้ำมันดิบเพื่อการบริโภคตามมาตรฐาน CODEX	16
4	ค่าดัชนีประเมินคุณภาพน้ำมันผ่านกรรมวิธีเพื่อการบริโภคตามมาตรฐาน สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	20
5	คุณภาพของเนื้อในแมคคาเดเมีย	35
6	ปริมาณน้ำมันสุทธิที่ได้จากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมีย สายพันธุ์เชียงใหม่ 400 ด้วยกรรมวิธีการบีบอัดร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย	36
7	ปริมาณน้ำมันสุทธิที่ได้จากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมีย สายพันธุ์เชียงใหม่ 700 ด้วยกรรมวิธีการบีบอัดร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย	37
8	ปริมาณน้ำมันสุทธิที่ได้จากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมีย สายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 ด้วยกรรมวิธีการบีบอัดร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย	38
9	คุณภาพทางกายภาพของน้ำมันดิบที่สกัดได้จากแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์	42
10	คุณภาพทางเคมีของน้ำมันดิบที่สกัดได้จากแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ (ต่อ)	43
11	คุณภาพทางกายภาพของน้ำมันแมคคาเดเมียบริสุทธิ์	49
12	คุณภาพทางเคมีของน้ำมันแมคคาเดเมียบริสุทธิ์ (ต่อ)	50
13	ปริมาณน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์สุทธิ(refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมีย ทั้ง 3 สายพันธุ์	51

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	ลักษณะของแมคคาเดเมีย	3
2	อุปกรณ์บีบอัดน้ำมัน	26
3	กระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์	31
4	ขั้นตอนการหาปริมาณใยอาหารทั้งหมด	66
5	เครื่องวิเคราะห์ไขมัน	67
6	การนำ thimbles ต่อเข้ากับ adapters	68
7	การนำ thimbles ไปบรรจุตัวอย่างและชั่งน้ำหนัก	68
8	การนำ thimbles ต่อกับ condensors	69
9	การปิด condensors valve โดยหมุนไป ¼ รอบ	70
10	การนำ extraction cups ออกจากเครื่องโดยใช้ cups holder	70
11	การนำ thimbles support ที่มี thimbles อยู่ออกมาจากเครื่อง	71
12	ตัวอย่างผลการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินอีในน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมีย สายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 ที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์	115

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวก		หน้า
1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความชื้นของเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ผึ่งลมแล้วอบต่อด้วยตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 38, 40 และ 50 องศาเซลเซียส อย่างต่อเนื่องอุณหภูมิละ 2 วัน	91
2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแอคติวิตีของน้ำของเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ผึ่งลมแล้วอบต่อด้วยตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 38, 40 และ 50 องศาเซลเซียส อย่างต่อเนื่องอุณหภูมิละ 2 วัน	92
3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไขมันในเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000	93
4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณโปรตีนในเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000	94
5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณใยอาหารในเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000	94
6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณเถ้าในเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000	94
7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดในเมล็ดแมคคาเดเมีย ทั้ง3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000	95
8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการศึกษากรรมวิธีการสกัดน้ำมันตั้งแต่กระบวนการบีบอัดจนถึงการใช้ตัวทำละลาย จากเมล็ดแมคคาเดเมียพันธุ์เชียงใหม่ 400	96
9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการศึกษากรรมวิธีการสกัดน้ำมันตั้งแต่กระบวนการบีบอัดจนถึงการใช้ตัวทำละลาย จากเมล็ดแมคคาเดเมียพันธุ์เชียงใหม่ 700	97
10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการศึกษากรรมวิธีการสกัดน้ำมันตั้งแต่กระบวนการบีบอัดจนถึงการใช้ตัวทำละลาย จากเมล็ดแมคคาเดเมียพันธุ์เชียงใหม่ 1000	97
11	การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนความถ่วงจำเพาะในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000 (วัดที่ 25 องศาเซลเซียส)	98

ตารางภาคผนวก หน้า

12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความขุ่น ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000 98

13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี L ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 99

14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี a ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 100

15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี b ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 101

16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของจุดหลอมเหลวในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 102

17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีน ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400, พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 102

18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสปอนนิฟาย ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 103

19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสารสปอนนิฟายไม่ได้ ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 104

20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกรด ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 104

21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 105

ตารางภาคผนวก หน้า

22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความถ่วงจำเพาะ (วัดที่ 25 องศาเซลเซียส) ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 106

23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความข่น ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 107

24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี L ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 108

25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี a ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000 109

26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี b ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000 109

27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของจุดหลอมเหลว ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 110

28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีน ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 110

29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสปอนนิฟาย ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000 111

30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสารสปอนนิฟายไม่ได้ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000 112

ตารางภาคผนวก หน้า

31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกรด ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 113

32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000 113

33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000 114

อักษรย่อ

อักษรย่อ	ย่อมาจาก	ความหมาย
มอก.	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	
พ.ศ.	พุทธศักราช	
A.R.	Analytical	การวิเคราะห์
CRD	Completely Randomized Design	การวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด
a_w	Water Activity	ปริมาณน้ำอิสระ
ns	non significant	ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและสำคัญของปัญหา

แมคคาเดเมีย (Macademia) เป็นพืชเคี้ยวมัน ซึ่งปลูกมากในแถบออสเตรเลียและฮาวาย ที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก เพราะมีสารที่มีคุณค่าทางอาหารซึ่งจำเป็นต่อร่างกาย ยิ่งเคี้ยวก็ยิ่งมัน อร่อย และมีกลิ่นเฉพาะตัว เมื่อนำไปทอด อบ และโรยเกลือป่นเล็กน้อยรับประทานเป็นอาหารว่างหรือกับแกล้ม อร่อยกว่าพืชเคี้ยวมันอื่นๆ อีกทั้งมีกลิ่นหอม ดังนั้นแมคคาเดเมียจึงมีราคาแพง เป็นที่นิยมบริโภคกว่าพืชเคี้ยวมันอื่นๆ แมคคาเดเมียมีรสชาติอร่อยจนได้รับขนานนามว่าเป็นราชาแห่งนัท จึงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และพบว่าประเทศไทยมีการนำเข้าแมคคาเดเมียเพื่อการบริโภคจำนวนมากในแต่ละปี รวมถึงงานวิจัยและพัฒนาแมคคาเดเมียในประเทศไทยยังไม่กว้างขวางนัก ทั้งนี้เนื่องจากแมคคาเดเมียเป็นพืชใหม่ที่ยังไม่เป็นที่รู้จักนั่นเอง

มีการนำเอาพันธุ์แมคคาเดเมียเข้ามาในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก และกรมวิชาการเกษตรได้ปลูกและคัดเลือกพันธุ์มาเป็นลำดับและปัจจุบันได้แนะนำพันธุ์แมคคาเดเมียซึ่งเป็นพันธุ์ดีจำนวน 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 (HAES 660) พันธุ์เชียงใหม่ 700 (HAES 741) และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 (HAES 508) เพื่อการปลูกในประเทศไทย (ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่, 2543) เริ่มมีการปลูกแมคคาเดเมียอย่างแพร่หลายในพื้นที่สูง เพื่อทดแทนป่าเสื่อมโทรมอันเป็นผลจากการทำไร่เลื่อนลอยในอดีต ส่วนหนึ่งเริ่มให้ผลผลิตและได้มีการนำผลผลิตที่ได้มาอบให้สุก จำหน่ายในรูปนัททั้งผลโรยเกลือ แต่มีส่วนหนึ่งมีขนาดไม่ได้มาตรฐานหรือมีการแตกหักในระหว่างการกระเทาะเปลือก จึงอาจนำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในคุ๊กกี้ หรือผลิตภัณฑ์ ธัญชาติต่างๆ นอกจากนี้อาจสกัดน้ำมันเพื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มอื่นๆ นอกเหนือจากการนำมาประกอบอาหารได้ เช่น ใช้ทำเครื่องสำอาง งานวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาคุณภาพของน้ำมัน แมคคาเดเมียเพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากแมคคาเดเมียจำนวน 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 (HAES 660) พันธุ์เชียงใหม่ 700 (HAES 741) และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 (HAES 508) ที่มีการส่งเสริมให้ปลูกในแถบที่สูงที่บ้านดอยช้าง ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานของเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 (HAES 660) พันธุ์เชียงใหม่ 700 (HAES 741) และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 (HAES 508)

2. เพื่อศึกษากรรมวิธีการสกัดตั้งแต่กระบวนการบีบอัดจนถึงการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย

3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันดิบ และน้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ในแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์

ขอบเขตการวิจัย

1. การศึกษาถึงองค์ประกอบพื้นฐานของเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 (HAES 660) พันธุ์เชียงใหม่ 700 (HAES 741) และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000 (HAES 508) ที่เพาะปลูกที่บ้านดอยช้าง ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย และเก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2547

2. การศึกษาหากรรมวิธีการสกัดที่เหมาะสมตั้งแต่กระบวนการบีบอัด จนถึงการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย

3. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำมันดิบ และน้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ในแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่เพาะปลูกที่บ้านดอยช้าง ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย และเก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2547

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงองค์ประกอบพื้นฐาน ที่มีอยู่ในเนื้อในของเมล็ดแมคคาเดเมียตลอดถึงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันที่สกัดจากแมคคาเดเมียจำนวน 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 (HAES 660) พันธุ์เชียงใหม่ 700 (HAES 741) และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000 (HAES 508)

2. ทราบถึงการใช้กรรมวิธีสกัดน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันสูงสุด

3. สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการนำน้ำมันไปใช้งานต่อไปได้

บทที่ 2

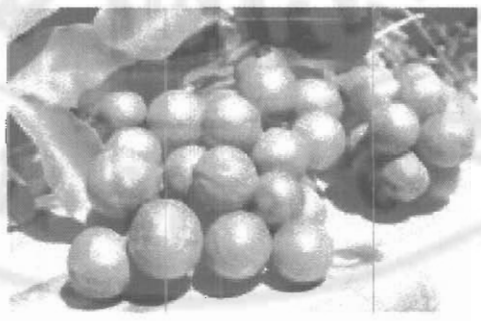
การตรวจเอกสาร

แมคคาเดเมีย

แมคคาเดเมียเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่และมีทรงพุ่มกว้าง ความสูงของลำต้นเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 18 เมตร ความกว้างทรงพุ่มประมาณ 15 เมตร อายุยืน เป็นไม้ที่ไม่ผลัดใบเติบโตได้ดีในพื้นที่สูงที่มีอากาศเย็น จึงเหมาะแก่การเพาะปลูกแทนป่าเสื่อมโทรมที่ผ่านการทำไร่เลื่อนลอยตามพื้นที่สูงและเนื่องจากมีพุ่มไม้ใหญ่จึงให้ร่มเงา (Kadman et al., 1984)

แมคคาเดเมีย (Macademia) มีชื่อสามัญว่า Macademia, Australian Queensland Nut และมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Macadamia. tetraphylla L.*

แมคคาเดเมียมีผลสีเขียว เมื่อปอกเปลือกส่วนที่มีสีเขียวออกจะพบเปลือกหุ้มเมล็ดสีน้ำตาล มีลักษณะแข็งที่เรียกว่ากะลา เมล็ดที่อยู่ภายในกะลามีสีขาวหรือสีครีมซึ่งเป็นส่วนที่ใช้รับประทานได้ โดยทั่วไปจะอบหรือทอดให้สุกก่อนรับประทานจะมีรสชาติมันอร่อยในกลุ่มพืชเคี้ยวมัน แมคคาเดเมียมีรสชาติอร่อยจนได้รับขนานนามว่าเป็นราชาแห่งนัท (ประเทืองศรี, 2532) และไม่เพียงเท่านั้น ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่และฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยี (2541) ยังกล่าวอีกว่าแมคคาเดเมียไม่เพียงแต่รสชาติดีแต่ยังมีคุณค่าต่อร่างกายด้วย แมคคาเดเมียมีโคเลสเตอรอลต่ำที่จะช่วยต่อสู้กับโรคหัวใจ โดยประเทืองศรี (2532) กล่าวว่าในน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียมีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัว (total saturated fatty acid) ร้อยละ 12.9 และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (total unsaturated fatty acid) ร้อยละ 87.1 ดังตาราง 2



ภาพ 1 ลักษณะของแมคคาเดเมีย

การปลูกแมคคาเดเมียเป็นอุตสาหกรรมของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งเริ่มปลูกอย่างจริงจังเมื่อ 20-30 ปีมาแล้ว นับเป็นประเทศผู้นำในการวิจัยของแมคคาเดเมียและการตลาดของโลกประเทศหนึ่ง ปัจจุบันออสเตรเลียมีการปลูกแมคคาเดเมียมากกว่า 2 ล้านต้น ครอบคลุมพื้นที่กว่า 125,000 ไร่ โดย 1 ใน 3 เป็นพื้นที่ที่ให้ผลผลิตแล้ว 1 ใน 3 เป็นพื้นที่เริ่มให้ผลผลิต และอีก 1 ใน 3 ยังไม่ให้ผลผลิต ออสเตรเลียได้มีการพัฒนาระบบประกันคุณภาพ โดยมีการตั้งราคาผลผลิตตามสัดส่วนผลผลิตที่ได้นำไปกระเทาะเอากะลาออกเพื่อคำนวณราคาจากค่า % recovery เมล็ดเกรด 1 สามารถนำไปอบเพื่อใช้เป็นอาหารว่าง (snack) ส่วนเมล็ดตกเกรดสามารถนำไปเป็นส่วนประกอบของขนมหรืออาหารอื่น เช่น ผสมในคุ๊กกี้ ไอศกรีม เป็นต้น หรืออาจสกัดเป็นน้ำมันชั้นดีสำหรับเป็นน้ำมันเพื่อบริโภคหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ต่อไป (ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่และฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยี, 2541)

แมคคาเดเมียถูกนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยเมื่อประมาณ 40 ปีมาแล้ว แต่เริ่มได้รับความสนใจหรือการพัฒนาเมื่อประมาณ 23 ปีที่ผ่านมาคือในปี 2526 โดยกรมวิชาการเกษตรได้ติดต่อขอผู้เชี่ยวชาญจากรัฐนิวเซาเวลส์ประเทศออสเตรเลียมาช่วยให้คำแนะนำในการศึกษาและรัฐบาลประเทศออสเตรเลียได้ส่งผู้เชี่ยวชาญด้านการปลูกแมคคาเดเมีย คือ Mr.Tim Trochoulios เข้ามาสำรวจพื้นที่ และสั่งพันธุ์แมคคาเดเมียเข้ามา 8 สายพันธุ์ เมื่อวันที่ 17 กันยายน 2527 คือพันธุ์ 246 พันธุ์ 333 พันธุ์ 344 พันธุ์ 508 พันธุ์ 660 พันธุ์ 741 พันธุ์ 800 และพันธุ์ Hinde รวมทั้งหมด 1,200 ต้น เนื่องจากแมคคาเดเมียเป็นพืชอายุยืนและเป็นไม้ยืนต้นที่มีใบเขียวทั้งปี กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการนำพืชชนิดนี้มาปลูกบนที่สูงเพื่อทดแทนป่าที่ถูกทำลายจากการทำไร่เลื่อนลอย จึงได้เร่งรัดงานวิจัยให้รวดเร็วยิ่งขึ้นเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เกษตรกร โดยนำพันธุ์ที่สั่งเข้ามาปลูกเปรียบเทียบและคัดเลือกพันธุ์ในพื้นที่ต่างๆ 15 แห่งทั่วประเทศ ตั้งแต่ความสูงจากระดับน้ำทะเล 100-1,300 เมตร ซึ่งศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่และฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยี (2541) ได้แนะนำการใช้หลักเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์ดังนี้ คือ

1. ทรงต้นแข็งแรงตั้งตรง โครงสร้างของกิ่งตั้งตรง
2. ผลผลิตต่อต้นเมื่ออายุ 8 ปี ต้องมีผลผลิตน้ำหนักผลทั้งกะลา 20-30 กิโลกรัมต่อต้น ในสภาพความอุดมสมบูรณ์น้อย
3. ขนาดผลสม่ำเสมอมีจำนวน 132-180 ผลต่อกิโลกรัม (ทั้งกะลา)
4. กะลาบางและรูหายใจ (micropile) ไม่เปิดเมื่อผลแห้ง
5. มีน้ำหนักเนื้อใน 2-3 กรัมต่อเมล็ด
6. เปอร์เซ็นต์เนื้อในหลังกระเทาะ ไม่น้อยกว่า 35 เปอร์เซ็นต์
7. เปอร์เซ็นต์เนื้อในเกรด 1 (เปอร์เซ็นต์ลอยน้ำ) ไม่น้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

8. เปอร์เซ็นต์เกรด 1 ส่วนที่เป็นเนื้อใน ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ รูปร่างของเนื้อในกลมสม่ำเสมอ มีสีขาวหรือสีครีมและปราศจากวงกลมสีดำ

ต่อมาสถาบันวิจัยพืชสวนได้นำพันธุ์ที่ใช้ปลูกเป็นการค้าจากประเทศออสเตรเลียจำนวน 10 พันธุ์มาทดลองปลูกในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศพบว่ามี 3 พันธุ์ ซึ่งสามารถปรับตัวได้ดีกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยหลายพื้นที่อยู่เหนือเส้นละติจูดที่ 19.8 องศาเหนือขึ้นไป โดยเฉพาะบนภูเขาสูงที่อากาศเย็น กรมวิชาการเกษตรจึงได้ประกาศให้แมคคาเดเมียทั้ง 3 พันธุ์ดังกล่าว เ ป็นพันธุ์แนะนำให้เกษตรกรนำไปปลูกในเชิงการค้าและเป็นพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ด้วย ซึ่งศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (2543) ได้กล่าวถึงพันธุ์ทั้ง 3 ดังนี้

1. พันธุ์เชียงใหม่ 400 (HAES 660) พันธุ์นี้เจริญเติบโตดีมากถ้าปลูกบนพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 400 เมตรขึ้นไป ซึ่งถ้าเจริญเติบโตที่ความสูง 400-600 เมตรจากระดับน้ำทะเล พันธุ์นี้จะให้ผลดกแต่มีขนาดเล็ก ขนาดของเมล็ดปกติประมาณ 175-190 เมล็ดต่อกิโลกรัม

2. พันธุ์เชียงใหม่ 700 (HAES 741) พันธุ์นี้ให้ผลผลิตสูง คุณภาพดี แต่ต้องปลูกในพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล 700 เมตรขึ้นไป เมล็ดสีขาวสวย

3. พันธุ์เชียงใหม่ 1,000 (HAES 508) เจริญเติบโตได้ดี และให้ผลผลิตสูงในพื้นที่ที่มีอากาศหนาวเย็น มีระดับความสูงตั้งแต่ 1,000 เมตรขึ้นไป ผลมีขนาดปานกลาง เมล็ดมีคุณภาพดีและมีรูปร่างสวย

ปริมาณผลผลิต

ประสงค์ (2544) กล่าวว่าผลผลิตต่อไร่ของแมคคาเดเมียมีค่าแตกต่างกันอย่างมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ สถานที่ ภูมิอากาศ ดิน ระบบชลประทาน และการแพร่กระจายของปริมาณน้ำฝนในสภาพของหมู่เกาะฮาวาย ซึ่งคาดว่าอยู่ในสภาวะภูมิอากาศที่เหมาะสมที่สุดคืออุณหภูมิที่ไม่ร้อนหรือเย็นจัดเกินไป (15-30 องศาเซลเซียส) มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยค่อนข้างสูงกว่า 2,000 ม.ม. มีการกระจายของฝนดีตลอดปี มีช่วงระยะเวลาแล้ง หรือขาดน้ำไม่เกิน 45-60 วัน แมคคาเดเมียที่ปลูกที่บริเวณเมือง Kona เกาะฮาวายให้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 512-560 กิโลกรัมต่อไร่ หรือประมาณ 25-28 กิโลกรัมต่อต้น แต่ขณะเดียวกันในสภาพของประเทศออสเตรเลียผลผลิตของต้นที่มีผลผลิตสูงสามารถทำได้เพียง 30 กิโลกรัมต่อต้นเท่านั้น หรือเพียง 67 % ของสภาพผลผลิตจากฮาวาย

ในสภาพของประเทศไทยซึ่งมีข้อจำกัดอยู่มากในเรื่องอุณหภูมิที่มักจะหนาวเย็นไม่พอตามความต้องการของแมคคาเดเมีย ประกอบกับความชื้นในช่วงออกดอกติดผลมักจะต่ำประมาณ 50-60 % และเป็นช่วงที่แล้งขาดน้ำ การเจริญเติบโตในช่วงแล้งจะต้องมีมาตรการทดแทนความชื้นที่เหมาะสม ในประเทศไทยหลังปลูกแมคคาเดเมีย 4-5 ปี เริ่มให้ผลผลิตปีแรก 1-3 กิโลกรัมต่อต้น

และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆทุกปี ต้นที่มีอายุ 10 ปีขึ้นไป ให้ผลผลิต 20-30 กิโลกรัมต่อต้น อายุ 20 ปีขึ้นไป 40-60 กิโลกรัมต่อต้น อายุการให้ผลผลิตยาวนานไม่น้อยกว่า 50 ปี ขึ้นอยู่กับการดูแลรักษา

ราคาผลผลิต

การตั้งราคาผลผลิตแมคคาเดเมียของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งกล่าวในศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่และฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยี (2541) ไว้ว่าขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 อย่าง คือเมล็ดเนื้อในคัดแล้วสุทธิ (sound kernel recovery) เมล็ดเสีย/คัดทิ้ง (unsound/reject kernel) และเปอร์เซ็นต์เกรด 1 ปัจจัยทั้งหมดคำนวณจากน้ำหนักเมล็ดทั้งกะลาที่ความชื้น 10 เปอร์เซ็นต์

เมล็ดเนื้อในคัดแล้ว (sound kernel) คือ เมล็ดเนื้อในที่แก่เต็มที่ปราศจากตำหนิที่เกิดจากการทำลายของแมลงหรือหนู, เชื้อรา, เมล็ดเน่า, เมล็ดสีน้ำตาล, เมล็ดงอก, เมล็ดเหม็นหืน หรือเป็นเมล็ดที่จัดว่าเป็นเมล็ดดีเหมาะสำหรับคั่วหรือขายเป็นเมล็ดดิบ

เมล็ดเนื้อในคัดทิ้ง (unsound/reject kernel) ได้แก่ เมล็ดที่คัดออกจากเมล็ดดี ได้แก่ เมล็ดที่ถูกทำลายโดยหนูหรือแมลง, มีเชื้อรา, เมล็ดเน่า, เมล็ดไม่แก่, เมล็ดมีสีน้ำตาล, เมล็ดงอก หรือมีกลิ่นหืน ดังนั้นควรคัดเมล็ดเสียเหล่านี้ออกก่อนการส่งผลผลิตเข้าโรงงาน เนื่องจากหากมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดเสียสูงจะทำให้เสียเวลาคัดเลือกออกและจะถูกหักราคาลง เมล็ดเสียนี้ยังอาจปะปนไปกับเมล็ดดีได้

เมล็ดเกรด 1 คือเมล็ดในที่ลอยน้ำ เนื่องจากเมื่อแมคคาเดเมียแก่เต็มที่จะมีปริมาณน้ำมันสูงกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ และความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำ วิธีทดสอบก็โดยการนำเอาเมล็ดไปอบให้แห้งจนเหลือความชื้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ แล้วกะเทาะเอาเนื้อในออกมานำไปแช่น้ำเปล่า เมล็ดที่ไม่แก่จะจมน้ำ

เมล็ดเนื้อในที่ยังไม่แก่ เมื่อนำไปอบหรือคั่วจะเกิดสีน้ำตาลดำ และเก็บไว้ไม่ได้นาน เมล็ดที่เก็บในช่วงต้นฤดูมักจะมีสัดส่วนของเมล็ดไม่แก่และเมล็ดเสียมากกว่า

มาตรฐานการซื้อขายเมล็ดทั้งกะลาของออสเตรเลียกำหนดให้เปอร์เซ็นต์เกรด 1 หมายถึงมีปริมาณเมล็ดที่ลอยน้ำมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดทั้งหมด

วิทยาการก่อนการเก็บเกี่ยวและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (2543) ได้กล่าวเกี่ยวกับการจัดการก่อนการเก็บเกี่ยวและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวไว้ดังนี้

1. วิทยาการก่อนการเก็บเกี่ยว

1.1 ในประเทศไทยพื้นที่ส่วนใหญ่ไม่สามารถใช้เครื่องจักรได้ต้องใช้แรงงานคนเก็บ ควรทำความสะอาดโคนต้น และเตรียมถุงหรือภาชนะสำหรับเก็บผล

1.2 เตรียมเครื่องมืออุปกรณ์การกะเทาะให้พร้อม

1.3 ทำความสะอาดโรงปฏิบัติงานและโรงเก็บเมล็ด

2. วิธีการเก็บเกี่ยว ผลแมคคาเดเมียเมื่อแก่จะร่วงลงพื้น จึงควรปฏิบัติดังนี้

2.1 ในพื้นที่ขนาดเล็กหรือพื้นที่ลาดเทไม่สะดวกต่อการใช้เครื่องจักรใช้คนเก็บผลที่ร่วง

2.2 ควรเก็บผลที่ร่วงบนพื้นดินทุก 3-4 วัน ขึ้นอยู่กับขนาดของสวน, ปริมาณของผล โดยเฉพาะฤดูฝนหรือถ้าผลแก่ในช่วงฤดูฝน ถ้าปล่อยทิ้งไว้นานเชื้อราอาจเข้าทำลาย หรือถ้าเป็นฤดูแล้งผลถูกแสงอาทิตย์โดยตรงนานๆ ผลจะแตกทำให้เนื้อในเหม็นหืนได้ (rancidity)

3. การเก็บเกี่ยว

3.1 พื้นที่ต่ำดอกออกเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม และเก็บเกี่ยวผลในช่วงปลายเดือนกรกฎาคม ถึงปลายเดือนสิงหาคม อายุเก็บเกี่ยว 6-7 เดือน

3.2 พื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล 1,000 เมตรขึ้นไป มีการออกดอก 2 ครั้งใหญ่ๆ ในรอบ 1 ปี ดังนี้

3.2.1 ชุดออกดอกเดือนสิงหาคมจะเก็บเกี่ยวประมาณเดือนเมษายนถึงเดือนกรกฎาคม อายุ เก็บเกี่ยว 7-10 เดือน

3.2.2 ชุดออกดอกเดือนธันวาคมจะเก็บเกี่ยวประมาณเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน อายุเก็บเกี่ยว 7-9 เดือน ขึ้นอยู่กับพันธุ์

4. ดัชนีการเก็บเกี่ยว

4.1 บนพื้นที่สูงระดับ 1,000 เมตรขึ้นไปจากระดับน้ำทะเล การพัฒนาของผลเป็นไปอย่างช้าๆ อายุการเก็บเกี่ยวจึงนานกว่าพื้นที่ต่ำกว่า 1,000 เมตรลงมา

4.2 ผลแมคคาเดเมียที่แก่จะร่วงจากต้นถ้ากะเทาะเปลือกเขียว (husk) ออกด้านในเปลือกเขียวจะเป็นกะลาสีน้ำตาล (shell)

4.3 ผลแมคคาเดเมียที่แก่เมื่อกะเทาะกะลาออก ชิมดูเนื้อในสีขาวจะมีรสมันไม่หวาน

5. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

ภายหลังจากการเก็บผลต้องดำเนินการดังนี้

5.1 การกะเทาะเปลือกนอก (dehusking)

5.1.1 ต้องรีบกะเทาะผลสด (nut in husk) ภายใน 24 ชั่วโมง ไม่ควรกองผลสดจำนวนมากเพราะจะเกิดความร้อนทำให้เนื้อในเสื่อมคุณภาพ

5.1.2 เมล็ด (nut in shell) หลังกะเทาะเปลือกเขียวออก เนื้อในมีความชื้นมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถกะเทาะกะลาออกทันทีต้องลดความชื้นโดยเก็บในโรงเรือนหรือภาชนะที่

อากาศถ่ายเทได้สะดวก เช่น ตะกร้าหรือถุงตาข่าย หรือวางเกลี่ยบางๆ บนพื้นที่อากาศถ่ายเทได้ หรือวางบนตะแกรงเป็นชั้นๆ และใช้พัดลมเป่า ไม่ควรวางซ้อนทับกันมากเกินไป

5.2 การคัดเมล็ด (sorting nut in shell)

5.2.1 เพื่อแยกเมล็ดเก่า และเมล็ดเสื่อมคุณภาพหรือถูกทำลาย

5.2.2 ควรใช้เครื่องคัดขนาดเมล็ด ถ้าเมล็ดมีเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า 1.8 เซนติเมตร ควรคัดแยกออกเพราะมีคุณภาพต่ำ

5.3 การทำแห้ง (drying)

5.3.1 ตากหรือผึ่งเมล็ดในพื้นที่มีลมพัดผ่านสะดวก ซึ่งปฏิบัติในระดับครัวเรือนจะลด ความชื้น โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและฤดูกาล

6. การเก็บรักษา

เมล็ดทั้งกะลา ถ้าลดความชื้นให้เหลือประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถเก็บไว้ได้นานถึง 1 เดือน เพื่อการกะเทาะหรือขาย และควรควบคุมและรักษาระบบการหมุนเวียนของอากาศ โดยหากเมล็ดมีไม่มากนักอาจเก็บโดยการเทเมล็ดบนชั้นลวดตาข่าย เกลี่ยเมล็ดหนา 10-25 เซนติเมตร ตั้งในที่ร่มที่มีการถ่ายเทอากาศดี อภิชัย และคณะ (2546) กล่าวว่าการทำแห้งแมคคาเดเมียเพื่อให้ได้ผลแมคคาเดเมียที่แห้งแต่ไม่ค่อยมีกลิ่นหืนทำได้โดยผึ่งลมที่อุณหภูมิห้อง 2 เดือน จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 38, 40 และ 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิละ 2 วันอย่างต่อเนื่อง เมล็ดจะระเหยความชื้นไปเรื่อยๆ และจะสามารถเก็บในลักษณะดังกล่าวไว้ได้นานถึง 6-12 เดือน ซึ่ง แตกต่างไปตามสภาพอากาศ และจำรอง (2538) ได้แนะนำว่า ควรลดความชื้นในเมล็ดลงให้เหลือไม่เกิน 3-5 เปอร์เซ็นต์ ก่อนจะนำไปกะเทาะกะลาต่อไป

เนื้อในหลังจากกะเทาะกะลาออกหากเก็บในถุงพลาสติกแบบสุญญากาศ ควรเก็บที่อุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส โดยสามารถเก็บได้นานเกิน 12 เดือน

7. การขนส่ง

เมล็ดทั้งกะลาถ้าขนส่งภายในประเทศ ใส่กระสอบตาข่ายไนล่อนโปร่งหรือลังพลาสติก และระยะทางขนส่งไม่เกิน 3 วัน

8. การกำหนดมาตรฐาน

ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่และฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยี (2541) กล่าวถึงคุณภาพมาตรฐานเมล็ดทั้งกะลาของแมคคาเดเมีย (standards for Hawaii grown in shell Macadamia nuts) มีดังต่อไปนี้

8.1 ลักษณะตรงตามพันธุ์

8.2 เส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 7/8 นิ้ว

8.3 ปราศจากแมลงและสิ่งปลอมปน

8.4 เมล็ดสะอาดและแห้ง

8.5 เมล็ดปราศจากความเสียหายจากการทำลายของหนู ไม่มีเปลือกนอกติด ไม่มีกะลาแตก ไม่เป็นรูหรือรอยเจาะ มีเชื้อราและอื่นๆ

8.6 ด้านในของเนื้อในมีการพัฒนาดี ปราศจากเชื้อรา การแตก การทำลายของหนู ไม่มีกลิ่นเหม็นหรือรสชาติที่เกิดจากสาเหตุอื่นๆ และแมลงทำลาย

8.7 เนื้อในปราศจากความเสียหายจากการทำลายของแมลง รอยด่างหรือจากสิ่งอื่นๆ

8.8 ความชื้นเฉลี่ยไม่เกิน 3 % โดยน้ำหนัก

ประเทืองศรี (2532) กล่าวว่าข้อมูลทางด้านคุณค่าทางโภชนาการและองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดแมคคาเดเมียแสดงดังตาราง 1 และสมบัติและชนิดของกรดไขมันในน้ำมันที่สกัดจากเนื้อในเมล็ดของแมคคาเดเมียแสดงดังตาราง 2

ตาราง 1 คุณค่าทางอาหารของเนื้อในเมล็ดแมคคาเดเมีย

คุณค่าทางอาหาร	ปริมาณ (%)
ความชื้น	1-3
ไขมัน	71-78
โปรตีน	8-10
เส้นใย	2-3
เถ้า	1-2
คาร์โบไฮเดรต	10-11
วิตามินอี (มิลลิกรัม/100 กรัม)	4.8-5.4

ที่มา : ประเทืองศรี (2532)

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเนื้อในเมล็ดแมคคาเดเมีย พบว่าเนื้อในของเมล็ดแมคคาเดเมียมีคุณค่าทางอาหารสูง อุดมไปด้วยสารที่ให้ปริมาณแคลอรีสูง โดยเฉพาะมีปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูง นอกจากนี้ในเมล็ดยังประกอบด้วยแร่ธาตุอาหารและวิตามินที่จำเป็นต่อร่างกาย

ตาราง 2 สมบัติและชนิดของกรดไขมันในน้ำมันที่สกัดจากเนื้อในเมล็ดแมคคาเดเมียเปรียบเทียบกับน้ำมันมะพร้าว

รายการ	น้ำมันแมคคาเดเมีย	น้ำมันมะพร้าว
ค่าความเป็นกรด (mg KOH/oil 1 g)	0.4-3	0.2-12
ค่าไอโอดีน (g iodine/ oil 100 g)	74	7-14
ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด (%)	12.9	91.3
ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมด (%)	87.1	8.7
กรดลอริก (%)	1.2	50.1
กรดไมริสติค (%)	0.5	15.2
กรดปาล์มิติค (%)	8.4	7.3
กรดสเตียริค (%)	2.8	2
กรดปาล์มิโตเลอิค (%)	15.6	-
กรดโอเลอิค (%)	62.8	6.3
กรดลิโนเลอิค (%)	3.5	1.4
กรดลิโนเลนิค (%)	5.2	1.0

ที่มา : Addison (2005)

เมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านการกะเทาะเปลือกแล้ว หากเกิดการแตกหัก หรือผลเล็ก รูปร่างไม่ดีอาจนำมาทำผลิตภัณฑ์อาหารอื่นเช่น ผสมในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ทำเนยถั่วแมคคาเดเมียหรืออาจจะนำมาทำการสกัดน้ำมัน และนำน้ำมันที่ได้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นต้น (Rosenthal et al.,1984)

ไขมัน หรือลิปิด (lipid)

ประหยัด (2542) ได้กล่าวว่า ไขมัน หรือลิปิด เป็นชีวโมเลกุลที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตทุกระดับ มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับโปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรตประเภทโพลีแซคคาไรด์ โครงสร้างทางเคมีของลิปิดค่อนข้างหลากหลาย แต่มีสิ่งที่เหมือนกันคือจะมีส่วนของโครงสร้างที่เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้วซึ่งจะแสดงคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ และมีผลที่สามารถทำให้ละลายได้ดีในตัวทำละลาย

อินทรีย์ ลิปิดทำหน้าที่หลากหลายในสิ่งมีชีวิต เช่น เป็นแหล่งสะสมพลังงาน เป็นโครงสร้างของเยื่อเซลล์ และทำหน้าที่เฉพาะอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการมีชีวิต

ลักษณะเฉพาะของไขมัน

สรรเสริญ (2531) กล่าวว่า ไขมันมีลักษณะเฉพาะหลายประการที่เป็นลักษณะพิเศษ เช่น มีความหลากหลายในด้านสถานะ จุดหลอมเหลว กลิ่น รส และการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ เนื่องจากชนิดและขนาดของกรดไขมันองค์ประกอบที่แตกต่างกันไป ลักษณะดังกล่าวอาจสรุปได้ดังนี้

1. ความแข็ง (hardness)

กรณีที่ไขมันมีกรดไขมันองค์ประกอบชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ และกรณีที่กรดไขมันอิ่มตัวแต่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 อะตอมลงมาจะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ดังนั้นจะมีสถานะเป็นของเหลว ส่วนไขมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวแต่มีคาร์บอนมากกว่า 10 อะตอมขึ้นไปจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าอุณหภูมิห้องและมีสถานะเป็นของแข็ง

เนื่องจากไขมันในธรรมชาติประกอบด้วยไขมันหลายชนิด และแต่ละชนิดก็ประกอบด้วยกรดไขมันต่างชนิดกัน จึงทำให้ไขมันแต่ละชนิดมีสถานะและลักษณะที่แตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบนั่นเอง

2. การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (oxidation)

กรดไขมันที่มีพันธะคู่ที่ได้สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศจะถูกออกซิไดซ์บริเวณพันธะคู่และเกิดอนุพันธ์อิสระ ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่จนกระทั่งได้สารประกอบคาร์บอนิล อัลดีไฮด์และคีโตน ซึ่งทำให้ไขมันมีกลิ่นรสที่เปลี่ยนแปลงไป ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันมีกลไกดังสมการ

Initiation

$$RH + O_2 \longrightarrow R^{\cdot}, ROO$$

Propagation

$$R + O_2 \longrightarrow ROO^{\cdot}$$

$$ROO^{\cdot} + RH \longrightarrow R + ROOH$$

Termination

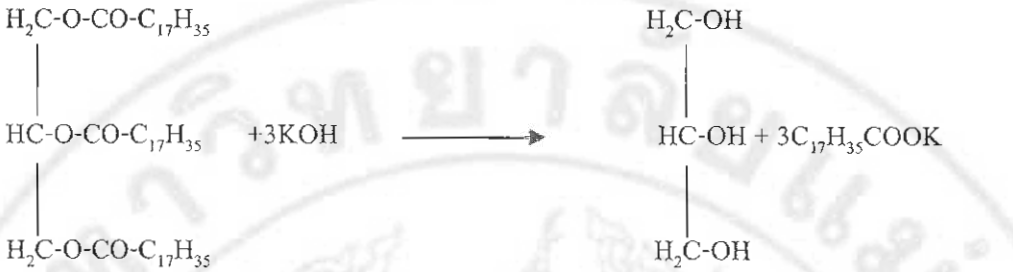
$$R^{\cdot} + R^{\cdot} \longrightarrow \text{Stable end products}$$

$$R + OO \longrightarrow \text{Stable end products}$$

$$ROO + ROO^{\cdot} \longrightarrow \text{Stable end products}$$

3. สปอนนิฟิเคชั่น (saponification)

สรรเสริญ (2531) กล่าวว่า หมายถึง ปฏิกิริยาการแยกสลายสารเอสเทอร์ของกรดไขมันโดยใช้น้ำและด่าง ปฏิกิริยาการเกิดสปอนนิฟิเคชั่น แสดงได้ดังนี้



Stearin Glycerol + Potassium Stearate (soap)

กรรมวิธีการสกัดน้ำมัน

กองบริการอุตสาหกรรม (2535) ได้อธิบายถึงกรรมวิธีการสกัดน้ำมัน ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก ๆ ดังต่อไปนี้ คือ

1. การเตรียมวัตถุดิบ (pretreatment)

ปกติวัตถุดิบที่ส่งเข้าโรงงานมักมีสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ปนมาด้วยเสมอ สิ่งแปลกปลอมเป็นพวกดิน ฝุ่น สิ่งเหล่านี้จำเป็นต้องกำจัดออกไปเสียก่อนโดยการดูดฝุ่น แยกก้อนอิฐ ดิน และวัตถุอื่นๆ อาจใช้ตะแกรงร่อนเพื่อแยกสิ่งที่ไม่ต้องการออก เมื่อผ่านกระบวนการขั้นแรกแล้วก็เข้าสู่การบดเพื่อให้วัตถุดิบละเอียดพอเหมาะเพื่อประสิทธิภาพในการบีบอัดที่ดียิ่งขึ้น

2. การบด (grounding and flaking)

จุดประสงค์ของการบดก็เพื่อทำให้น้ำมันออกจากเมล็ดง่ายขึ้น เพราะน้ำมันที่อยู่ในเมล็ดถูกห่อหุ้มด้วยผนังเซลล์ในเมล็ด การบดทำให้ผนังเซลล์แตกออก เมล็ดที่บดแล้วเมื่อถูกอัดด้วยความดันสูงจะทำให้น้ำมันไหลออกง่าย การบดยิ่งละเอียดเท่าไรยิ่งมีผลดีมากขึ้น แต่ถ้าจะนำกากที่ได้ไปสกัดด้วยตัวทำละลาย การบดให้ละเอียดมากๆ อาจทำให้เกิดปัญหากากจะไปอุดทางเดินของสารละลาย ทำให้การกรองแยกสารละลายออกจากกันได้ยาก ดังนั้นจึงต้องบดให้ละเอียดพอประมาณ แล้วรีดหรืออัดให้เป็นแผ่นบางๆ

3. การนึ่ง (cooking)

การนึ่งเป็นการให้ความร้อนและความชื้นกับเมล็ดพืชที่บดแล้ว เพื่อให้ความหนืดของน้ำมันในเมล็ดลดลง ทำให้น้ำมันไหลออกมาจากผนังเซลล์ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ผนังเซลล์

ตกตะกอนและยอมให้น้ำมันไหลผ่านผนังเซลล์ออกมาได้ การตกตะกอนของโปรตีนจะเกิดขึ้นต่อเมื่อได้รับความร้อน และมีความชื้นอยู่ด้วยเท่านั้น ดังนั้นการนึ่งจึงมีองค์ประกอบที่ควรพิจารณา คือ เวลา อุณหภูมิ ความชื้นของเมล็ด และเครื่องมือที่ใช้อัดน้ำมัน เช่น การนึ่งเมล็ดแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 และสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 ก่อนนำมาทำการสกัดน้ำมันจะใช้อุณหภูมิในการนึ่งที่ 95-98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที และการนึ่งเมล็ดแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 ที่ 95-98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 นาที (อรดา, 2546) ทั้งนี้ความร้อนจะทำให้เมล็ดมีลักษณะยืดหยุ่นได้ซึ่งมีผลดีต่อการอัด ดังนั้นจะเห็นว่าการนึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อการสกัดน้ำมันโดยวิธีการบีบอัด

4. การสกัดน้ำมันโดยวิธีการบีบอัด (mechanical pressure)

ปัจจุบันกรรมวิธีสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชที่มีปริมาณน้ำมันสูงนิยมใช้วิธีบีบอัดร่วมกับการใช้ตัวทำละลายสกัดไขมัน สำหรับเครื่องอัดและเครื่องสกัดที่ใช้ตัวทำละลายจะมีลักษณะและราคาแตกต่างกันตามความเหมาะสมกับชนิดของเมล็ดพืชแต่ละอย่างที่นำมาสกัด ซึ่งจำแนกได้ดังนี้

เครื่องอัดน้ำมันที่ใช้ในอุตสาหกรรมมี 3 แบบ คือ

4.1 แบบไฮดรอลิก

เครื่องอัดแบบไฮดรอลิกไม่ค่อยนิยมใช้เพราะหลังการอัดแต่ละครั้งต้องเอากากออก ทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง

4.2 แบบสกรู (expeller)

เครื่องอัดแบบสกรูเป็นที่นิยมมากเพราะกากและน้ำมันออกติดต่อกันไปสามารถป้อนเมล็ดพืชเข้าเครื่องได้ตลอดเวลา กากที่ได้จากเครื่องอัดชนิดนี้มีน้ำมันเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้นคือ ประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วของการหมุนสกรู

4.3 แบบปั่นเหวี่ยง (centrifuge)

เครื่องอัดน้ำมันแบบปั่นเหวี่ยงส่วนใหญ่ใช้แยกน้ำมันออกจากผลปาล์ม วิธีการบีบอัดแบบนี้นิยมใช้กับเมล็ดพืชที่มีปริมาณน้ำมันสูง จากการศึกษาในเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านมาพบว่าประกอบไปด้วยน้ำมันถึงร้อยละ 71-78 โดยแรงกดที่กระทำต่อเนื้อเยื่อของเมล็ดพืชจะทำให้ผนังเซลล์แตกและบีบแยกเอาน้ำมันออกมา หลังจากนั้นนำมาหาปริมาณน้ำมันที่ได้จากการบีบอัด (%yield) น้ำมันที่ได้จะมีคุณภาพดีและคงสภาพเช่นเดียวกับเมื่ออยู่ในเมล็ด และไม่มีปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นกับไขมันและน้ำมัน หลังจากนั้นก็จะนำน้ำมันที่ได้ไปผ่านกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์แล้วทำการหาปริมาณของน้ำมันบริสุทธิ์อีกครั้ง โดยกรรมวิธีการบีบอัดน้ำมันนี้อาจจะไม่สามารถสกัดน้ำมันออกมาได้หมด และยังคงเหลือตกค้างอยู่ในกากถึงร้อยละ 5-7 ดังนั้นในกระบวนการทางอุตสาหกรรมจึงนิยมนำกากที่เหลือจากการบีบอัดไปผ่านกรรมวิธีการสกัดด้วย

ตัวทำละลายเพื่อที่จะสามารถนำปริมาณน้ำมันที่เหลือออกมาให้เหลือตกค้างภายในกากเพียงร้อยละ 0.5-0.8

5. การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent extraction)

การสกัดไขมันหรือน้ำมันออกจากวัตถุดิบด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก ใช้สกัดน้ำมันออกจากเมล็ดพืชที่มีปริมาณน้ำมันไม่สูงมาก หรือสกัดจากวัตถุดิบที่ผ่านการบีบอัดน้ำมัน ส่วนตัวทำละลายที่ใช้จะต้องไม่เป็นพิษต่อร่างกายมีจุดเดือดค่อนข้างต่ำ โดยจะใช้ตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพการละลายน้ำมันได้ดี ทำการระเหยออกจากน้ำมันได้ง่ายและราคาถูก

ลักขณา และอรทัย (2542) ได้กล่าวถึงข้อดีและข้อเสียของการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายไว้ดังนี้

ข้อดีของการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย

1. ได้ผลผลิตสูงกว่าวิธีสกัดแบบอื่น
2. ทำให้ได้กากที่ปราศจากไขมัน
3. สามารถสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดพืชที่มีปริมาณน้ำมันไม่สูงมากนักได้

ข้อเสียของการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย

1. ตัวทำละลายที่ใช้ติดไฟง่าย
2. เครื่องมือที่ใช้ในการสกัดมีราคาสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ

นิธิยา (2544) ได้กล่าวถึงองค์ประกอบของประสิทธิภาพการสกัดไว้ดังนี้ คือ

1. ปริมาณของตัวทำละลาย

ตัวทำละลายปริมาณมากย่อมสกัดน้ำมันออกมาได้มาก แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องใช้เวลาตลอดจนเครื่องมือในการแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมันมากขึ้นด้วย ปริมาณการสูญเสียตัวทำละลายที่ระเหยออกไปก็สูงขึ้น ดังนั้นปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ต้องพอเหมาะ

2. ชนิดของตัวทำละลาย

การเลือกตัวทำละลายต้องเลือกใช้ให้เหมาะกับชนิดของเมล็ดพืช โดยทั่วไปโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบันนิยมใช้ตัวทำละลายเฮกเซน (hexane) เพราะมีความเหมาะสมหลายประการ เช่น มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดี มีจุดเดือดประมาณ 140 องศาเซลเซียส และมีราคาถูกกว่าตัวทำละลายอื่นๆ

3. อุณหภูมิของตัวทำละลาย

ก่อนการแช่เมล็ดพืชด้วยตัวทำละลาย จำเป็นต้องอุ่นตัวทำละลายให้ร้อนเสียก่อน ความร้อนจะทำให้น้ำมันสามารถละลายในตัวทำละลายได้มากขึ้นทั้งนี้พบว่าอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะกับเมล็ดพืชเกือบทุกชนิด

4. ความหนาของแผ่นเมล็ดพืช (flake thickness)

เมล็ดพืชที่ถูกบีบให้แตกและอัดเป็นแผ่นแล้ว สามารถทำให้ตัวทำละลายซึมแทรกได้อย่างทั่วถึงแต่ต้องควบคุมความหนาและความแน่นของแผ่น ถ้าเมล็ดพืชถูกบดให้ละเอียดเกินไป จะอัดแน่นทำให้ตัวทำละลายผ่านเข้าไปไม่สะดวก

5. ความชื้นของเมล็ดพืช และตัวทำละลาย

ปกติความชื้นของเมล็ดพืชไม่ควรเกินร้อยละ 10 และตัวทำละลายต้องไม่มีน้ำผสมอยู่มิฉะนั้นจะสกัดน้ำมันออกจากพืชไม่ได้

6. เวลาที่ใช้ในการสกัด

การละลายน้ำมันออกจากเมล็ดพืชให้ได้ผลดีต้องใช้เวลานานพอสมควร โดยทั่วไปวิธีสกัดแบบกะจะใช้เวลาประมาณหนึ่งชั่วโมงครึ่งถึงสองชั่วโมง

ประเสริฐ (2528) ได้กล่าวถึงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันและไขมันไว้ ดังนี้

1. ไขมันที่บริสุทธิ์จะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และเป็นกลาง แต่น้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว เมื่อตั้งทิ้งไว้ถ้าถูกอากาศนานๆ อาจมีกลิ่นหืนและเป็นสีเหลือง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (oxidation) กับออกซิเจนในอากาศ

2. ไขมันทั่วไปมักมีจุดหลอมเหลวไม่สูงมากนัก แต่มีจุดเดือดค่อนข้างสูง โดยทั่วไปแล้วน้ำมันมักมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ และน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าน้ำมันที่ประกอบไปด้วยกรดไขมันอิ่มตัว เมื่อมีจำนวนคาร์บอนเท่ากัน

3. ไขมันทั่วไปมีขนาดใหญ่และไม่มีขั้วจึงไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น คลอโรฟอร์ม เฮกเซน ปิโตรเลียมอีเธอร์ เบนซีน เป็นต้น

4. ไขมันและน้ำมันมีความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ โดยไขมันมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.86 ส่วนไขมันเหลว (น้ำมัน) มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.92-0.94

ซึ่งคุณภาพของน้ำมันดังกล่าวไว้ในมาตรฐาน CODEX ดังตาราง 3 คือ

ตาราง 3 ค่าดัชนีประเมินคุณภาพน้ำมันดิบเพื่อการบริโภคตามมาตรฐาน CODEX

ค่าดัชนี	มาตรฐาน
1.ปริมาณเหล็ก (mg /kg)	5.0
2.ปริมาณทองแดง (mg /kg)	0.4
3.ค่าเปอร์ออกไซด์ (Milliequiv./oil 1 kg)	≤15
4.ค่าความเป็นกรด (mg KOH/oil 1 g)	4.0
4.ค่าสปอนนิฟิเคชั่น (mg KOH/oil 1 g)	ค่าเฉพาะ
5.สารสปอนนิฟายไม่ได้ (% by weight)	ค่าเฉพาะ
6.ค่าไอโอดีน (g iodine/oil 100 g)	ค่าเฉพาะ
7.ค่าสี (Hunter unit)	ค่าเฉพาะ
8.ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (ไม่มีหน่วย)	ค่าเฉพาะ

ที่มา : FAO (2001)

การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์

นิธิยา (2529) กล่าวว่าไขมันและน้ำมันที่สกัดออกมาจากแหล่งน้ำมันจะมีสารประกอบชนิดอื่นเจือปนมาด้วย ซึ่งสารต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของไขมันและน้ำมัน สารเจือปนบางชนิดมีสมบัติคล้ายไขมันและน้ำมัน ได้แก่ ฟอสฟอลิปิด สารประกอบเชิงซ้อนของไขมันและโปรตีน (fat-protein complex) กลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูง เม็ดสี กรดไขมันอิสระ และสารที่ให้กลิ่นต่าง ๆ เช่นอัลดีไฮด์ คีโตน และไฮโดรคาร์บอน

น้ำมันเหล่านี้หากบริโภคโดยไม่ผ่านการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ อาจเป็นอันตรายต่อร่างกายได้ และน้ำมันที่ใช้ตัวทำละลายสกัดออกมา อาจมีตัวทำละลายเหลือตกค้างอยู่ในน้ำมันที่ผลิตออกมาได้ ดังนั้นในการใช้อุณหภูมิสูงเพื่อไล่ตัวทำละลายออกมาให้หมด อาจทำให้น้ำมันได้รับความร้อนสูงจนเกินไปจนเกิดการสลายตัวเป็นสารประกอบอื่นๆ ที่ไม่พึงประสงค์ได้ซึ่งสารต่างๆ เหล่านี้จำเป็นต้องกำจัดออกให้หมด

สารไม่บริสุทธิ์ (impurities) ต่าง ๆ ที่ต้องกำจัดออกมีดังนี้

1. สารที่ไม่ละลายในไขมัน
2. สิ่งที่เป็นสารแขวนลอย ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมัน

3. สารที่ละลายในไขมัน

การกำจัดสารที่ไม่ละลายในไขมันได้แก่ เมล็ด หรือเส้นใย หรือเนื้อเยื่อ เมือกต่างๆ เศษผ้าที่ใช้กรอง ฝุ่นละออง แร่ธาตุต่างๆ ความชื้น ทำได้โดยวิธีการทางกล เช่น การตกตะกอน หรือการเซนตริฟิวส์

สารแขวนลอยต่างๆ ส่วนใหญ่เป็นฟอสฟาไทด์ สารประกอบอินทรีย์จำพวกคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และสารประกอบเชิงซ้อน สำหรับการกำจัดก็โดยการทำปฏิกิริยากับไอน้ำ น้ำ อิเล็กโตรไลท์และตามด้วยการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน การปั่นเหวี่ยงหรือการกรอง เพื่อกำจัดพวกตะกอน

สารที่ละลายในไขมัน ได้แก่ กรดไขมันอิสระ โมโนและไดกลีเซอไรด์ สารสีต่างๆ เช่น แคโรทีน คลอโรฟิลล์ คีโตน อัลดีไฮด์ สเตอรอล ไฮโดรคาร์บอน เรซิน

ดังนั้นการทำให้ไขมันบริสุทธิ์จึงประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. การกำจัดกัมหรือสารเหนียว (degumming) สารเหนียวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งมีรูปแบบโมเลกุลที่หลากหลาย ในโมเลกุลแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ละลายในน้ำและกลุ่มที่ไม่ละลายในน้ำเนื่องจากสารเหนียวนี้มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) และบางตัวสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะพวกแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และทองแดงได้ โลหะเหล่านี้ทำให้ความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของน้ำมันลดลง นอกจากนี้เมื่อถูกความร้อนน้ำมันจะเปลี่ยนเป็นสีที่เข้มขึ้นและกลายเป็นน้ำมันที่คุณภาพต่ำลง (Hamilton, 1980) ดังนั้นจึงต้องกำจัดสารเหนียวเหล่านี้ออกไปโดยใช้น้ำ หรือสารละลายของกรด คือกรดฟอสฟอริคหรือเกลือของกรด ในปริมาณร้อยละ 2-3 ของปริมาณน้ำมัน เช่น ใช้สารละลายน้ำเกลือ หรือไพโรฟอสเฟตล้างเอาสารเหนียวออกที่อุณหภูมิประมาณ 30-50 องศาเซลเซียส ซึ่งนิธิยา (2529) ได้กล่าวไว้ว่าในการทดลองกำจัดสารเหนียวโดยวิธีต่อเนื่อง น้ำมันจะถูกทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส แล้วจึงเติมน้ำลงไปผสมกับน้ำมันนาน 15-30 นาที หลังจากนั้นแยกเอาสารเหนียวที่เกิดไฮเดรชั่นออกโดยการเหวี่ยงให้ตกตะกอน กระบวนการกำจัดสารเหนียวนี้อาจทำพร้อมกันกับขั้นตอนการแยกกรดไขมันอิสระในการทำน้ำมันให้เป็นกลางด้วยด่างก็ได้ เนื่องจากในระบบที่มีด่างอยู่ด้วยจะช่วยให้สารเหนียวละลายในน้ำได้ดีขึ้น (Pigott, 1967)

2. การสะเทินกรด (neutralization) คือการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดโดยให้ทำปฏิกิริยากับด่างที่อุณหภูมิที่เหมาะสม ซึ่งส่วนมากจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้ได้สบู่ซึ่งกำจัดออกได้โดยการเหวี่ยงแยก (Pigott, 1967)

ปริมาณด่างที่ใช้ในการกำจัดกรดนี้ จะพิจารณาจากค่าปริมาณกรดไขมันอิสระที่วิเคราะห์ได้จากน้ำมันดิบโดยสามารถหาได้จากปริมาณด่างที่จำเป็นในการทำให้เป็นกลาง ซึ่งทุกๆ ร้อยละ 1

ของกรดไขมันอิสระที่วิเคราะห์ได้จะต้องการด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.18 ปอนด์ต่อน้ำมันหนัก 1 ตัน และควรเผื่อด่างที่ใช้อีกปริมาณร้อยละ 1-10 (Johnson, 1998)

การใช้ด่างในปริมาณที่มากเกินไป อาจจะไฮโดรไลซ์ไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ทำให้ได้กรดไขมันอิสระ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับด่างได้สบู่มากขึ้นทำให้สูญเสียน้ำมันบางส่วนไปได้ (นิธิยา, 2529) วิธีทำให้เป็นกลางด้วยด่างที่ทำกันอาจแตกต่างไปตามปัจจัยที่แตกต่างกัน เช่น ชนิดของน้ำมัน ค่าความเป็นกรด เป็นต้น นิธิยา (2529) ได้อธิบายถึงกระบวนการทำให้เป็นกลางว่าอาจใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 10-15 พ่นลงบนน้ำมันที่มีอุณหภูมิ 25.9-29.4 องศาเซลเซียส ซึ่งกวนตลอดเวลา แล้วเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 54.4-85 องศาเซลเซียส ด่างจะทำปฏิกิริยากรดไขมันอิสระในน้ำมันได้สบู่

3. การฟอกสี (bleaching) : การฟอกสีเป็นการแยกสารให้สีซึ่งเป็นพวกรงควัตถุที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง รวมทั้งสารแขวนลอย สบู่ โลหะหนัก สารประกอบพวกกำมะถัน สารพวกอัลดีไฮด์หรือคีโตนที่เกิดจากการสลายตัวของสารเปอร์ออกไซด์ที่ยังคงหลงเหลืออยู่ในน้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีที่ทำให้เป็นกลางด้วยด่างโดยใช้สารฟอกสี (bleaching agent) (Hamilton, 1980)

สารฟอกสีที่นิยมใช้กันได้แก่ ดินฟอกสีที่เป็นกลาง ดินฟอกสีที่เป็นกรด (Hamilton, 1980) และถ่านฟอกสีที่เป็นกรด (Pigott, 1967) เป็นต้น

สารฟอกสีที่ดีควรมีการดูดซับที่ดี มีเวลาที่ใช้ในการดูดซับต่ำ มีประสิทธิภาพการกรองที่ดี และราคาไม่แพง (Hamilton, 1980)

วิธีการฟอกสีโดยทั่วไปจะปรับให้น้ำมันมีอุณหภูมิในช่วง 71.1-82.2 องศาเซลเซียส ก่อนการเติมสารฟอกสีลงไป หลังจากนั้นเร่งอุณหภูมิให้สูงขึ้นถึง 104.4-115.6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20-30 นาที จึงกรองแยกเอาสารฟอกสีออกไป (นิธิยา, 2529) ส่วน Pigott (1967) กล่าวว่าการฟอกสีภายใต้สุญญากาศ (ความดัน 15 มิลลิเมตรปรอท) ใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และกรณีที่ไม่มีระบบสุญญากาศใช้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 99-110 องศาเซลเซียส กวนเป็นเวลา 30 นาที และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โดยสุมาลัย และคณะ (2535) กล่าวว่าการทดลองฟอกสีน้ำมันปลาทูน่าได้ใช้ดินฟอกสีชนิด Gallon's Earth , V_2 ร้อยละ 3 ของน้ำหนักน้ำมัน และใช้อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส ความดัน 10 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 15 นาที

4. การกำจัดกลิ่น (deodorization) : เป็นการแยกสารระเหยที่เป็นสาเหตุของกลิ่นและรสชาติออกโดยใช้ไอน้ำยิ่งยวด (อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส) ภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อช่วยให้กรดไขมันอิสระลดลงเหลือร้อยละ 0.02-0.04 นอกจากนี้การกำจัดกลิ่นยังช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านสีของน้ำมันได้โดยการทำให้รงควัตถุบางชนิดสลายตัวด้วยความร้อน สารให้กลิ่นใน

น้ำมันได้แก่ สารพวกอัลดีไฮด์ คีโตน และกรดไขมันที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่ากรดไมริสติก (C14) ซึ่งระเหยง่าย (Chang, 1967)

ปริมาณไอน้ำ และเวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำมันแต่ละชุด และขนาดของสุญญากาศที่ใช้ โดยทั่วไปมักใช้สุญญากาศที่ความดัน 6-8 มิลลิเมตรปรอท ใช้ไอน้ำร้อยละ 2-3 ของน้ำหนักน้ำมัน ใช้เวลาประมาณ 2-5 ชั่วโมง (Chang, 1967)

สิ่งที่ควรระมัดระวังในการกำจัดกลิ่นคือการทำให้น้ำมันได้รับความร้อนที่ระดับ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานเกินไปอาจทำให้สายโซ่คาร์บอนของกรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์เกิดเป็นโพลิเมอร์ชนิดวงแหวน ดังนั้นการใช้อุณหภูมิไอน้ำในการกำจัดกลิ่นที่ควรเลือกใช้คือใช้อุณหภูมิสูงและเวลาที่สั้น โดยอุณหภูมิสูงที่สุดที่ใช้ไม่ควรเกิน 250 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่ความร้อนระดับนี้อาจทำลายแคโรทีนอยด์ในน้ำมันได้ (Hamilton, 1980)

5. การกำจัดพวกกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูง (winterization) : เป็นกระบวนการที่ทำให้ไขมันและน้ำมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงเกิดการแข็งตัวตกผลึกแยกออกมา เนื่องจากไขมันและน้ำมันประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์หลายๆ ชนิดรวมกัน บางชนิดมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูง และบางชนิดก็มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อลดอุณหภูมิถึง 5 องศาเซลเซียส พวกที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะเกิดการแข็งตัวเป็นผลึกที่กรองออกได้ ทำได้โดยการนำน้ำมันใส่ในภาชนะที่มีขนาดใหญ่แล้วเก็บไว้ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิตู้เย็นเล็กน้อย น้ำมันหลังจากทำ winterization มีโอกาสเกิด oxidative rancidity ได้ง่าย ควรมีการเติมสารต้านออกซิเดชั่น (Chang, 1967)

น้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีการทำให้บริสุทธิ์ ควรมีมาตรฐานตามที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดดังตาราง 4

ตาราง 4 ค่าดัชนีประเมินคุณภาพน้ำมันผ่านกรรมวิธีเพื่อการบริโภคตามมาตรฐาน ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ค่าดัชนี	หน่วยของผลวิเคราะห์	มาตรฐาน
1. ค่าความเป็นกรดในน้ำมันผ่านกรรมวิธี	mg KOH/oil 1 g	≤0.6
2. น้ำและสารระเหยได้ที่ 105 องศาเซลเซียส	% by weight	≤0.2
3. ค่าเปอร์ออกไซด์	Milliequiv./oil 1 kg	≤10
4. ค่าสปอนนิฟิเคชั่น	mg KOH/oil 1 g	ค่าเฉพาะ
5. สารสปอนนิฟายไม่ได้	% by weight	ค่าเฉพาะ
6. ค่าไอโอดีน	g iodine/oil 100 g	ค่าเฉพาะ
7. ค่าสี	Hunter unit	ค่าเฉพาะ
8. ความหนาแน่นสัมพัทธ์	-	ค่าเฉพาะ

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2516)

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. วัตถุดิบ

1.1 แมคคาเดเมียจำนวน 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 (HAES 660) พันธุ์เชียงใหม่ 700 (HAES 741) และพันธุ์เชียงใหม่ 1,000 (HAES 508) ที่เก็บเกี่ยวจากไร่ทดลองของสถานีทดลองเกษตรที่สูงวาวี บ้านดอยช้าง อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย โดยเป็นแมคคาเดเมียที่เก็บเกี่ยวในฤดูเก็บเกี่ยวปี พ.ศ. 2547

2. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

2.1 สารละลายเฮกเซน (A.R. grade : Univar , Australia)

2.2 สารละลายคลอโรฟอร์ม (A.R. grade : Merck, Germany)

2.3 กรดซัลฟิวริก (A.R. grade: Merck, Germany)

2.4 โพแทสเซียมซัลเฟต (A.R. grade: Carloerba, Germany)

2.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade: Merck, Germany)

2.6 สารละลายเมธิลเรด (A.R. grade: Labchem, Australia)

2.7 สารละลายแอลกอฮอล์ (A.R. grade: Merck, Germany)

2.8 สารละลายกรดเกลือ (A.R. grade: J.T. Baker, USA)

2.9 กรดอะซิติก (A.R. grade: Merck, Germany)

2.10 สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ (A.R. grade: Unilab, Australia)

2.11 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (A.R. grade: Univar, Australia)

2.12 น้ำแป้ง (A.R. grade: Famitalia, Germany)

2.13 สารละลายฟีนอฟธาลีน (A.R. grade: Univar, Australia)

2.14 สารละลายไดเอธิลอีเธอร์ (A.R. grade: Labscan, Ireland)

2.15 สารละลายมาตรฐานเหล็ก (A.R. grade: M and B Ltd., England)

2.16 ถ่านฟอกสี (commercial grade)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดน้ำมัน

1.1 เครื่องบีบอัดน้ำมัน MJU SS-2

1.2 ตู้อบแห้ง (hot air oven: Termacks Series TS 8000, Norway)

1.3 กรวยแยกขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร

1.4 กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร

1.5 ไมโครปิเปต

1.6 บีกเกอร์ขนาด 100, 150, 250, 600 และ 1,000 มิลลิลิตร

1.7 อ่างระเหย (water bath: Polyscience, USA)

1.8 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance: Sartorius , Germany)

1.9 เตาไฟฟ้าให้ความร้อน (heating mantle: Ikaworks, Malaysia)

1.10 ชุดกลั่นแยกสาร

1.11 ขวดแก้วสีชา

1.12 เตาแม่เหล็กสำหรับผสมและให้ความร้อน (magnetic stirrer and heater: Ikaworks, Malaysia)

1.13 เทอร์โมมิเตอร์

1.14 เครื่องเหวี่ยงแยก (centrifuge: Sorvall rc-plus, USA)

1.15 กระดาษกรอง เบอร์1 (filtter paper:Whatman No.1, England)

1.16 ผ้าขาวบาง

1.17 ถ้วยครูซิเบิ้ล

1.18 หม้อนึ่งให้ความร้อน

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

2.1 ตู้อบเครื่องแก้ว (hot air oven: Termacks Series TS 8000, Norway)

2.2 เครื่องวัดสี (colorimeter: Tri-stimulus model JC 801, Japan)

2.3 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxtech: Tecator Series 1043, Sweden)

2.4 เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance: Sartorius, Germany)

2.5 ชุดเครื่องแก้วสำหรับไตเตรท

2.6 เครื่องวัดค่าความขุ่น (turbidimeter: Hach model 2001, USA)

2.7 กระจกนาฬิกา

2.8 ขวดหาค่าความถ่วงจำเพาะ

2.9 ชุดกลั่นแบบรีฟลักซ์

2.10 กรวยแยก

2.11 เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณไฟเบอร์ (Fibertech: Foss, Sweden)

2.12 เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (Kjeldahl nitrogen: Foss, Sweden)

2.13 เตาเผาเถ้า (Thermal engineer: Carbolite, England)

3. เครื่องประมวลผลข้อมูล

3.1 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

3.2 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 10.0

3.3 โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel

วิธีการทดลอง

1. การวิเคราะห์หาองค์ประกอบพื้นฐานของเมล็ดแมคคาเดเมีย

นำเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 (HAES 660) พันธุ์เชียงใหม่ 700 (HAES 741) และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 (HAES 508) ที่ผ่านการลดความชื้นให้เหมาะสมแก่การเก็บรักษาเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นปรับอุณหภูมิขึ้นเป็น 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และปรับอุณหภูมิขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ต่อเนื่องกัน (อภิชัย และคณะ, 2546) หลังจากนั้นกะเทาะส่วนที่เป็นกะลาออก แล้วนำส่วนเนื้อในไปเก็บรักษาไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ปิดผนึกถุงให้เป็นระบบสุญญากาศแล้วเก็บไว้ในตู้เย็นหากยังไม่ได้วิเคราะห์คุณภาพทันที นำเมล็ดแมคคาเดเมียทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบพื้นฐานของเมล็ดแมคคาเดเมีย ซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น, การวิเคราะห์หาค่าแอคติวิตี้ของน้ำ (a_w) การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน, การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน, การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหาร, การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า และการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD, completely randomized design) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ มีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยตาราง ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 พันธุ์ โดยวิธี Duncan' s Multiple Range Test (DMRT)

2. การศึกษากรรมวิธีสกัดน้ำมัน จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์

เนื่องจากในเมล็ดแมคคาเดเมียมีปริมาณของน้ำมันที่ค่อนข้างสูงประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์ จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าเพื่อหากรรมวิธีในการสกัดน้ำมันเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันสูงที่สุด โดยใช้วิธีการดังนี้

2.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้

ปัจจัยที่ 1 (A) มี 3 ระดับ คือ ชนิดของสายพันธุ์แมคคาเดเมีย โดยกำหนดให้ A_1= พันธุ์เชียงใหม่ 400 A_2= พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ A_3= พันธุ์เชียงใหม่ 1000

ปัจจัยที่ 2 (B) มี 2 ระดับ คือ ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยการนึ่ง โดยกำหนดให้ B_1= 7 นาที และ B_2= 9 นาที

ปัจจัยที่ 3 (C) มี 2 ระดับ คือ ชนิดของตัวทำละลาย โดยกำหนดให้ C_1= คลอโรฟอร์ม และ C_2= เฮกเซน

โดยกรรมวิธีในการสกัดน้ำมันสามารถทำได้ดังนี้

2.1.1 การเตรียมตัวอย่างเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เชียงใหม่ 400 (HAES 660) พันธุ์เชียงใหม่ 700 (HAES 741) และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000 (HAES 508) ทำได้โดย

2.1.1.1 นำเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ มาผ่านการบดอย่างหยาบๆ

2.1.1.2 ชั่งเมล็ดแมกคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เชียงใหม่ 400 (HAES 660) พันธุ์เชียงใหม่ 700 (HAES 741) และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 (HAES 508) ที่ผ่านการบดหยาบมาแล้วอย่างละ 150 กรัม

2.1.2 การศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนด้วยการนึ่ง

2.1.2.1 นำเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มาให้ความร้อนโดยการนึ่งด้วยลังถึงที่อุณหภูมิ 95-98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 และ 9 นาที ตามลำดับ โดยทำสายพันธุ์ละ 3 ซ้ำ

2.1.2.2 นำเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลา 7 และ 9 นาที มาทำการบีบอัดด้วยชุดอุปกรณ์บีบอัดน้ำมัน ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันที่ได้ แล้วนำไปชั่งหาปริมาณน้ำมันที่ได้จากการนึ่งเป็นเวลา 7 และ 9 นาที ตามลำดับ สำหรับกระบวนการบีบอัดน้ำมันมีดังนี้

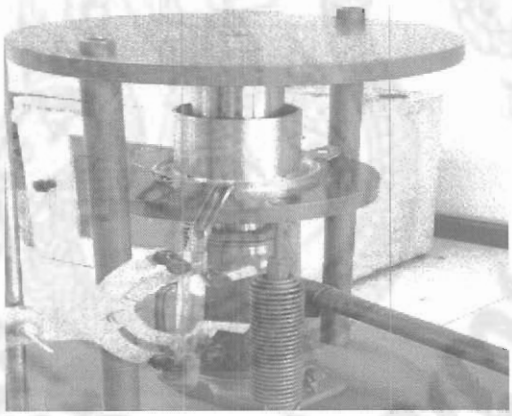
(1) ใช้เครื่องอัดไฮโดรลิก แบบประยุกต์ MJU SS -2 เป็นเครื่องบีบน้ำมัน โดยใช้แม่แรงขนาด 10 ตัน

(2) เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ใส่ตัวอย่าง และรองรับน้ำมันซึ่งทำจากสแตนเลส ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 2 ชิ้น ชิ้นแรกเป็นสแตนเลสทรงกระบอกมีความสูง 11 เซนติเมตร มีลักษณะกลวงตรงกลาง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

13 เซนติเมตร สำหรับใส่ตัวอย่างที่ต้องการบีบอัด และชิ้นที่สองเป็นสแตนเลสทรงกลมแบนมีร่องอยู่บริเวณโดยรอบ เป็นส่วนที่ใช้รองรับน้ำมันที่ได้จากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการถูกบีบอัด

2.1.2.3 การเตรียมผ้าโพลีเอสเตอร์สำหรับห่อผลิตภัณฑ์ และกรองน้ำมันโดยนำมาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 21 x 21 เซนติเมตร

2.1.2.4 การประกอบอุปกรณ์บีบอัดน้ำมันแบบประยุกต์ MJU SS-2 โดยนำสแตนเลสทรงกระบอกที่มีลักษณะกลวงมาวางบนสแตนเลสทรงกลมแบน หลังจากนั้นนำอุปกรณ์ทั้งชุดที่ประกอบเสร็จไปวางลงบนแท่นรองรับที่มีลักษณะเป็นโลหะทรงกลมซึ่งมีตัวแม่แรงรองรับอยู่ด้านล่าง ซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวส่งแรงให้กับชุดใส่ตัวอย่างหลังจากนั้นทำการโยกคันโยกที่ต่อเชื่อมกับแม่แรงเพื่อส่งให้ตัวอย่างถูกสแตนเลสด้านบนบีบอัดลงมากระทบตัวอย่างแล้วบีบอัดได้น้ำมันออกมาอยู่บริเวณร่องโดยรอบของสแตนเลสทรงกลมแบน



ภาพ 2 อุปกรณ์บีบอัดน้ำมัน

2.1.3 ศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลาย

2.1.3.1 ทำการเก็บกากเมล็ดแมคคาเดเมียที่เหลือจากการบีบอัดน้ำมันมาทำการชั่งน้ำหนักและเก็บไว้ใช้สำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลายต่อไป

2.1.3.2 นำกากเมล็ดแมคคาเดเมีย 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 ที่ผ่านการสกัดด้วยวิธีบีบอัดมาชั่งอย่างละ 6 กรัม และทำ 2 ชุดสำหรับตัวทำละลาย 2 ชนิด

2.1.3.3 เลือกชนิดของตัวทำละลายมา 2 ชนิด คือ คลอโรฟอร์ม และเฮกเซน ซึ่งสภาวะที่ใช้สกัดคือใช้อุณหภูมิ 150 และ 140 องศาเซลเซียส สำหรับคลอโรฟอร์ม และเฮกเซน ตามลำดับ

2.1.3.4 ทำการสกัดไขมันด้วยตัวทำละลายที่เลือกไว้ 2 ชนิด คือคลอโรฟอร์ม และเฮกเซน ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมดสายพันธุ์ละ 3 ซ้ำ โดยใช้เครื่องสกัดไขมันแบบ Soxtech ยี่ห้อ Tecator รุ่น 1043 (ภาคผนวก ก ข้อ 1.3)

2.1.3.5 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันที่ได้แล้วนำไปชั่งหาปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิด คือคลอโรฟอร์ม และเฮกเซน และทำการวิเคราะห์หาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุด

2.1.3.6 ศึกษาหาปริมาณน้ำมันดิบที่สกัดได้จากทั้งวิธีบีบอัด และใช้ตัวทำละลาย จากสูตรการคำนวณหาปริมาณน้ำมันบริสุทธิ์ (%) แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อวิเคราะห์หาสายพันธุ์ที่ให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุด, เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนด้วยการนึ่งก่อนนำไปบีบอัด และเพื่อหาตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันได้ดีที่สุด

$$\text{ปริมาณน้ำมันสุทธิ (\%)} = \left(\frac{100}{A} \times \frac{6B + (C \times D)}{6} \right)$$

เมื่อ A แทน น้ำหนักวัตถุดิบที่ใช้ในการบีบอัด

B แทน ปริมาณน้ำมันจากการบีบอัด

C แทน กากที่เหลือจากการบีบอัด

D แทน ปริมาณน้ำมันที่สกัดโดยตัวทำละลาย

วางแผนการทดลองของแต่ละพันธุ์แบบสุ่มตลอด (CRD, completely randomized design) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ มีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยตาราง ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan' s Multiple Range Test (DMRT)

3. การศึกษาคุณภาพของน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียแต่ละสายพันธุ์

นำเมล็ดแมคคาเดเมีย 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 (HAES 660) พันธุ์เชียงใหม่ 700 (HAES 741) และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000 (HAES 508) ที่ผ่านการบดหยาบแล้วนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยการนึ่งที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2 แล้วนำไปบีบอัด โดยน้ำมันที่ได้จากการบีบอัด

จะนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความขุ่น จุดหลอมเหลว และค่าสี ส่วนการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าไอโอดีน ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าซาพอนิฟิเคชั่น ค่าสารที่ซาพอนิไฟด์ไม่ได้ และค่า Acid Value

ในการทดลองนี้มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD, completely randomized design) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ มีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยตาราง ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

4. การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดิบ (การทำให้บริสุทธิ์แบบไม่สมบูรณ์) และการศึกษาคุณภาพของน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีปรับปรุงคุณภาพ

นำเมล็ดแมคคาเดเมีย 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 (HAES 660) พันธุ์เชียงใหม่ 700 (HAES 741) และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 (HAES 508) ที่ผ่านขั้นตอนการบดหยาบๆ แล้วนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยการนึ่งที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2 แล้วนำไปบีบอัด โดยน้ำมันที่ได้จากการบีบอัดจะนำมาผ่านกรรมวิธีการทำให้บริสุทธิ์

เนื่องจากกรรมวิธีการทำให้บริสุทธิ์สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งต้องเลือกใช้ให้ตรงกับวัตถุประสงค์ว่า ต้องการกำจัดสิ่งปนเปื้อนชนิดใดออกไปจากน้ำมันดิบ อย่างไรก็ตามกระบวนการที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันอาจมีผลทำให้องค์ประกอบบางประการสูญเสียไป และขั้นตอนในการทำให้บริสุทธิ์ที่ทดลองครั้งนี้ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ

4.1 ดีกัมมิ่ง เป็นวิธีการแยกกัม, เรซิน, โปรตีน และฟอสฟาไทด์ ออกจากน้ำมันดิบ ซึ่งทำได้ดังนี้คือ

4.1.1 ปรับอุณหภูมิน้ำมันให้อยู่ในช่วง 65-75 องศาเซลเซียส (เนื่องจากอุณหภูมิที่กล่าวโดยนิธิยา (2529) คือที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำมันแมคคาเดเมียทำให้น้ำมันมีสีที่เข้มเกินไป ห ลังจากนั้นเติมน้ำลงในน้ำมันประมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ข องปริมาณน้ำมัน

4.1.2 ผสมให้เข้ากันนาน 30-60 นาที

4.1.3 แยกโดยวิธีการกรองหรือใช้การเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงที่ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

4.2 การกำจัดกรด เป็นวิธีการกำจัดกรดไขมันอิสระออกจากน้ำมันดิบ โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยให้ทำปฏิกิริยากับกรด ทำได้ดังนี้คือ

4.2.1 ปรับอุณหภูมิน้ำมันให้อยู่ในช่วง 24-30 องศาเซลเซียส แล้วเติมสารละลายด่าง

ที่มีความเข้มข้น 2 นอร์มอล โดยปริมาณสารละลายด่างที่ใช้ คำนวณได้จากสูตรดังนี้ (Golam et al., 1990)

$$Q = \frac{Q_1 \times P \times A \times 1000}{100 \times M \times N}$$

โดย Q = ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (ลิตร)

Q_1 = ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการ (ลิตร)

P = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน

A = ค่าความเป็นกรดของน้ำมัน (เปอร์เซ็นต์)

M = น้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมัน (โดยส่วนใหญ่ใช้น้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันชนิด oleic acid = 282)

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

4.2.2 กวนอย่างรวดเร็ว จนเกิดสบู่ โดยใช้เวลา 10 นาที

4.2.3 ให้ความร้อนหลังการเกิดสบู่จนได้อุณหภูมิ 54-60 องศาเซลเซียส

4.2.4 ถ่ายน้ำมันและสบู่ลงกรวยแยก และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแยกชั้น

4.2.5 แยกสบู่ออกโดยช้อนออกจากผิวหน้า

4.2.6 ล้างสบู่ และด่างที่ตกค้างออกจากน้ำมันด้วยน้ำร้อนซ้ำหลายครั้ง โดยใช้น้ำร้อนปริมาตรร้อยละ 10 ของน้ำมัน จนน้ำมันเป็นกลาง

4.2.7 เหวี่ยงแยกน้ำและสบู่ที่เหลือออกด้วยเครื่องเหวี่ยงที่ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

4.3 การฟอกสี เพื่อใช้แยกสารประกอบพวกรงควัตถุต่างๆ ที่ติดมากับน้ำมันออก ทำได้ดังนี้คือ

4.3.1 เตรียมดินฟอกสีที่มีฤทธิ์เป็นกรดโดยใช้เบนโทไนท์น้ำหนัก 0.5 % ของน้ำหนักน้ำมันที่ใช้มาผสมกับกรดแร่คือกรดเกลือ โดยเมื่อผสมกันแล้วให้มีความชื้นประมาณ 10-15% และมีความเป็นกรดที่ไตเตรทได้ 4-5 มิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของดินฟอกสี รวมถึงมีค่าพีเอช 3.0-4.5 (ซึ่งพบว่าใช้เบนโทไนท์ในปริมาณ 5.0072 กรัม เติมกรดเกลือเข้มข้น 37% จำนวน 0.287 กรัม)

4.3.2 ปรับอุณหภูมิน้ำมันให้อยู่ในช่วง 71.1-82.2 องศาเซลเซียส

4.3.3 เติมถ่านฟอกสีโดยใช้ activated carbon 0.05 % โดยน้ำหนักน้ำมัน ผสมลงไปในดินฟอกสีที่มีฤทธิ์เป็นกรดที่เตรียมไว้ ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วเติมลงในน้ำมัน

4.3.4 ผสมกันเป็นเวลา 30 นาที โดยเพิ่มความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงระดับ 100 องศาเซลเซียส

4.3.5 กรองแยกสารฟอกสีออกอย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องรอให้เย็น

4.4 การกำจัดพวกกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูง เป็นกระบวนการที่ทำให้ไขมันและน้ำมันมีอุณหภูมิลดต่ำจนไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงเกิดการแข็งตัวตกผลึกแยกออกมาทำได้ดังนี้

4.4.1 นำน้ำมันใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

4.4.2 นำน้ำมันไปเก็บไว้ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส

4.4.3 กรองแยกน้ำมันที่เกิดการแข็งตัวแล้วตกผลึกแยกออกมา โดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.1

<u>กระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์</u>

ภาพ 3 กระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์

หลังการทำให้บริสุทธิ์แล้ว นำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันทั้งทางกายภาพและทางเคมีเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3 รวมถึงหาปริมาณวิตามินอี และหาปริมาณร้อยละของน้ำมันสุทธิที่ได้จากกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์เทียบกับ ปริมาณน้ำมันดิบเริ่มต้น และใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD, completely randomized design) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ มีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยตาราง ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบพื้นฐานของเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์

ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบพื้นฐานของเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่พันธุ์เชียงใหม่ 400 (HAES 660), พันธุ์เชียงใหม่ 700 (HAES 741) และพันธุ์เชียงใหม่ 1000 (HAES 508) ได้ผลการทดลองดังตาราง 5 และมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและค่าแอคติวิตีของน้ำ

หลังจากที่ทำการลดปริมาณความชื้นโดยการผึ่งลมนาน 2 เดือนแล้วอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 38, 40 และ 50 องศาเซลเซียสอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิละ 2 วันทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีปริมาณความชื้นและค่าแอคติวิตีของน้ำสูงกว่าอีก 2 สายพันธุ์ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากผลทางพันธุกรรมในการสร้างไขมันซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักได้น้อยกว่า จึงทำให้มีปริมาณความชื้นมากกว่าแมคคาเดเมียสายพันธุ์อื่น

1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

เมล็ดแมคคาเดเมียมีปริมาณไขมันที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีปริมาณไขมันที่สูงที่สุดคือร้อยละ 72.723 ± 0.603 รองลงมาคือแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 มีค่าร้อยละ 69.460 ± 0.480 และแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่าร้อยละ 66.870 ± 1.644 ตามลำดับ ซึ่งก็น่าจะเป็นผลมาจากพันธุกรรมดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

1.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน และปริมาณใยอาหาร

เมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มีปริมาณโปรตีนและปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยพบว่ามีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 8.305 ± 0.118 ถึง 8.423 ± 0.235 และมีปริมาณเส้นใยอาหารในช่วงร้อยละ 5.074 ± 0.026 ถึง 5.225 ± 0.121

1.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า

เมล็ดแมคคาเดเมียมีปริมาณเถ้าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่าแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีปริมาณเถ้าสูงที่สุด คือร้อยละ 1.299 ± 0.028 รองลงมาคือแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 มีค่าร้อยละ 1.261 ± 0.011 และแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าร้อยละ 1.220 ± 0.019 ตามลำดับทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากการที่แมคคาเดเมียพันธุ์เชียงใหม่ 1000 ใช้เวลาในการเจริญของเมล็ดนานกว่าแมคคาเดเมียสายพันธุ์อื่นๆ (ศูนย์วิจัยเกษตร

หลวงเชียงใหม่, 2543) จึงมีระยะเวลาในการสะสมปริมาณเกลือแร่ได้มากกว่าแมคคาเดเมียสายพันธุ์อื่นๆ

1.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด

ซึ่งเป็นปริมาณที่รวมเส้นใยอาหารด้วย พบว่าพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีปริมาณสูงที่สุด คือ 21.848 ± 1.590 และพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีปริมาณต่ำที่สุด น่าจะเป็นผลมาจากพันธุกรรมในการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตให้เป็นไขมันได้ดีที่สุดในพันธุ์เชียงใหม่ 700 และผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานจะเห็นได้ว่าในเมล็ดแมคคาเดเมียมีปริมาณไขมันที่สูงถึงร้อยละ 72.723 ในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้นำเอาเมล็ดแมคคาเดเมียมาใช้ในการศึกษาการสกัดน้ำมันต่อไป

ตาราง 5 คุณภาพของเนื้อในแมคคาเดเมีย

ชนิดของสายพันธุ์	ปริมาณความชื้น (%)	ค่าแอคติวิตี้ของน้ำ (a_w)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณโปรตีน (%)	ปริมาณใยอาหาร (%)	ปริมาณเถ้า (%)	*ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (%)
พันธุ์เชียงใหม่ 400	$1.511^{a} \pm 0.008$	$1.531^{b} \pm 0.005$	$69.460^{b} \pm 0.48$	$8.423^{ns} \pm 0.235$	$5.093^{ns} \pm 0.073$	$1.261^{ab} \pm 0.011$	$19.261^{b} \pm 0.107$
พันธุ์เชียงใหม่ 700	$1.510^{a} \pm 0.017$	$1.507^{a} \pm 0.006$	$72.723^{c} \pm 0.603$	$8.395^{ns} \pm 0.294$	$5.225^{ns} \pm 0.121$	$1.220^{a} \pm 0.019$	$16.152^{a} \pm 0.813$
พันธุ์เชียงใหม่ 1000	$1.677^{b} \pm 0.039$	$1.533^{b} \pm 0.002$	$66.870^{a} \pm 1.644$	$8.305^{a} \pm 0.118$	$5.074^{ns} \pm 0.026$	$1.299^{b} \pm 0.028$	$21.848^{c} \pm 1.590$

หมายเหตุ :
- a-c ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ns หมายถึง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- * เป็นค่าที่ได้จาก 100 – ปริมาณความชื้น – ปริมาณไขมัน – ปริมาณโปรตีน – ปริมาณเถ้า

2. การศึกษาวิธีการที่ใช้ในการสกัดน้ำมัน จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันสูงสุด

ผลจากการวิจัยได้ข้อมูลดังตาราง 6, 7 และ 8 มีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 6 ปริมาณน้ำมันสุทธิที่ได้จากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 ด้วยกรรมวิธีการบีบอัดร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย

ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยการนึ่งก่อนการบีบอัด (นาที)	ปริมาณน้ำมันสุทธิที่ได้จากการสกัดน้ำมันด้วยกรรมวิธีการบีบอัดและการสกัดด้วยตัวทำละลาย (%)	
	คลอโรฟอร์ม	เฮกเซน
7	$64.510^{aX} \pm 0.803$	$66.462^{bX} \pm 0.785$
9	$62.497^{aY} \pm 1.149$	$64.793^{bY} \pm 0.438$

หมายเหตุ - a-b ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- X-Y ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังตาราง 6 แสดงว่าการสกัดน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 ที่ให้ความร้อนด้วยการนึ่งเป็นเวลา 7 นาที แล้วนำไปบีบอัดเอาน้ำมัน จากนั้นสกัดกากที่เหลือหลังการบีบอัดด้วยเฮกเซน ก็จะเป็นกรรมวิธีการสกัดน้ำมันที่ให้ปริมาณน้ำมันที่สูงที่สุด โดยได้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 66.462 ± 0.785 ของน้ำหนักแมคคาเดเมีย

ตาราง 7 ปริมาณน้ำมันสุทธิที่ได้จากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 ด้วยกรรมวิธีการบีบอัดร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย

ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยการนึ่งก่อนการบีบอัด (นาที)	ปริมาณน้ำมันสุทธิที่ได้จากการสกัดน้ำมันด้วยกรรมวิธีการบีบอัดและการสกัดด้วยตัวทำละลาย (%)	
	คลอโรฟอร์ม	เฮกเซน
7	71.151^{aX}±0.172	71.850^{bX}±0.328
9	67.107^{aY}±0.999	68.898^{bY}±0.217

หมายเหตุ - a-b ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- X-Y ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังตาราง 7 แสดงว่าการสกัดน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 ที่ให้ความร้อนด้วยการนึ่งเป็นเวลา 7 นาที แล้วนำไปบีบอัดเอาน้ำมัน จากนั้นสกัดกากที่เหลือหลังการบีบอัดด้วยเฮกเซน ก็จะเป็นกรรมวิธีการสกัดน้ำมันที่ให้ปริมาณน้ำมันที่สูงที่สุด โดยได้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 71.850 ± 0.328 ของน้ำหนักแมคคาเดเมีย

ตาราง 8 ปริมาณน้ำมันสุทธิที่ได้จากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 ด้วยกรรมวิธีการบีบอัดร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย

ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยการนึ่งก่อนการบีบอัด (นาที)	ปริมาณน้ำมันสุทธิที่ได้จากการสกัดน้ำมันด้วยกรรมวิธีการบีบอัดและการสกัดด้วยตัวทำละลาย (%)	
	คลอโรฟอร์ม	เฮกเซน
7	63.557^{aX}±0.213	64.809^{bX}±0.400
9	60.038^{aY}±0.420	60.274^{bY}±0.329

หมายเหตุ : - a-b ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- X-Y ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังตาราง 8 แสดงว่าการสกัดน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 ที่ให้ความร้อนด้วยการนึ่งเป็นเวลา 7 นาที แล้วนำไปบีบอัดเอาน้ำมัน จากนั้นสกัดกากที่เหลือหลังการบีบอัดด้วยเฮกเซน ก็จะเป็นกรรมวิธีการสกัดน้ำมันที่ให้ปริมาณน้ำมันที่สูงที่สุด โดยได้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 64.809 ± 0.400 ของน้ำหนักแมคคาเดเมีย

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นพบว่ากรรมวิธีที่เหมาะสม ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ให้ได้ปริมาณน้ำมันที่สูงที่สุดคือการให้ความร้อนด้วยการนึ่งที่ระยะเวลา 7 นาที ทั้งนี้เนื่องมาจากการให้ความร้อนด้วยการนึ่งที่ระยะเวลา 9 นาทีอาจเป็นระยะเวลาที่นานเกินไปและทำให้ปริมาณเส้นใยที่มีในเมล็ดแมคคาเดเมียเกิดการพองตัวและเกิดการดูดซับไขมันหรือน้ำมันที่มีในเมล็ดแมคคาเดเมียทำให้ไม่สามารถบีบเอาปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ออกมาได้ทั้งหมด หลังจากที่ผ่านกระบวนการนึ่งแล้วจึงนำไปบีบอัดเอาน้ำมัน จากนั้นสกัดกากที่เหลือในภายหลังจากการบีบอัดด้วยเฮกเซน

3. การศึกษาคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมีย

จากผลการวิจัยในตาราง 9 และ 10 พบว่าเมื่อนำเมล็ดแมคคาเดเมียมาทำการสกัดน้ำมันแล้วนำน้ำมันดิบ (crude oil) ที่ได้มาทำการวิเคราะห์คุณภาพซึ่งประกอบไปด้วยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี ดังนี้

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

3.1.1 ค่าความถ่วงจำเพาะ

น้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าความถ่วงจำเพาะที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็น 0.917 ± 0.000

3.1.2 ค่าความขุ่น

พบว่าน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่าความขุ่นสูงที่สุดคือ 57.267 ± 0.306 NTU ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับน้ำมันดิบจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 และแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีปริมาณสารจำพวกกัมมากกว่าอีก 2 สายพันธุ์

3.1.3 ค่าสี

น้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ เปรียบเทียบพบว่าค่าสี L ซึ่งแสดงถึงความมืด–สว่าง (darkness = 0, lightness = 100) ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าสี L ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าสี L หรือมีค่าความสว่างที่สุดคือ 20.10 ± 0.65 รองลงมาคือสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 มีค่า 18.60 ± 0.53 และสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่า 16.97 ± 0.52 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสี a ซึ่งแสดงถึงค่าสีแดง ถ้า a มีค่าเป็นบวก และสีเขียวถ้า a มีค่าเป็นลบ โดยพบว่าน้ำมันจากแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าสี a ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าในช่วง -1.45 ± 0.24 ถึง -1.15 ± 0.20 และค่าสี b ซึ่งแสดงถึงค่าสีเหลือง ถ้า b มีค่าเป็นบวก และสีน้ำเงินถ้า b มีค่าเป็นลบ โดยพบว่าน้ำมันจากแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าสี b ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าสี b เป็นลบสูงที่สุด นั่นคือมีค่าความเป็นสีเหลืองน้อยที่สุดคือมีค่า -14.57 ± 0.10 รองลงมาคือสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่า -14.15 ± 0.07 และสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 มี ค่ามีค่าสีเหลืองสูงที่สุดคือ -13.71 ± 0.15 ดังนั้นแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 จึงให้น้ำมันที่มีลักษณะใสกว่าพันธุ์อื่น

3.1.4 จุดหลอมเหลว

น้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ มีจุดหลอมเหลวที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้น่าจะเนื่องมาจากมีองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีความใกล้เคียงกันโดยอยู่ในช่วง 4.1 ± 0.1 ถึง 4.2 ± 0.1 องศาเซลเซียส

3.2 คุณสมบัติทางเคมีคือ

3.2.1 ค่าไอโอดีน

ค่าไอโอดีนของน้ำมันแสดงให้เห็นถึงจำนวนพันธะคู่ที่มีในน้ำมัน โดยน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าไอโอดีนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงว่าแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวชนิดเดียวกัน โดยพบว่าแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 มีค่าไอโอดีน 79.105 ± 1.215 (g Iodine /oil 100 g) แมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าไอโอดีน 77.239 ± 3.066 (g Iodine /oil 100 g) และแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่าไอโอดีน 76.767 ± 4.554 (g Iodine /oil 100 g) ตามลำดับ ซึ่งค่าไอโอดีนในระดับดังกล่าวถือว่าอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับปริมาณไอโอดีนในน้ำมันชนิดต่างๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งมีค่าไอโอดีนคือ 8-10 (g Iodine /oil 100 g), 44-58 (g Iodine /oil 100 g) และ 125-140 (g Iodine /oil 100 g) ตามลำดับ (Keith Addison, 2005)

3.2.2 ค่าสปอนนิฟาย

คือจำนวนมิลลิกรัมของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่และกลีเซอรอล โดยพบว่าน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่าสปอนนิฟายในน้ำมันดิบมากกว่าแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 และสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และสายพันธุ์เหล่านี้มีค่าสปอนนิฟายเป็น 191.203 ± 0.644, 188.802 ± 0.862 และ 189.914 ± 0.688 (mg KOH/oil 1 g) ตามลำดับ จากค่าวิเคราะห์ที่ได้แสดงว่าน้ำมันดิบที่ได้จากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่าสปอนนิฟายสูงที่สุดจึงมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ส่วนหนึ่งที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำกว่าอีก 2 สายพันธุ์ที่เหลือ แต่อย่างไรก็ตามค่าสปอนนิฟายของน้ำมันแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ก็แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

3.2.3 สารสปอนนิฟายไม่ได้

ได้แก่ สารที่หลงเหลือจากการทำสปอนนิฟายแล้ว ซึ่งอาจเป็นไฮโดรคาร์บอน คอเลสเตอรอล และขี้ผึ้ง เป็นต้น ในน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มีสาร

สปอนนิฟายไม่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยพบว่ามีค่าในช่วงร้อยละ 0.562 ± 0.029 ถึง 0.607 ± 0.024

3.2.4 ค่าความเป็นกรด

ค่าความเป็นกรดคือจำนวนมิลลิกรัมของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันจำนวน 1 กรัมเป็นกลางพอดี และยังเป็นตัวบ่งชี้แนวโน้มในการเสื่อมเสียของไขมันและน้ำมัน ถ้าค่าความเป็นกรดสูงนั่นแสดงว่า ไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซ์กลายเป็นกรดไขมันอิสระมาก กรดไขมันอิสระที่มีขนาดเล็กก็จะระเหยได้ง่ายและทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ รวมทั้งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ง่าย โดยผลการเปรียบเทียบค่าวิเคราะห์กับค่ามาตรฐานของ CODEX ได้กำหนดค่าของกรดในน้ำมันดิบไว้ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมต่อไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม (FAO, 2001) ซึ่งน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าของกรดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยพบว่าอยู่ในช่วง 0.746 ± 0.162 ถึง 0.916 ± 0.156 (mg KOH/oil 1 g) ซึ่งน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าของกรดที่ไม่เกินค่ามาตรฐานของ CODEX (FAO, 2001)

3.2.5 ค่าเปอร์ออกไซด์

คือ จำนวนมิลลิสมมูลย์ของเปอร์ออกไซด์ที่มีในน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม ถ้าค่าเปอร์ออกไซด์สูงแสดงว่าน้ำมันหรือไขมันเกิดการเหม็นหืนเนื่องจากการเกิดออกซิเดชั่นมาก โดยจากการวิเคราะห์ค่าที่ได้พบว่าน้ำมันดิบจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 และแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติคือ 3.264 ± 0.538 (milliequiv. ของ active oxygen / oil 1 kg) และ 3.471 ± 0.876 (milliequiv. ของ active oxygen / oil 1 kg) ตามลำดับ ส่วนน้ำมันดิบจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าแตกต่างกับ 2 สายพันธุ์แรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 1.315 ± 0.378 (milliequiv. ของ active oxygen / oil 1 kg) ผลการเปรียบเทียบค่าวิเคราะห์กับค่ามาตรฐานของ CODEX ได้กำหนดค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันดิบไว้ไม่เกิน 15 มิลลิสมมูลย์ของเปอร์ออกไซด์ของออกซิเจนต่อไขมันหรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม (FAO, 2001) ซึ่งน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ไม่เกินค่า มาตรฐานของ CODEX ได้กำหนดค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันดิบไว้

ตาราง 9 คุณภาพทางกายภาพของน้ำมันดิบที่สกัดได้จากแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์

ชนิดของ สายพันธุ์เชียงใหม่	คุณภาพน้ำมันดิบจากแมคคาเดเมีย					
	ค่าความถ่วงจำเพาะ ที่ 25 องศาเซลเซียส	ค่าความขุ่น (NTU)	ค่าสี			จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
			L	a	b	
400	0.917^{ns}±0.000	51.767^{a}±0.723	18.60^{b}±0.53	-1.45^{ns}±0.24	-13.71^{a}±0.15	4.2^{ns}±0.3
700	0.917^{ns}±0.000	51.067^{a}±0.208	20.10^{c}±0.65	-1.27^{ns}±0.26	-14.57^{c}±0.10	4.1^{ns}±0.1
1000	0.917^{ns}±0.000	57.267^{b}±0.306	16.97^{a}±0.52	-1.15^{ns}±0.20	-14.15^{b}±0.07	4.2^{ns}±0.1

หมายเหตุ : - a-c ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึงไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 10 คุณภาพทางเคมีของน้ำมันดิบที่สกัดได้จากแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ (ต่อ)

ชนิดของสายพันธุ์เชียงใหม่	คุณภาพน้ำมันดิบจากแมคคาเดเมีย				
	ค่าไอโอดีน (g Iodine /oil100 g)	ค่าสปอนนิฟาย (mg KOH/oil 1 g)	สารที่สปอนนิฟายไม่ได้ (% by weight)	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/oil 1 g)	ค่าเปอร์-ออกไซด์(milliequiv. ของ active oxygen / oil 1 kg)
400	79.105^{ns}±1.215	189.914^{ab}±0.688	0.596^{ns}±0.029	0.746^{ns}±0.162	3.264^{b}±0.538
700	77.239^{ns}±3.066	188.802^{a}±0.862	0.562^{ns}±0.029	0.827^{ns}±0.009	1.315^{a}±0.378
1000	76.767^{ns}±4.554	191.203^{b}±0.644	0.607^{ns}±0.024	0.916^{ns}±0.156	3.471^{b}±0.876

หมายเหตุ : - a-c ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึงไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4. การศึกษาถึงคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีปรับปรุงคุณภาพหรือผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้ว

จากผลการวิจัยในตาราง 11 และตาราง 12 พบว่าเมื่อนำเมล็ดแมคคาเดเมียมาทำการสกัดน้ำมัน แล้วนำน้ำมันดิบ (crude oil) ที่ได้มาผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) แล้วนำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพซึ่งประกอบไปด้วยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี ดังนี้

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

4.1.1 ค่าความถ่วงจำเพาะ

น้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ โดยพบว่าน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 และแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าความถ่วงจำเพาะที่ 25 องศาเซลเซียส ที่สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีค่า 0.870 ± 0.000 และ 0.870 ± 0.000 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์สายพันธุ์ 1000 มีความแตกต่างกันกับแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 และแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีค่าความถ่วงจำเพาะที่ 25 องศาเซลเซียส คือ 0.869 ± 0.000 และน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำมันดิบ เนื่องจากสารจำพวกที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมาก เช่น พวกกัม ได้ถูกกำจัดออกไปแล้ว

4.1.2 ค่าความขุ่น

น้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วพบว่า มีค่าความขุ่นที่น้อยกว่าน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ เนื่องจากได้มีการผ่านกรรมวิธีการแยกเอาสิ่งสกปรก หรือจำพวกตะกอนรวมถึงกัมออกจากน้ำมันแล้วจึงทำให้น้ำมันใสขึ้นและเห็นว่าน้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์จากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 มีค่าความขุ่นที่สูงที่สุดคือ 0.490 ± 0.006 NTU และมีค่าแตกต่างกับน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 และแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์นี้มีกัมจำพวกที่มีโมเลกุลขนาดเล็กกว่าอีก 2 สายพันธุ์ และไม่สามารถทำให้ตกตะกอนได้ ส่วนแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 และแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าความขุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือมีค่า 0.355 ± 0.02 NTU และ 0.352 ± 0.05 NTU ตามลำดับ

4.1.3 ค่าสี

น้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้ว พบว่าน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 และสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่าสี L ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) คือมีค่า 13.47 ± 0.32 และ 13.30 ± 0.32 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันจาก

แมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 มีค่าสี L สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีค่า 14.29 ± 0.19 แสดงว่าน้ำมันแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 ที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วมีความสว่างที่สุด และน้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ก็มีค่าสี L ที่น้อยกว่าในน้ำมันดิบทั้ง 3 สายพันธุ์เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันมีการใช้ความร้อนหลายขั้นตอน ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำลง ส่วนค่าสี a ในน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วทั้ง 3 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในขณะที่ค่าสี a ซึ่งแสดงถึงค่าสีแดง ถ้า a มีค่าเป็นบวก และสีเขียวถ้า a มีค่าเป็นลบ โดยพบว่าน้ำมันจากแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าสี a ในช่วง -0.44 ± 0.29 ถึง -0.85 ± 0.40 และพบว่าน้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ก็มีค่าสี a ที่มีค่าความเป็นบวกที่สูงกว่าในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ นั่นคือมีความเป็นสีแดงที่สูงกว่าในน้ำมันดิบ และค่าสี b ซึ่งแสดงถึงค่าสีเหลือง ถ้า b มีค่าเป็นบวก และสีน้ำเงินถ้า b มีค่าเป็นลบ โดยพบว่าน้ำมันจากแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าสี b* ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และมีค่า b* เป็นบวกหมดทั้ง 3 สายพันธุ์ นั่นคือมีค่าเป็นสีเหลืองทั้งหมดซึ่งมีค่าความเป็นสีเหลืองที่สูงกว่าในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ จากค่าสีที่วิเคราะห์ได้พบว่าค่าสี L ค่าสี a และค่าสี b ของน้ำมันแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์มีค่าที่สูงกว่ากว่าในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ซึ่งในทางทฤษฎีเมื่อนำน้ำมันดิบไปผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์จะต้องผ่านขั้นตอนการฟอกสีให้จางลง เป็นกระบวนการที่แยกเอาสารประกอบที่เป็นสารสีต่างๆ ซึ่งติดปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันออกไปหรือทำให้มีปริมาณน้อยลง การแยกเอาสารประกอบที่เป็นสารสีออกไปจะช่วยทำให้น้ำมันมีสีจางลง แต่ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าน้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีการฟอกสีให้จางลงแล้วกลับมีค่าสีที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิสูงแก่น้ำมันแมคคาเดเมีย จะทำให้น้ำมันเกิดสีคล้ำเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ง่ายหรือบางทีความร้อนอาจทำให้เกิดสีแดงขึ้นใหม่ได้ เนื่องจากการเกิดออกซิเดชั่นของโทโคเฟอรอลได้เป็น chroman-5,6-quinones เป็นต้น และน้ำมันดิบที่สกัดได้จากแมคคาเดเมียไม่ได้มีสีที่เข้ม ดังนั้นขั้นตอนการฟอกสีอาจเป็นขั้นตอนที่ไม่มีความจำเป็นใน กระบวนการผลิตน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมีย

4.1.4 จุดหลอมเหลว

น้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วพบว่าน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ มีจุดหลอมเหลวที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีจุดหลอมเหลวเป็น 1.3 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าจุดหลอมเหลวของน้ำมันแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วมีค่าน้อยกว่าจุดหลอมเหลวในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมีย

ทั้ง 3 สายพันธุ์ เนื่องจากกระบวนการ Winterization ในกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ เป็นกระบวนการที่ทำให้กัมและสารอื่นๆที่จุดหลอมเหลวสูงตกผลึกออกไป

4.2 คุณสมบัติทางเคมี

4.2.1 ค่าไอโอดีน

ค่าไอโอดีนของน้ำมันแสดงให้เห็นถึงจำนวนพันธะคู่ที่มีในน้ำมันโดยน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วพบว่าทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าไอโอดีนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยพบว่าแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 มีค่าไอโอดีนคือ 74.391 ± 2.762 (g Iodine /oil 100 g) แมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าไอโอดีนคือ 74.130 ± 1.822 (g Iodine /oil 100 g) และแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่าไอโอดีนคือ 73.425^{ns} ± 0.622 (g Iodine /oil 100 g) ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าค่าไอโอดีนของน้ำมันแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วมีค่าน้อยกว่าค่าไอโอดีนในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ เนื่องจากไขมันและน้ำมันที่เกิด oxidative rancidity จะมีค่าไอโอดีนที่ลดต่ำลง โดย oxidative rancidity เป็นการหืนที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา autoxidation ที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็น peroxide linkage ขึ้นระหว่างพันธะคู่โดยปฏิกิริยา autoxidation นี้จะเกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลาเมื่อไขมันและน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวถูกทำลาย ดังนั้นในระหว่างกรรมวิธีการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์การให้ความร้อนและการสัมผัสกับแสงหรือออกซิเจนในอากาศ เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิด oxidative rancidity ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว(พันธะคู่) ถูกทำลาย และทำให้ค่าไอโอดีนลดลงนั่นเอง

4.2.2 ค่าสปอนนิฟาย

โดยน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วพบว่าน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 และสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่าสปอนนิฟายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับความแตกต่างของค่าสปอนนิฟายที่พบในน้ำมันดิบ โดยในน้ำมันที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วทั้ง 2 สายพันธุ์ มีค่าสปอนนิฟายคือ 185.313^{a} ± 1.552 (mg KOH/oil 1 g) และ 191.178^{b} ± 0.277 (mg KOH/oil 1 g) ตามลำดับ ส่วนน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 มีค่าสปอนนิฟายไม่แตกต่างกับน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมีย 2 สายพันธุ์ที่กล่าวมาคือ 188.857^{ab} ± 4.355 (mg KOH/oil 1 g)

4.2.3 สารสปอนนิฟายไม่ได้

น้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วพบว่าน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าสารสปอนนิฟายไม่ได้ 0.195 ± 0.002 (% by weight)

ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 และสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่า 0.209 ± 0.008 (% by weight) และ 0.211 ± 0.007 (% by weight) ตามลำดับ และพบว่าน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์มีค่าของสารสปอนนิฟายไม่ได้น้อยกว่าในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ เนื่องมาจากในกระบวนการ neutralization ของกรรมวิธีการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์เป็นกระบวนการที่แยกเอาพวกกรดไขมันอิสระและสารปนเปื้อนที่ไม่ละลายในน้ำมันออกจากน้ำมัน ได้แก่ สารที่หลงเหลือจากการทำสปอนนิฟายแล้ว ซึ่งอาจเป็นไฮโดรคาร์บอน} คอเลสเตอรอล และขี้ผึ้ง เป็นต้น จึงทำให้ค่าของสารสปอนนิฟายไม่ได้ในน้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์มีค่าที่ลดลงนั่นเอง

4.2.4 ค่าความเป็นกรด

ค่าความเป็นกรดของน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วพบว่าน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าของกรดที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยพบว่ามีค่าความเป็นกรดในช่วง 0.181 ± 0.075 ถึง 0.230 ± 0.079 (mg KOH/oil 1 g) และผลการเปรียบเทียบค่าวิเคราะห์กับค่ามาตรฐานซึ่งสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดค่าของกรดในน้ำมันผ่านกรรมวิธีไว้ไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัมต่อไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2516) ซึ่งน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าของกรดที่ไม่เกินค่ามาตรฐานที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ และพบว่าน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าของกรดที่น้อยกว่าในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ เนื่องมาจากในกระบวนการ neutralization ได้กำจัดกรดไขมันอิสระส่วนใหญ่ออกไปแล้ว

4.2.5 ค่าเปอร์ออกไซด์

น้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วพบว่าน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยพบว่ามีค่าเปอร์ออกไซด์ในช่วง 7.523 ± 0.301 ถึง 8.244 ± 0.684 (milliequiv. / oil 1 kg) และผลการเปรียบเทียบค่าที่วิเคราะห์ได้กับค่ามาตรฐานซึ่งสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีไว้ไม่เกิน 10 มิลลิสมมูลย์ของเปอร์ออกไซด์ของออกซิเจนต่อไขมันหรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2516) ซึ่งน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ไม่เกินค่ามาตรฐาน และพบว่าน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้

บริสุทธิ์ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่สูงกว่าในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ เนื่องมาจากไขมันและน้ำมันที่เกิด oxidative rancidity และในระหว่างกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์เป็นระบบเปิดไม่ใช่ระบบสุญญากาศ โดยเฉพาะขั้นตอนการฟอกสีซึ่งใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส และไม่ได้ทำให้สีของน้ำมันดีขึ้น เนื่องจากในเมล็ดแมคคาเดเมียมีเม็ดสีน้อยมาก ดังนั้นในกระบวนการฟอกสีไม่น่าจะจำเป็นในการทำน้ำมันแมคคาเดเมียให้บริสุทธิ์

4.2.6 ปริมาณวิตามินอี

โดยทั่วไปแล้วน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดแมคคาเดเมียก่อนนำมาผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์จะมีปริมาณวิตามินอีอยู่ 4.8-5.4 mg / 100 g (ประเทืองศรี, 2532) แต่เมื่อนำน้ำมันดิบที่ได้มาผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วนำมาตรวจวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินอี จะพบว่าไม่สามารถตรวจพบวิตามินอี ทั้งนี้เพราะโดยทั่วไปวิตามินอีจะไม่ทนต่อแสง, ออกซิเจน และความร้อนที่สูงจนเกินไป รวมถึงไม่ทนต่อด่างด้วย และจะถูกทำลายเมื่อละลายอยู่ในน้ำมันที่เกิดการหืนเนื่องจากมีเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้น (นิธิยา, 2539) และ Anna et al. (1999) กล่าวว่าน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียในระหว่างการเก็บรักษา ถ้ามีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเกิดขึ้นจะทำให้ปริมาณวิตามินอีมีค่าลดลงเรื่อยๆ แปรผันตามการเพิ่มขึ้นของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และในกรรมวิธีทำน้ำมันให้บริสุทธิ์นี้ได้มีการใช้อุณหภูมิสูงในระหว่างกระบวนการ รวมถึงในระหว่างกรรมวิธีไม่ได้มีการป้องกันแสงและออกซิเจนในอากาศที่จะเข้าไปสัมผัสกับน้ำมัน จึงทำให้น้ำมันที่ผ่านกระบวนการมีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นจึงอาจเป็นสาเหตุที่ไม่สามารถตรวจพบปริมาณวิตามินอี ประกอบกับในระหว่างกระบวนการ neutralization ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ด่างในการรีไฟน์ ทำให้วิตามินอีที่อยู่ในน้ำมันเกิดการสูญเสียในระหว่างกระบวนการเหล่านี้จนไม่สามารถตรวจพบได้

ตาราง 11 คุณภาพทางกายภาพของน้ำมันแมคคาเดเมียบริสุทธิ์

ชนิดของสายพันธุ์เชียงใหม่	คุณภาพน้ำมันผ่านการทำให้บริสุทธิ์จากแมคคาเดเมีย					
	ค่าความถ่วงจำเพาะที่ 25 องศาเซลเซียส	ค่าความขุ่น (NTU)	ค่าสี			จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
			L	a	b	
400	0.870^{b}±0.000	0.490^{b}±0.006	14.29^{b}±0.19	-0.51^{ns}±0.11	0.70^{ns}±0.14	1.3^{ns}±0.1
700	0.870^{b}±0.000	0.352^{a}±0.05	13.47^{a}±0.32	-0.44^{ns}±0.30	0.55^{ns}±0.29	1.3^{ns}±0.1
1000	0.869^{a}±0.000	0.355^{a}±0.02	13.30^{a}±0.32	-0.85^{ns}±0.40	0.62^{ns}±0.16	1.3^{ns}±0.1

หมายเหตุ : - a-c ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึงไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 12 คุณภาพทางเคมีของน้ำมันแมคคาเดเมียบริสุทธิ์ (ต่อ)

ชนิดของสายพันธุ์เชียงใหม่	คุณภาพน้ำมันผ่านการทำให้บริสุทธิ์จากแมคคาเดเมีย					
	ค่าไอโอดีน (g Iodine /oil 100 g)	ค่าสปอนนิฟาย (mgKOH/oil 1 g)	สารที่สปอนนิฟายไม่ได้ (% by weight)	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/oil 1 g)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (milliequiv. / oil 1 kg)	ปริมาณวิตามินอี (mg/100 g)
400	74.391^{ns}±2.762	188.857^{ab}±4.355	0.209^{b}±0.008	0.230^{ns}±0.079	7.666^{ns}±0.584	ไม่พบ
700	74.130^{ns}±1.822	185.313^{a}±1.552	0.195^{a}±0.002	0.181^{ns}±0.075	7.523^{ns}±0.301	ไม่พบ
1000	73.425^{ns}±0.622	191.178^{b}±0.277	0.211^{b}±0.007	0.229^{ns}±0.080	8.244^{ns}±0.684	ไม่พบ

หมายเหตุ : - a-c ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึงไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ปริมาณน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000 พบว่าสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีปริมาณน้ำมันที่ได้จากกรรมวิธีทำน้ำมันให้บริสุทธิ์สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือมีปริมาณร้อยละ 42.667 ± 0.667 ขณะที่อีก 2 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400, พันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีปริมาณน้ำมันร้อยละ 40.667 ± 0.882 และ 40.333 ± 0.333 ของน้ำมันดิบตามลำดับ และปริมาณน้ำมันที่ได้ลดลงไปเกินครึ่งของน้ำมันดิบที่สกัดได้ดังตาราง 13

ตาราง 13 ปริมาณน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์สุทธิ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000

ชนิดของสายพันธุ์	ร้อยละของปริมาณน้ำมันบริสุทธิ์ (% ของน้ำมันดิบ)
พันธุ์เชียงใหม่ 400	$40.667^{a} \pm 0.882$
พันธุ์เชียงใหม่ 700	$42.667^{b} \pm 0.667$
พันธุ์เชียงใหม่1000	$40.333^{a} \pm 0.333$

หมายเหตุ - a-b ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบพื้นฐานของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าในแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีปริมาณความชื้นและค่าแอคติวิตีของน้ำสูงกว่าอีก 2 สายพันธุ์ และพบว่าแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีปริมาณไขมันที่สูงที่สุด คือ ร้อยละ 72.723 ± 0.603 ประกอบกับเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มีปริมาณโปรตีนและปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีปริมาณเถ้าสูงที่สุด คือร้อยละ 1.299 ± 0.028 และสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดสูงที่สุด โดยพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดต่ำที่สุด

2. การศึกษาการสกัดน้ำมันจากแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่ากรรมวิธีที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันที่สูงที่สุดคือการให้ความร้อนด้วยการนึ่งที่ระยะเวลา 7 นาที แล้วนำไปบีบอัดเอาน้ำมัน จากนั้นสกัดกากที่เหลือหลังการบีบอัดด้วยเฮกเซน

3. เมื่อนำเมล็ดแมคคาเดเมียมาทำการสกัดน้ำมัน แล้วนำน้ำมันดิบ (crude oil) ที่ได้มาทำการวิเคราะห์คุณภาพ ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพพบว่าน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าความถ่วงจำเพาะและจุดหลอมเหลวที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และพบว่าน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่าความข่นสูงที่สุด และเมื่อน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ มาวิเคราะห์ค่าสี พบว่าน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าสี L หรือมีค่าความสว่างที่สุดคือ 20.10 ± 0.652 ในขณะที่น้ำมันจากแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าสี a ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และน้ำมันจากแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าสี a เป็นลบทั้งหมด และค่าสี b ซึ่งแสดงถึงค่าสีเหลือง ถ้า b มีค่าเป็นบวก และสีน้ำเงินถ้า b มีค่าเป็นลบ ซึ่งน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าสี b เป็นลบสูงที่สุดนั่นคือมีค่าความเป็นสีเหลืองน้อยที่สุดคือมีค่า -14.57 ± 0.104 ส่วนผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีโดยน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าไอโอดีน, สารที่สปอนนิฟายไม่ได้ และค่าของกรดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และมีค่าความเป็นกรดที่ไม่เกินค่ามาตรฐานของ CODEX และน้ำมันดิบที่ได้จากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่าสปอนนิฟายสูงที่สุดคือ 191.203 ± 0.644 (mg KOH/oil1g) ส่วนน้ำมันดิบจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่น้อยที่สุดคือ1.315 ± 0.378 (milliequiv. /

oil 1 kg) และน้ำมันดิบจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ไม่เกินค่ามาตรฐานของ CODEX

4. เมื่อนำน้ำมันดิบ (crude oil) ที่ได้มาผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) แล้วนำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพซึ่งประกอบไปด้วยคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 และแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าความถ่วงจำเพาะในช่วง 0.869 ถึง 0.870 ที่ 25 องศาเซลเซียส และน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 มีค่าความขุ่นที่สูงที่สุดคือ 0.490 ± 0.006 NTU ที่เหลืออีก 2 สายพันธุ์มีค่าความขุ่นน้อยกว่าโดยมีค่าความขุ่นในช่วง 0.352 ± 0.05 ถึง 0.355 ± 0.02 NTU และน้ำมันที่ทำให้บริสุทธิ์ แล้วมีค่าความขุ่นที่น้อยกว่าน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ส่วนน้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 400 มีค่าสี L ที่สูง ที่สุดคือมีค่า 14.29^{b} ± 0.191 แต่น้อยกว่าในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ส่วนค่าสี a ในน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วทั้ง 3 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และพบว่าน้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ก็มีค่าสี a ที่มีค่าความเป็นบวกที่สูงกว่าในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ และพบว่าน้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์จากแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าสี b ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และมีค่าสี b เป็นบวกหมดทั้ง 3 สายพันธุ์ นั่นคือมีค่าเป็นสีเหลืองทั้งหมด ซึ่งมีค่าความเป็นสีเหลืองที่สูงกว่าในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ดังนั้นการฟอกสีจึงไม่ควรทำในน้ำมันแมคคาเดเมียและน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วพบว่าน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ มีจุดหลอมเหลวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และจุดหลอมเหลวของน้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าน้อยกว่าจุดหลอมเหลวในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ส่วนผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีโดยน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วพบว่าทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าไอโอดีน, ค่าของกรด และค่าเปอร์ออกไซด์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าไอโอดีนและค่าของกรดของน้ำมันแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วมีค่าน้อยกว่าค่าไอโอดีนและค่าของกรดในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ แต่มีค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์สูงกว่าในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากความร้อนในขั้นตอนต่างๆ ในการทำให้บริสุทธิ์ โดยเฉพาะในขั้นตอนการฟอกสี หากไม่ต้องฟอกสีและระบบทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ทำในระบบปิดคาดว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันแมคคาเดเมียบริสุทธิ์จะมีค่าลดลง น้ำมันจากแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 มีค่าสปอนนิฟายสูงกว่าอีก 2 สายพันธุ์ คือมีค่าเป็น 191.178 ± 0.277 (mg

KOH/oil 1 g) แต่น้อยกว่าค่าสปอนนิฟายในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ และน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 มีค่าสารสปอนนิฟายไม่ได้น้อยที่สุดคือ 0.195 ± 0.002 (% by weight) แต่น้อยกว่าค่าสปอนนิฟายไม่ได้ในน้ำมันดิบของแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ และเมื่อน้ำมันดิบที่ได้มาผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ แล้วนำมาตรวจวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินอี จะพบว่าไม่สามารถตรวจพบวิตามินอีในน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ส่วนน้ำมันดิบจาก แมคคาเดเมียสายพันธุ์เชียงใหม่ 700 เมื่อนำไปผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้ว มีปริมาณน้ำมันบริสุทธิ์ที่ได้สุทธิสูงที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือร้อยละ 42.667 ± 0.667 ของน้ำมันแมคคาเดเมียดิบ

ข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนของกรรมวิธีทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ ควรมีการออกแบบระบบเป็นระบบปิดที่สามารถป้องกันการสัมผัสกับอากาศและแสงของน้ำมันในระหว่างกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ เพื่อป้องกันการเกิด oxidative rancidity และลดขั้นตอนการฟอกสีเนื่องจากสีของน้ำมันแมคคาเดเมียไม่มีสีเข้ม เพราะไม่มีเม็ดสีที่มีสีเข้มเหมือนน้ำมันพืชชนิดอื่นและขั้นตอนนี้น่าจะเป็นสาเหตุที่ ทำให้น้ำมันมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น และมีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น

บรรณานุกรม

กองบริการอุตสาหกรรม. 2535. การสกัดน้ำมันจากเมล็ดทานตะวัน. **อุตสาหกรรมเกษตร.** 3: 18-23.

จำรอง ดาวเรือง. 2538. **ลักษณะสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของแมคคาเดเมียในจังหวัดเชียงใหม่.** เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 172 น.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2529. **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน.** เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

_____. 2539. **เคมีอาหาร.** เชียงใหม่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

_____. 2540. **หลักการวิเคราะห์อาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 5. เชียงใหม่: คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 227 น.

_____. 2544. **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน.** พิมพ์ครั้งที่ 4. เชียงใหม่: คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 240 น.

ประเทืองศรี สินชัยศรี. 2532. การวิเคราะห์คุณภาพของผลแมคคาเดเมียที่ปลูกในประเทศไทย. ใน **เอกสารการสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง แมคคาเดเมียเพื่อพัฒนาเป็นพืชอุตสาหกรรม. ณ สมาคม วาย เอ็ม ซี เอ เชียงราย.** 26-27 กันยายน 2532.

ประสงค์ มั่นสลุง. 2544. **เอกสารเผยแพร่การเสวนา เรื่องการพึ่งพาตนเองทางเศรษฐกิจบนพื้นที่สูงวาวี จังหวัดเชียงราย.** ณ โรงแรมเวียงอินทร์ อ.เมือง จ.เชียงราย วันที่ 24-25 พฤศจิกายน 2544.

ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. 2528. **ชีวเคมี.** พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาสารคาม : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 77 น.

ประหยัด สามคง. 2542. **ไขมันและน้ำมัน.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรังสิต.

ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และ อรทัย คุ้มใหญ่โต. 2542. รายงานฉบับสมบูรณ์การศึกษาแนวทางในการผลิต และการใช้น้ำมันผ่านกรรมวิธีจากวัตถุดิบหนอนไหม (ดักแด้) เพื่อการบริโภค (ปีที่ 2). ใน **หน่วยวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์พื้นบ้าน สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่. 2543. เกษตรดีที่เหมาะสม: กาแฟอาราบิก้า แมคคาเดเมียนัท. ใน **เอกสารเผยแพร่ในโครงการอนุรักษ์สภาพป่าอมก๋อย ยางเปียง แม่ตื่น**. เชียงใหม่: สถาบันวิจัยพืชสวน, กรมวิชาการเกษตร. 15 น.

ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ และฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยี. 2541. แนวทางการวิจัยและพัฒนาการผลิตแมคคาเดเมีย. น. 2-19. ใน **เอกสารการสัมมนาเรื่อง แมคคาเดเมีย สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร ณ โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ 15 กันยายน 2541**. เชียงใหม่.

สรรเสริญ ทรัพย์โตษก. 2531. **โภชนาการเชิงชีวเคมี**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุมาลัย ศรีกำไลทอง, เรวดี นาคดี, จีระวัฒน์ เอี่ยมวัฒน์ และ สมนึก อายา. 2535. การผลิต PUFA จากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมปลากระป๋อง. ใน **โครงการวิจัยสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2516. น้ำมันและไขมันบริโภค (มอก.47-2516). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**. กระทรวงอุตสาหกรรม.

อภิชัย รุจิระชุณห์, ปราณี วราสวัสดิ์, อุมาพร ศิริพินทุ์, ธเนศ แก้วกำเนิด, สุมิตร เชื่อมชัยตระกูล, พัตรเพ็ญ เพ็ญจำรัส และ ณัฐรีพร จันทพันธ์. 2546. **รายงานผลการวิจัยเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีกระบวนการแปรรูปผลผลิตในพื้นที่ที่ได้รับการส่งเสริมการปลูกจากสถานีทดลองเกษตรที่สูงวาวี บ้านดอยช้าง**. เชียงใหม่: สภาวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

อรดา สถาพร. 2546. **การศึกษาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมีย**. เชียงใหม่: ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 26 น.

Addison, K. 2005. **Oil Yields and Characteristics**. [online]. Available http://www.journeytoforever.org/biodieselyield.html (28 September 2005).

AOAC. 1995. **Official Methods of Analysis**. Washington DC : Association of Official Analytical Chemists.

Chang, S. 1967. Processing of fish oils. p. 206-221. In Stansby M.E. and C. Westport (eds.) **Fish Oils: their Chemistry Technology Stability Nutritional Properties and Uses**. London: Avi Publishing.

Devries, J.W. 1979. **Liquid Chromatographic Analysis of Foods and Beverage**. New York: Academic Press.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2001. **The Codex Alimentarius**. Italy: Codex Publications. p. 65.

Food Resource. 2003. **Australian Macadamia Oil.** [online]. Available http://www.nutrient macadamia5.html (18 March 2003).

Frank, D. 2002. Vegetable oils. p.337. In Chema, D.C., T.K. Porng and N.D. Sourena. (eds.). **Food Technology**. US: Blackwell Publishers.

Golam, M., N. M. Sheik and A.S.M. Kamal. 1990. **A Handbook on Edible Oils and Fats**, Bangladesh: The University of Dhaka Publishers. p. 524.

Hamilton, R.J. 1980. **Fats and Oils Chemistry and Technology**. England: Applied Science Publishers.

Johnson, L.A. 1998. Recovery, refining, couverting and stabilizing edible fats and oils. In Akoh, C.C. and D.B. Min (eds.). **Food Lipids**. New York: Marcel Dekker Inc.

Kadman, A., U. Mertin, D. Basker and I. Rosenthal. 1984. Some Characteristics of Macadamia Nuts of the "Yonik" Variety. **California Macadamia Society**. 29: 142-143.

Kaijser, A., P.C. Dutta, and G. Savage. 2000. Oxidative stability and lipid composition of macadamia nuts grown in New Zealand. **Food Chemistry**. 71: 67-70

Pegg, R.B. 2000. Measurement of primary lipid oxidation products. In Aeree, T.E., E.A. Dekkee, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Sshwastz, C.F. Shoomaker, D.M. Smith, P. Sporns and R.E. Wrolstad (eds.). **Handbook of Food Analytical Chemistry**. Canada: Wiley and Sons Inc. Publishing.

Pigott, G.M. 1967. Production of fish oil. In Stanby, M.E. (ed.). **Fish Oils**. London: The AVI Publishing.

Rosenthal, I., U. Merin, D. Basker and A. Kadman. 1984. A study of Macadamia nuts of the "Yonik" variety. **Journal of Food Quality**. 7: 67-73.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพ

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐาน

1.1 การหาปริมาณความชื้น โดยวิธีของ Association of Official Analytical Chemists (AOAC. METHOD 40.1.04, 1995)

โดยนำตัวอย่างมา 2 กรัม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน < 100 mmHg (133 kPa) เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก และนำไปอบอีกหลายครั้งจนน้ำหนักคงที่

การคำนวณหาร้อยละของปริมาณความชื้น

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้} - \text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง})}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้}} \times 100$$

1.2 การหาปริมาณใยอาหาร โดยวิธีดัดแปลงของ Association of official Analytical Chemists (AOAC. METHOD 40.1.05, 1995) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณไฟเบอร์ (Fibertech Foss, Sweden)

1.2.1 เครื่องมือที่ต้องใช้

1.2.1.1 เครื่องชั่งละเอียด

1.2.1.2 ครูซิเบิล ขนาด P2

1.2.1.3 ตู้อบ 105°C หรือ ตู้อบสุญญากาศ ที่ 70°C

1.2.1.4 โถดูดความชื้น

1.2.1.5 เครื่องบดตัวอย่าง

1.2.1.6 ฟลาสก์สำหรับใส่ตัวอย่าง

1.2.1.7 อ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่ 100°C

1.2.1.8 Thermostat shaking water bath (Tecator model 1024)

1.2.1.9 pH meter

1.2.1.10 Filtration module (Tecator model 1023)

1.2.1.11 ไมโครปิเปตขนาด 50,100 µl

1.2.1.12 ขวดน้ำกลั่น

1.2.1.13 Muffle furnace ที่ 525°C

1.2.1.14 อะลูมิเนียมฟอยด์

1.2.2 สารเคมี (ตาม AOAC 991.43)

1.2.2.1 เอนไซม์เทอร์มามิล (heat-stable α-amylase) Catalog Number A 3306, Sigma Chemical Co., St. Louis Mo 63178, USA, or Termamyl 300L Catalog Number 361-6282, Novo-Nordirsk, Bagsvaerd, Denmark

1.2.2.2 เอนไซม์โปรติเอส Catalog Number P 3910, Sigma Chemical Co, เตรียมสารละลาย protease เข้มข้น 50 mg/ml ในสารละลาย MES-TRIS buffer ต้องเตรียมใหม่ทุกวัน

1.2.2.3 เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส Catalog Number AMG A9913, Sigma Chemical Co.,

1.2.2.4 เอธานอล 95%

1.2.2.5 เอธานอล 78% เตรียมโดยใช้เอธานอล 95% จำนวน 821 ml ใส่ขวดวัดปริมาตร เติมน้ำให้ครบ 1 ลิตร

1.2.2.6 อะซิโตน

1.2.2.7 MES.-2-(N-Morpholino) ethanesulfanic acid (No.M-8250, Sigma chemical Co.,)

1.2.2.8 TRIS.-Tris (hydroxymethyl) aminomethane (No. T-1503, Sigma Chemical Co.,)

1.2.2.9 MES-TRIS buffer solution–0.05M MES, 0.05M MES, 0.05M TRIS, pH 8.2 ที่ 24° เตรียมโดยละลาย 19.52 g MES และ 12.2 g TRIS ในน้ำ 1.7 ลิตร ปรับ pH ให้ได้ 8.2 ด้วย 6 N โซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังจากนั้นปรับให้ได้ 2 ลิตร

1.2.2.10 กรดเกลือ 0.561 M เตรียมโดยปิเปตกรดเกลือเข้มข้น ปริมาตร 46.00 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ ที่มีน้ำอยู่ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

1.2.2.11 ซีไลต์ 545

การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างที่สุ่มเพื่อหาใยอาหาร ควรเป็นตัวแทนที่ดีของตัวอย่าง โดยควรจะเป็นเนื้อเดียวกันก่อนที่จะทำการสุ่ม วิธีการช่วยทำให้ตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น การบด, การผสม, การโฮโมจิไนส์คนให้เข้ากัน, การเขย่า เป็นต้น ให้เลือกใช้วิธีให้เหมาะสมกับตัวอย่างนั้น โดยมากจะแบ่งตัวอย่างได้ 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ตัวอย่างที่เป็นของแข็ง และตัวอย่างที่เป็น semisolid หรือ paste

ตัวอย่างควรจะสัมผัสกับเอนไซม์มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เช่น การบดให้ขนาดเล็กลงจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวได้มากและทำให้ได้ผลที่ถูกต้อง แต่ในบางกรณีถ้าเราบดละเอียดเกินไปตัวอย่างจะแน่นมาก ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปได้ เนื่องจากมีช่องว่างให้แทรกเข้าไปได้น้อย วิธีนี้จะแก้ไขได้ด้วยการคนตัวอย่าง ด้วยแท่งแก้วหรือใช้ magnetic stirrer

ถ้าเป็นไปได้ต้องทำให้ตัวอย่างแห้งก่อนการวิเคราะห์ อาจทำการโฮโมจิไนส์ และอบให้ตัวอย่างแห้งก่อนที่จะบด ถ้าตัวอย่างเข้าตู้อบไม่ได้ต้องทำ freeze-dry ก่อนที่จะบด โดยบดอาหารที่ขนาดใหญ่กว่า 0.5 มิลลิเมตร ให้เล็กลงสามารถที่จะผ่านตะแกรง 0.3-0.5 มิลลิเมตร ได้

ถ้าตัวอย่างมีไขมันสูงหรือมีน้ำตาลสูง ต้องมีการสกัดไขมันหรือน้ำตาลออกก่อน

ตัวอย่างเป็นของแข็ง

ปกติเราจะบดตัวอย่าง ซึ่งความสม่ำเสมอจะช่วยทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ดี เช่น การบดให้มีความละเอียดมากโดยใช้ cyclotec mill จะทำให้เอนไซม์ย่อยได้ดีขึ้น ถ้าเอาตัวอย่างมาบดโดยใช้เครื่องบดธรรมดา เช่น ที่ใช้บดกาแฟ แล้ววิเคราะห์หา fiber ภายใต้สภาวะเดียวกันผลจะมีความแตกต่างกันมาก เพราะการย่อยด้วยเอนไซม์ อาจจะไม่ดี

ในกรณีหลังต้องโฮโมจิไนส์ และทำให้แห้งก่อนบด โดยบดให้มีขนาดที่สามารถผ่านตะแกรงที่มีช่องขนาด 0.3-0.5 มิลลิเมตร ได้

ตัวอย่างกึ่งของเหลวหรือเป็น paste

เป็นตัวอย่างที่ยากเพราะมีความแตกต่างด้านขนาดและความแข็งขององค์ประกอบ ดังนั้นให้ดูลักษณะของตัวอย่างเป็นเกณฑ์ อาจใช้วิธีต่างๆ เช่นทำให้เป็นของเหลวเลย หรือโฮโมจิไนส์หรือบด หรืออาจใช้หลายวิธีร่วมกัน บางครั้งการบดด้วยโกร่งบดสาร (ครกบด) ก็จะช่วยได้มากเพื่อจะได้ตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกัน

ที่สำคัญคือต้องทำตัวอย่างให้แห้งก่อนบด โดยบดให้มีขนาดที่สามารถผ่านตะแกรงที่มีช่องขนาด 0.3-0.5 มิลลิเมตรได้

ตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันสูง

ถ้าตัวอย่างมีไขมันเกิน 10% จะบดยาก หรือจำเป็นต้องใช้เครื่องบดพิเศษที่ใช้บดตัวอย่างเหล่านี้ เช่น tecator knife mill หรือเราอาจจะสกัดไขมันออกก่อนการวิเคราะห์หาไฟเบอร์ ก็ได้

การสกัดไขมันจะใช้ปิโตรเลียมอีเธอร์ สกัดโดยใช้ 25 มิลลิลิตร ต่อตัวอย่างประมาณ 1 กรัม และหาเปอร์เซนต์ความชื้นในตัวอย่างที่บดแล้ว โดยทำให้แห้งจนน้ำหนักที่หายไปจากการสกัดไขมัน หรือสกัดน้ำออก แล้วใช้ค่านี้เป็นค่าสำหรับคูณหา % dietary fiber ต่อไป

แต่ถ้าตัวอย่างสามารถบดได้โดยไม่ต้องสกัดไขมัน เราสามารถชั่งน้ำหนักตัวอย่างลงในครูซิเบิล (ที่ทราบน้ำหนักแล้ว) ได้เลย แล้วสกัดไขมันโดยใช้ filtration unit จากนั้นทำให้ตัวอย่างแห้ง แล้วจึงทำการหา % fiber

ตัวอย่างที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง

ถ้าตัวอย่างมีน้ำตาลสูง เช่น มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง สกัดให้น้ำตาลออกมาด้วย เอธานอล 85% ครั้งละ 10 มิลลิลิตร จำนวน 3 ครั้ง จากนั้นอบตัวอย่างให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ค้างคืน แล้วชั่งหาน้ำหนักน้ำตาลที่หายไป

การขจัดคาร์โบไฮเดรตออกจากตัวอย่างโดยใช้ ครูซิเบิลช่วย สามารถทำได้เช่นเดียวกันโดยใช้ filtration unit ช่วยกรอง หลังกรองแล้วทำให้แห้ง จึงนำมาวิเคราะห์ fiber ต่อไป

น้ำหนักตัวอย่าง

ใช้เครื่องชั่งละเอียดชั่งตัวอย่าง อย่าชั่งน้ำหนักตัวอย่างมากไป เพราะจะทำให้ เอนไซม์ที่ใส่ไม่พอเพียงในการย่อย ถ้าตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกันดี ให้ใช้น้ำหนักตัวอย่างน้อยลงได้ ซึ่งจะทำให้การกรองง่ายขึ้น

วิธีการหา Dietary fiber

การเตรียมครูซิเบิลก่อนใช้งาน

ทำความสะอาดครูซิเบิลโดยให้แช่ครูซิเบิลในน้ำยาล้างเครื่องแก้ว 2% ล้างครูซิเบิลด้วยน้ำสะอาดตามด้วยน้ำกลั่น หลังจากนั้นชะด้วยอะซิโตนทิ้งให้แห้ง

เติมซีไลต์ประมาณ 0.5 กรัม (ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน) ลงบนครูซิเบิลอบครูซิเบิลและซีไลท์ให้แห้ง (จนได้น้ำหนักที่คงที่) ทิ้งให้เย็น 1 ชั่วโมง ในโถดูดความชื้นจดน้ำหนักของครูซิเบิล และซีไลท์ ไว้

การอบตัวอย่าง

อบครูซิเบิลที่มีตัวอย่างค้างคืนในตู้อบสูญญากาศ 70 องศาเซลเซียส หรือในตู้อบ 105 องศาเซลเซียส แล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักละเอียด คำนวณน้ำหนักโดยลบน้ำหนักครูซิเบิล+ซีไลท์ ออก

การเผาเถ้า

เผาที่ 525องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทิ้งให้ครูซิเบิลเย็นลงต่ำกว่า 250 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำออกจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักละเอียด คำนวณน้ำหนักโดยลบน้ำหนักครูซิเบิล + ซีไลท์ออก

การหาโปรตีน

การหา undigestible protein นั้น ใช้ตัวอย่างอีกชุดหนึ่ง จากการทำ duplicate ปริมาณที่จะนำมาหาโปรตีนมีซีไลท์ ประมาณ 0.5 กรัม และตัวอย่างทั้งหมด ควรใช้วิธี Kjeldahl protein เนื่องจากมีปริมาณตัวอย่างมาก

ชั่งตัวอย่าง 1.0000 ± 0.005 g ใส่บนฝา Flask ทำ 2 ซ้ำ
(run 1 ครั้งจะมีตัวอย่าง ๆ ละ 2 ซ้ำ และมี Blank 2 ซ้ำ)

↓

ใส่ MES-TRIS buffer, ปริมาตร 40 ml, ปรับ pH เป็น 8.2 ปั่นกวนโดยใช้ magnetic stirrer
เพื่อให้ตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกัน
หลังจากนั้นเติมเอนไซม์เทอร์มามิล 0.05 ml ปั่นกวนเบา ๆ
ปิดฝา Flask ด้วยอะลูมินัมฟอยด์ บ่มที่ 95-100°C ด้วย shaking water bath 35 นาที

↓

ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิ 60±1°C สามารถใช้ช้อนเขี่ยเอาสิ่งที่ติดข้าง ๆ ลงไปใน flask ได้
หลังจากนั้นเอาน้ำล้างช้อนอีกครั้งหนึ่ง
เติมเอนไซม์โปรติเอส 5 mg บ่มที่ 60°C ด้วย shaking water bath 30 นาที
(อาจเตรียมโดยนำ เอนไซม์โปรติเอส 50 mg ละลายใน MES-TRIS buffer 1 ml
แล้วปิเปตใช้ครั้งละ 0.1 ml)

↓

เติมกรดเกลือ 0.561 N จำนวน 5 ml ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 4.0-4.7 ที่อุณหภูมิ 60°C (ต้องปรับ pH ที่อุณหภูมิ 60°C เพราะว่า pH เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง และตัวอย่างที่เป็น cereal, grain และ vegetable ไม่ต้องปรับ pH) เติมเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส 0.3 ml บ่มที่ 60°C ด้วย shaking water bath 30 นาที

↓

หา TDF

หา TDF

↓

ให้เติมเอธานอล 95%ที่อุ่นไว้ที่ประมาณ 60°C
ลงใน flask ๆ ละ 225 ml (ปริมาณ 4 เท่าของ solution ที่อยู่ใน flask)
ทิ้งให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชม.

↓

กรองใส่ในครูซิเบิลที่มีซีไลต์ 0.5 g (ทราบน้ำหนักที่แน่นอนของครูซิเบิล และซีไลต์)
วาง ครูซิเบิลตำแหน่งกรอง ล้างตะกอนด้วยเอธานอล 78% 15 ml 2 ครั้ง,
และ เอธานอล 95% 15 ml 2 ครั้ง
ย้ายครูซิเบิล ไปตำแหน่งล้าง ทำการล้างด้วย อะซิโตน 15 ml 2 ครั้ง

↓

นำครูซิเบิล ที่มี residure+celite อบที่ 105°C ค้างคืน
ตั้งทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักโดยหักค่าซีไลต์ และครูซิเบิล (จะได้ค่า residue weight)

↓

นำ ครูซิเบิล ซ้ำ 1 และแบลงค์ ซ้ำ 1 ไปหาปริมาณโปรตีน (จะได้ $mg_{protein}$, $B_{protein}$), นำครูซิเบิล ซ้ำ 2 และแบลงค์ ซ้ำ 2 ไปเผาที่ 525°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่เหลือ (จะได้ B_{ash}, mg_{ash})

ภาพ 4 ขั้นตอนการหาปริมาณใยอาหารทั้งหมด (TDF) , (AOAC 991.43)

สูตรคำนวณหา TDF

$$TDF(g/100\ g) = [(R_1+R_2)/2) - mg_{protein} - mg_{ash}-B)/((M_1+M_2)/2)] \times 100$$

Residue weight (R) = (residue + celite + crucible) หลังอบ – (celite + crucible)

B = Blank (mg) คำนวณจากสูตรต่อไปนี้

$B = (B_1+B_2)/2 - B_{protein} - B_{ash}$

B_1 / B_2 = Residue individual blank values (mg)

$B_{protein}$ = Protein (mg) in blank

B_{ash} = Ash (mg) in blank

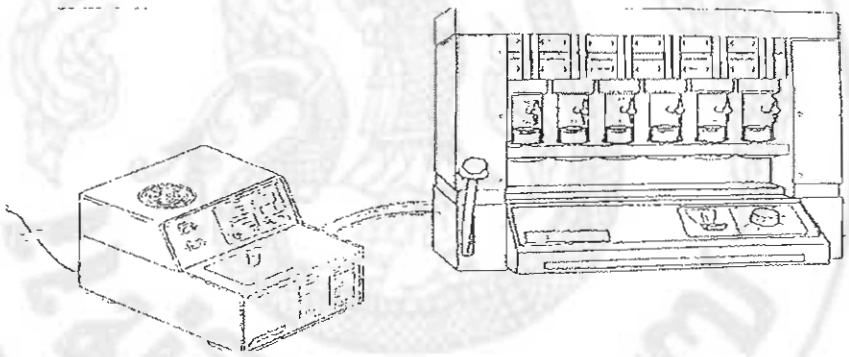
$mg_{protein}$ = protein (mg) in sample residue

mg_{ash} = Ash (mg) in sample residue

R_1/R_2 = Residue weights (mg) of sample duplicates

M_1/M_2 = Weights (mg) of sample duplicates

1.3 การหาปริมาณไขมัน โดยวิธีดัดแปลงของ Association of official Analytical Chemists(AOAC.METHOD 40.1.05, 1995) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxtech Tecator Series1043)



ภาพ 5 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxtech Tecator Series1043)

วิธีการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ไขมัน (soxtec)

ตรวจดูในถังน้ำหล่อเย็นก่อน ถ้าไม่มีให้เอาน้ำกลั่นมาใส่ให้ได้ระดับท่วมท่อสารให้ความเย็น แล้วเช็คอัตราการไหลของน้ำให้ได้ 2 ลิตร/นาที โดยเปิดก๊อกและจับเวลาวัดปริมาณแล้วปิดสวิทช์ cool และ breaker ของคอนเดนเซอร์ ตั้งอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นปกติ ตั้งที่ 15°C จากนั้นเปิดสวิทช์ปั๊ม

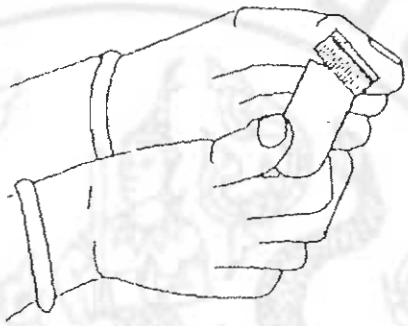
1.3.1. การเปิดเครื่อง

1.3.1.1 ตรวจระดับของน้ำมันใน service unit ถ้ามีต่ำกว่าระดับที่กำหนดให้เติม silicone oil

1.3.1.2 เปิดสวิทช์เครื่องแล้วกดปุ่ม read set จะมีไฟออก จากนั้นตั้งอุณหภูมิของ solvent (ชนิดของ solvent และอุณหภูมิที่ใช้ดังปรากฏในคู่มือ) โดยหมุนปุ่ม set ถ้าต่ำไป กด reset ถ้าสูงไปปิดเครื่องทิ้งไว้สักพัก

1.3.2. การสกัด

1.3.2.1 นำ thimbles ต่อเข้ากับ adapters ใช้มือต่อโดยใส่ถุงมือยาง (ภาพ 6)

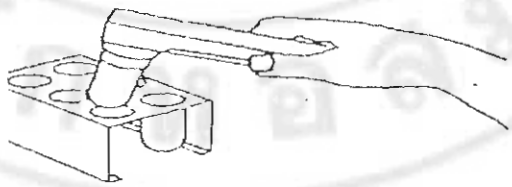


ภาพ 6 การนำ thimbles ต่อเข้ากับ adapters

1.3.2.2 กดปุ่ม read/set อีกครั้งเพื่อเช็คอุณหภูมิว่าตรงตามต้องการหรือไม่

1.3.2.3 ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ไม่มีไขมัน ห่อให้มิดชิดและใส่ใน thimbles หรือชั่งตัวอย่างใน thimbles โดยใช้ thimbles support

1.3.2.4 นำ thimbles มาวางไว้ที่ thimbles stand โดยใช้ thimbles handler จับ (ภาพ 7) (เป็นระบบแม่เหล็ก)

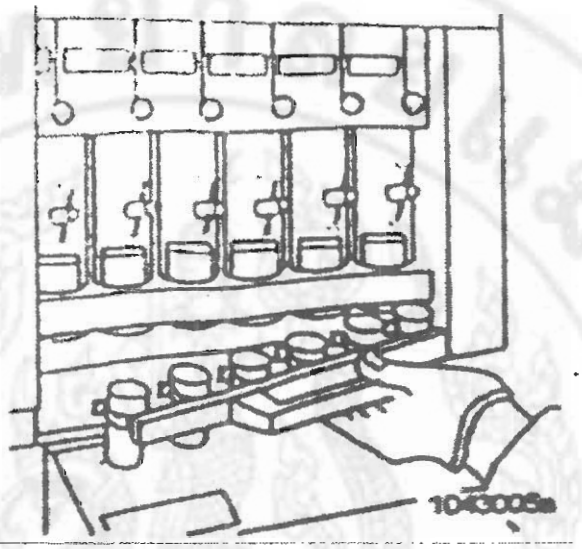


ภาพ 7 การนำ thimbles ไปบรรจุตัวอย่างและชั่งน้ำหนัก

1.3.2.5 ใส่สำลีที่สกัดไขมันออกแล้วไปบนตัวอย่าง ไม่ต้องใส่มาก และแน่น ขั้นตอนนี้ทำเพื่อไม่ให้ตัวอย่างลอยออกจากทิมเบิล

1.3.2.6 ย้าย thimbles จาก stand ไปใส่ใน thimbles support ที่ตอดอยู่กับคลิบ holder

1.3.2.7 นำ thimbles ต่อกับ condensors หมายเหตุ คันโยกทั้ง 6 ของเครื่อง สกัดต้องอยู่ในตำแหน่ง rinsing (ภาพ 8)



ภาพ 8 การนำ thimbles ต่อกับ condensors

1.3.2.8 เลื่อนคันโยกมาที่ตำแหน่งของ boiling แม่เหล็กจะจับกับ adapter ของ thimbles ไว้จากนั้นเลื่อนคันโยกมาที่ตำแหน่ง rinsing จะพบว่า thimbles จะมาอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่า condensors valve เล็กน้อย

1.3.2.9 นำ extraction cups ที่สะอาดแห้งและชั่งน้ำหนักแล้วใส่ตัวทำละลายประมาณ 50 ml ใส่ในเครื่อง soxtex system HT โดยใช้ cups holder สอดใต้คอนเดนเซอร์แล้วโยกคันโยกลงเป็นคันโยกอันใหญ่อยู่ซ้ายมือด้านล่างการจะโยกได้ต้องกดปุ่มก่อน เมื่อโยกเสร็จแล้วปล่อยปุ่ม **โดยคันโยกของอากาศต้องอยู่ในตำแหน่งปิด**

1.3.2.10 เปิดวาล์วของคอนเดนเซอร์ทั้ง 6

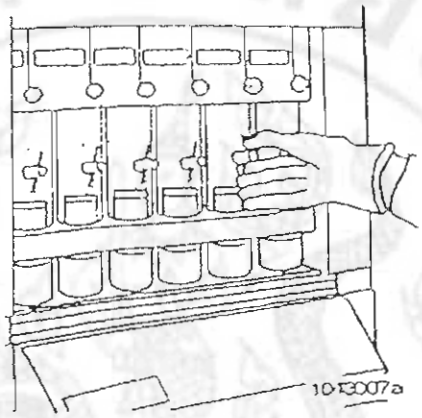
1.3.2.11 เลื่อนคันโยกทั้ง 6 มาที่ตำแหน่ง boiling ขณะนี้ thimble จะจุ่มอยู่ในตัวทำละลาย

1.3.2.12 ทำการสกัดเป็นเวลา 15 นาที (เวลาอาจเปลี่ยนไปถ้าตัวอย่างสกัดยาก) และต้องแน่ใจว่าวาล์วของคอนเดนเซอร์อยู่ในตำแหน่งเปิด

1.3.2.13 เลื่อนคันโยกมาที่ตำแหน่ง rinsing และทำการ rinsing เป็นเวลา 30 นาที ขณะนี้ thimbles จะอยู่ในตำแหน่งเหนือผิวตัวทำละลาย

1.3.3 การนำตัวทำละลายกลับคืนมา (recovery) และการนำ thimble และ extraction cups ออกจากเครื่อง

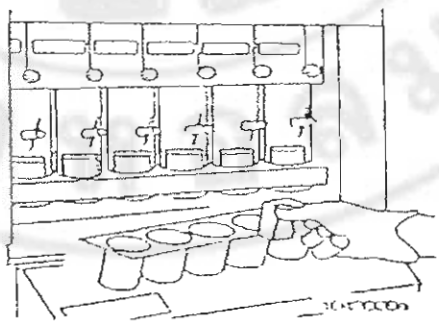
1.3.3.1 หลังจาก rinsing เสร็จแล้วให้ปิด condensors valve โดยหมุนไป ¼ รอบ จะพบว่า solvent ที่ระเหยจะไม่ไหลกลับไปสู่ตัวอย่างอีกจะค้างอยู่ด้านบนจนได้ระดับ solvent คงที่ (ทั่วไปใช้เวลา 10 นาที) (ภาพ 9)



ภาพ 9 การปิด condensors valve โดยหมุนไป ¼ รอบ

1.3.3.2 เมื่อตัวทำละลายระเหยมารวมกันใน condensors จนเกือบหมดแล้ว ให้เปิดสวิทช์ air service unit และเปิด evaporation valve โดยยกคันโยกของส่วนสกัดไปตรงตำแหน่ง evaporator ที่ส่วนของ extraction unit เพื่อให้ตัวทำละลายส่วนที่เหลือระเหยขึ้นไปรวมกันใน condensors จนหมด

1.3.3.3 ปิด evaporation valve นำ extraction cups ออกจากเครื่องโดยใช้ cups holder (ภาพ 10) เพื่อนำไปอบต่อไป

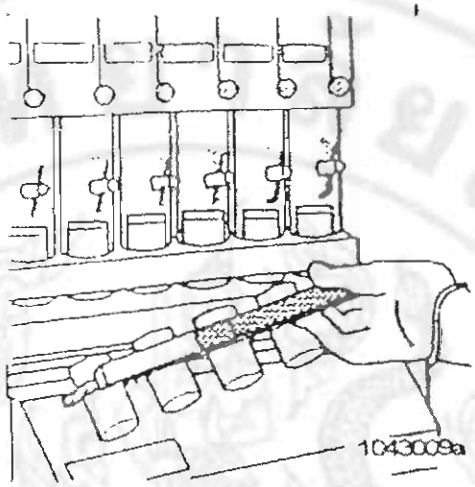


ภาพ 10 การนำ extraction cups ออกจากเครื่องโดยใช้ cups holder

1.3.3.4 ตั้ง thimbles support บน hot plate

1.3.3.5 เลื่อน thimbles ลงมาใน thimbles support โดยเลื่อนคันโยกจากตำแหน่ง rinsing ไปตำแหน่ง boiling

1.3.3.6 นำ thimbles support ที่มี thimbles อยู่ออกมาจากเครื่อง (ภาพ 11)



ภาพ 11 การนำ thimbles support ที่มี thimbles อยู่ออกมาจากเครื่อง

1.3.3.7 ถ้าต้องการสกัดต่อให้นำ thimbles และ extraction cups ชุดใหม่ใส่เข้าเครื่อง soxtec system แล้วเช็คปริมาณ solvent ก่อนถ้าไม่พอใช้ (40-50 ml ให้เติมดังข้อหมายเหตุหน้าต่อไป) และเปิด condensor valves

1.3.3.8 อบ extraction cups ที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

1.3.3.9 ใส่ extraction cups ใน dessicator จนเย็น

1.3.3.10 ชั่งน้ำหนัก extraction cups เพื่อหาน้ำหนักของไขมันที่สกัดได้

สูตรการคำนวณ % FAT/OIL

$$\% \text{ FAT / OIL} = \frac{W_3 - W_2}{W_1} \times 100$$

เมื่อ W_1 แทนน้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

W_2 แทนน้ำหนักของ extraction cup ก่อนสกัด (กรัม)

W_3 แทนน้ำหนักของ extraction cup หลังสกัด (กรัม)

1.4 การหาปริมาณโปรตีน โดยวิธีดัดแปลงของ Association of official Analytical Chemists (AOAC. METHOD 2.4.03, 1995) โดยใช้เครื่องย่อยและเครื่องกลั่นของ Kjeldahl nitrogen : Foss, Sweden

1.4.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

1.4.1.1 เครื่องมือวิเคราะห์โปรตีนแบบ Kjeltec system ยี่ห้อ Tecator Digestion System 12 Distilation Unit1026

1.4.2 สารเคมีที่ต้องใช้ (A.R. grade ทุกชนิดยกเว้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ที่ใช้ในการกลั่น)

1.4.2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์, NaOH (ใช้ Technical Grade ได้)

1.4.2.2 กรดบอริค, H_3Bo_3

1.4.2.3 แอนไฮดรัสโซเดียมคาร์บอเนต, Na_2Co_3

1.4.2.4 บรอมคลีซอลกรีน

1.4.2.5 เมธิลเรด

1.4.2.6 เอธานอล 95%, C_2H_2OH

1.4.2.7 กรดซัลฟูริคเข้มข้น, H_2SO_4

1.4.2.8 กรดเกลือเข้มข้น, HCI (เข้มข้น 37% หรือ 12 mol/L)

1.4.2.9 แคตาลิสต์ Kjeltabs Catalysts แต่ละเม็ดประกอบด้วยโปตัสเซียมซัลเฟต 3.5 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต 0.4 กรัม

1.4.2.10 น้ำกลั่น หรือ น้ำดีไอออไนส์

1.4.2.11 หลอดทดลองที่ใช้มี 2 ขนาดคือ ขนาดใหญ่ (ระบบ macro) มีขนาด 250 มิลลิลิตร ขนาดเล็ก (ระบบ Semi-micro) มีขนาด 100 มิลลิลิตร

1.4.3 สารละลายที่ต้องใช้และวิธีเตรียม

1.4.3.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40% ใช้ Technical Grade เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4,000 กรัม ในน้ำกลั่น 10 ลิตร

1.4.3.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 mol/L ใช้ชนิด A.R. grade เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ มาเตรียมให้เข้มข้น 1 mol/L ปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยเตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร และปรับให้ได้ปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.4.3.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 mol/L เตรียมโดยปิเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 mol/L (จากในข้อ 2) มา 25 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 250 มิลลิลิตร

1.4.3.4 สารละลายบรอมคลีซอลกรีน เตรียมโดยละลายบรอมคลีซอลกรีน 0.1 กรัมใน เอธานอล 95% จำนวน 100 มิลลิลิตร

1.4.3.5 สารละลายเมธิลเรด เตรียมโดยละลายเมธิลเรด 0.1 กรัม ในเอธานอล 95% จำนวน 100 มิลลิลิตร

1.4.3.6 สารละลายอินดิเคเตอร์ชนิดผสม เตรียมโดยละลายบรอมคลีซอลกรีนและ เมธิลเรดอย่างละ 0.1 กรัม ในเอธานอล 95% จำนวน 100 มิลลิลิตร

1.4.3.7 สารละลายกรดบอริคเข้มข้น 4% เตรียมโดยละลายกรดบอริค 40 กรัมในน้ำกลั่นประมาณ 6 ลิตร แล้วนำไปตั้งบน Hot plate ต้มและคนจนละลายหมด จากนั้นให้ปรับปริมาณด้วยน้ำกลั่นที่ร้อนจนได้ปริมาตรประมาณ 9 ลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมสารละลายบรอมคลีซอลกรีน (ในข้อ 1.4.3.4) และสารละลายเมธิลเรด (ในข้อ 1.4.3.5) ลงไป 100 และ 70 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปรับปริมาตรให้เป็น 10 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นและเขย่าให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

การปรับกรดบอริคให้เป็นกลางทำโดยปิเปต สารละลายกรดบอริค ดังกล่าวมา 25.00 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ถ้าสารละลายยังมีสีแดงให้ไตรทด้วย 0.1 mol/L โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ในข้อ 1.4.3.3) จนกระทั่งสารละลายในขวดรูปชมพู่เปลี่ยนเป็นสีเทา จากปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรทดังกล่าวให้คำนวณหาปริมาตรของสารละลาย 1 mol/L โซเดียม-ไฮดรอกไซด์ (ในข้อ 1.4.3.2) ที่ต้องใช้กับสารละลายกรดบอริค ทั้งหมด (10 ลิตร)

ml of 1M โซเดียมไฮดรอกไซด์ = ml of 0.1 M โซเดียมไฮดรอกไซด์ $\times 40$

แล้วเติมปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 M ปริมาณดังกล่าวลงไปในสารละลายกรดบอริค แล้วคนให้เข้ากัน

Note : ในกรณีใช้ระบบการไตเตรทแบบอัตโนมัติ ให้ใช้กรดบอริคเข้มข้น 1% ซึ่งมีวิธีการเตรียมดังต่อไปนี้

การเตรียมกรดบอริคเข้มข้น 1% ละลายกรดบอริค 100 กรัมในน้ำกลั่น 10 ลิตร แล้วเติมอินดิเคเตอร์ ทั้ง 2 ชนิดเช่นเดียวกับเตรียมกรดบอริคเข้มข้น 4% จากนั้นปรับกรดบอริค 1% ให้เป็นกลางโดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1M จำนวน 30 มิลลิลิตร แล้วคนให้เข้ากัน

จากนั้นตรวจสอบสมบัติของกรดบอริค 1 % เช่นเดียวกับการตรวจสอบกรดบอริค 4%

การตรวจสอบสมบัติของกรดบอริค 4% ปิเปตกรดบอริคที่ปรับให้เป็นกลางแล้ว ปิเปตกรดบอริคจำนวน 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วรูปชมพู่วางในเครื่องกลั่น นำหลอดที่ทดลองของ blank มากลั่นเป็นเวลา 5 นาที โดยให้สารที่กลั่นได้ถูกจับโดยกรดบอริค จากนั้นนำมาไตเตรทด้วยสารละลายกรดเกลือเข้มข้น 0.2 M จนได้จุดยุติสีเทา ถ้าใช้กรดเกลือตั้งแต่ 0.15 มิลลิลิตรขึ้นไป ถือว่ากรดบอริคที่เตรียม ยังไม่มีความเหมาะสมในการใช้งาน ให้แก้ไขโดยเติมกรดเกลือเข้มข้น 2 M ประมาณ 10-20 มิลลิลิตร ลงในถังเก็บกรดบอริคที่เตรียมแล้วคนให้ทั่ว แล้วนำมาตรวจสอบซ้ำ จึงปรับด้วยกรด (ถ้าเติมกรดไม่พอ) หรือปรับด้วยเบส (ถ้าเติมกรดมากไป) จนได้ปริมาตรกรดเกลือเข้มข้น 0.2 M ที่ใช้ในการไตเตรทกับกรดบอริคที่จับสารที่ได้จากการกลั่นแบลงค์แล้วในช่วงปริมาตร 0.05-0.15 มิลลิลิตร

Note 1 สารละลายที่ถูกต้องจะมีสีม่วงแดง

Note 2 ก่อนตรวจสอบสมบัติของกรดบอริคต้องเตรียมหลอดที่เป็นแบลงค์ 1 ชุด (6-12 หลอด) แล้วทำการย่อยเช่นเดียวกับตัวอย่างก่อนนำมาใช้ทดสอบสมบัติของแบลงค์

1.4.3.8 สารละลายมาตรฐานกรดเกลือเข้มข้น 0.1 mol เตรียมโดยตวงสารละลายกรดเกลือเข้มข้นมา 8.2 มิลลิลิตรแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร

การปรับมาตรฐานความเข้มข้นของกรดเกลือ: ชั่งแอนไฮดรัสโซเดียมคาร์บอเนต มาประมาณ 5 กรัม ใส่ในโกร่งบดสาร แล้วบดให้ละเอียดใส่ในตู้อบไว้ที่อุณหภูมิ 265 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือที่ 200องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น เทใส่ขวดที่มีฝาปิดแล้วเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

ชั่งแอนไฮดรัสโซเดียมคาร์บอเนตจากข้างต้นมาประมาณ 0.13 กรัมอย่างละเอียดใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร และหยดสารละลายอินดิเคเตอร์ชนิดผสม (ในข้อ 1.4.3.6) ลงไป 5 หยด แล้วไตเตรทด้วยสารละลายกรดเกลือ จนสารละลายในขวดรูปชมพู่เปลี่ยนเป็นสีชมพู จดปริมาตรของกรดเกลือที่ใช้ไว้ (สมมติเป็น A1) นำสารละลายในขวดรูปชมพู่ไปต้มให้เดือดประมาณ 2-3 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (ขณะนี้สารละลายจะมีสีม่วง) แล้วทำการไตเตรทด้วยสารละลายกรดเกลือ ต่อจนได้สีชมพูอีกครั้ง จดปริมาตรในคราวนี้ไว้ (สมมติเป็น A2) คำนวณความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือ ได้ดังนี้

$$\text{concentration of HCl (mol/L)} = \frac{2000 \times \text{accurately weight of } Na_2CO_3}{\text{molecular weight of } Na_2CO_3 \times (A1 + A2)}$$

1.4.3.9 สารละลายกรดเกลือ 0.2 M เตรียมโดยใช้สัดส่วนในข้อ 1.4.3.8 แต่ใช้กรด 2 เท่า

1.4.4 วิธีวิเคราะห์สารตัวอย่าง

การย่อย

1.4.4.1 ชั่งสารตัวอย่างมาอย่างละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม ถ้าใช้หลอดเล็ก อาหารแห้งใช้ 0.2-0.5 กรัม อาหารเปียกใช้ 1 กรัม ถ้าใช้หลอดใหญ่ อาหารแห้งใช้ 1 กรัม อาหารเปียกใช้ 2 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อย (อาหารต้องทำให้มีขนาดเล็กก่อนโดยการบดหรือปั่น)

1.4.4.2 ใส่แคตาลิสต์ ลงไป 1 เม็ด

1.4.4.3 เติมกรดซัลฟูริคเข้มข้นลงไปประมาณ 5 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ เพื่อให้ตัวอย่างเปียก

1.4.4.4 ทำแบลงค์เช่นเดียวกับตัวอย่างเพียงแต่ไม่ใส่ตัวอย่าง

1.4.4.5 ตั้งหลอดย่อยของทั้งตัวอย่างและแบลงค์ในที่ตั้งให้ครบทุกช่อง สวมฝาครอบลงบนส่วนบนของหลอดย่อย

1.4.4.6 ยกหลอดย่อยและฝาครอบใส่ในเครื่องย่อย (digester ที่เปิดไว้จนร้อนที่ 420 องศาเซลเซียส โดยไม่ให้มีบล็อกว่างเลย)

1.4.4.7 ย่อยพร้อมกับตั้งอัตราการไหลของอากาศของ exhaust manifold เต็มที่เป็นเวลา 5 นาที โดยหมุนวาล์วการดูดอากาศของเครื่อง exhaust manifold ไปที่ open จากนั้นลดอัตราการไหลของอากาศลงโดยหมุนวาล์วไปอยู่กึ่งกลางของ open กับ close เพื่อให้ไอกรดหมุนเวียนอยู่ในระบบ

1.4.4.8 ย่อยต่อไปประมาณ 30-40 นาที จนได้สารละลายที่ใสอาจมีสีฟ้าอ่อนหรือสีเขียวอ่อน

1.4.4.9 ยกหลอดย่อยมาวางบนที่ตั้ง ตั้งไว้ข้าง ๆ และทิ้งไว้ให้เย็นในขณะที่ยังปิดฝาอยู่ อาจใช้พัดลมเป่าให้เย็นเร็วขึ้น เมื่อเย็นแล้วจึงเปิดฝาและวางฝาบนถาดที่ใช้รองรับฝา (drip pan)

1.4.4.10 กดปุ่มด่าง (ALKALI) ประมาณ 2-3 ครั้ง จนแน่ใจว่าในท่อด่างไม่มีฟองอากาศหลงเหลืออยู่โดยมีหลอดรองรับด่าง เช็คปริมาณด่างและน้ำให้ได้คือ

ระบบ Semi – Micro (ml/stroke)	
น้ำ	25
ด่าง	20

Note ปริมาณด่างที่ใช้ใช้เป็น 4 เท่าของกรดซัลฟูริคที่ใช้ในการย่อยเพื่อให้มีปริมาณด่างเกินพอ มิฉะนั้นจะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟต์ซึ่งเป็นกรดอย่างแรง ซึ่งจะทำให้อินดิเคเตอร์เป็นสีแดงทำให้ไม่ได้ผลการทดลอง

1.4.4.11 เปิดก๊อกน้ำเพื่อหล่อเย็นเครื่องควบแน่น และเปิดสวิทตซ์ ของเครื่องกลั่นโดยกดปุ่ม power

1.4.4.12 อุ่นเครื่องโดยใช้ฟลาสเปล่าและหลอดย่อยที่บรรจุน้ำกลั่นประมาณครึ่งหลอดใส่เข้าประจำที่ในเครื่องกลั่น แล้วกดปุ่ม (STEAM) จะมีน้ำกลั่นจากแท็งก์ไหลเข้าหลอดในปริมาตรที่ตั้งไว้โดยอัตโนมัติ) เพื่อกลั่นเป็นเวลา 5 นาที (ขณะนี้ไฟที่ STEAM จะสว่าง)

1.4.4.13 ปิด STEAM โดยกดปุ่ม (STEAM) อีกครั้งหนึ่ง (ไฟที่ STEAM จะดับ) นำ หลอดย่อยและฟลาสก์ออกจากเครื่องกลั่น (สิ้นสุดการอุ่นเครื่อง)

1.4.4.14 กดปุ่มเพื่อตั้งปริมาณของ ALKALI DELAY และเวลาที่ใช้ในการกลั่น (STEAM) ตามต้องการค่าที่สามารถตั้งได้คือ ALKALI 0 หรือ 2 หรือ 3 strokes

DELAY 0.0 ถึง 9.9 นาที (ปกติใช้ 0.5 นาที)

STEAM 0.0 ถึง 9.9 นาที (ปกติใช้ 4 นาทีสำหรับระบบ semi-micro และ 5 นาทีสำหรับระบบ Macro)

Note เราสามารถกดปุ่มเพื่อตั้งจำนวน stroke ของ ALKALI ได้มากกว่า 3 แต่ตั้งแต่ stroke ที่ 4 ขึ้นไปจะไม่มีด่างไหลออกมา

1.4.4.15 นำฟลาส์กซึ่งบรรจุ กรดบอริคเข้มข้น 4% จำนวน 25 มิลลิลิตร ไปตั้งไว้บน ฐานที่ยกขึ้นลงได้ ของเครื่องและยกฐานขึ้นให้ปลายแท่งแก้วจุ่มอยู่ใต้กรดบอริค

1.4.4.16 ใส่หลอดย่อยที่ผ่านการย่อยมาแล้วในเครื่องกลั่น ควรเริ่มต้นจากหลอดที่เป็นแบลงค์ก่อนแล้วจึงตามด้วยหลอดที่ใส่สารตัวอย่าง

1.4.4.17 กดปุ่ม (AUTO) ขณะเปิดประตูพลาสติกใสเพื่อเลือกการทำงานแบบอัตโนมัติ (ไฟที่ AUTO จะสว่าง)

1.4.4.18 ปิดประตูน้ำและด่างจะไหลเข้าไปยังหลอดย่อยโดยอัตโนมัติแล้วจะมีการกลั่นเกิดขึ้น

1.4.4.19 เมื่อกลั่นเสร็จ 90% ของเวลาแล้วฐานรองฟลาสก์ จะเลื่อนลงมาเอง พยายามอย่าให้หลอดแท่งแก้วจุ่มของเหลวในฟลาสก์ เมื่อฟลาสก์เลื่อนลงมาแล้วเอาฟลาสก์และหลอดย่อยออกจากเครื่องกลั่น โดยห้ามใช้มือจับหลอดที่จุ่มในหลอดย่อย (เมื่อกลั่นเสร็จสารละลายในฟลาสก์จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวแสดงว่าสารละลายดังกล่าวมีสารละลายด่างของแอมโมเนียอยู่)

1.4.4.20 นำฟลาสก์ไปไตเตรทกับสารละลายกรดมาตรฐานกรดเกลือเข้มข้น 0.1 หรือ 0.2 N ซึ่งบรรจุอยู่ใน titration unit จนได้จุดยุติเป็นสารละลายสีเทาอมน้ำเงิน

1.4.4.21 คำนวณปริมาณไนโตรเจนจากสูตร

$$\text{ร้อยละของปริมาณไนโตรเจน} = \frac{14.007 \times (V_a - V_b) \times C_a}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม} \times 10}$$

กำหนดให้

V_a = ปริมาตรของกรดเกลือที่ใช้ไตเตรทกับหลอดตัวอย่างเป็นมิลลิลิตร

V_b = ปริมาตรของกรดเกลือที่ใช้ไตเตรทกับหลอดแบลงค์เป็นมิลลิลิตร

C_a = ความเข้มข้นของกรดเกลือเป็นโมล่าร์

ปริมาณโปรตีน (%) = ปริมาณไนโตรเจน (%) × ค่าคงที่ (f)

กรณีการวิเคราะห์สารตัวอย่างทั่วไป ให้ใช้ f = 6.25

กรณีการวิเคราะห์สารตัวอย่างพวก dairy product (นม, เนย) ให้ใช้ f = 6.38

กรณีการวิเคราะห์สารตัวอย่างข้าวสาลี (wheat) ให้ใช้ f = 5.7

1.5 การหาปริมาณเถ้า (AOAC. METHOD 40.1.08, 1995)

อุปกรณ์

1.5.1 เตาเผา (muffle furnace: Carbolite, England)

1.5.2 โถดูดความชื้น

1.5.3 จานแพลตตินัม หรือจานกระเบื้องซิลิกาแบน

1.5.4 hot plate

สารเคมี

ก. น้ำมันมะกอก

วิธีการทดลอง

ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักแน่นอน 5-10 กรัม ใส่ลงในจานแพลตตินัมหรือจานกระเบื้องซิลิกาแบน ให้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และหยดน้ำมันมะกอกลงไปเล็กน้อย และให้ความร้อนอย่างช้าๆ โดยใช้ตะเกียงบุนเซนจนไม่มีควันดำ แล้วนำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 525 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว เติมน้ำอีกเล็กน้อยแล้วนำไประเหยบน hot plate และให้ความร้อนอย่างช้าๆ โดยใช้ตะเกียงบุนเซนจนไม่มีควันดำ แล้วนำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 525 องศาเซลเซียสอีกครั้งจนกระทั่งได้เถ้าสีขาว นำไปทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักเถ้า

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

2.1 การหาค่าความถ่วงจำเพาะ (AOAC. METHOD 40.1.08, 1990)

อุปกรณ์

ก. ขวดหาค่าความถ่วงจำเพาะ (density bottle)

วิธีการทดลอง

2.1.1 ชั่งขวดหาค่าความถ่วงจำเพาะที่แห้งและบันทึกน้ำหนัก

2.1.2 เปิดจุก เติมน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จนเต็ม แล้วจุ่มลงในอ่างน้ำ ที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

2.1.3 ยกขวดออกมาเช็ดให้แห้งสนิทแล้วชั่งน้ำหนัก

2.1.4 กรองน้ำมันด้วยกระดาษกรอง แล้วปรับให้ได้ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

2.1.5 ทดลองเช่นเดียวกันโดยใช้น้ำมันแทนน้ำ

2.1.6 คำนวณความถ่วงจำเพาะจาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมัน}}{\text{น้ำหนักน้ำที่ปริมาตรเท่ากัน}}$$

2.2 การหาค่าความขุ่น

อุปกรณ์

ก. เครื่องวัดค่าความขุ่น (Turbidimeter : Hach model 2001 , USA)

ข. sample cell

วิธีการทดลอง

2.2.1 ก่อนทำการวัดความขุ่นให้เปิดเครื่องเพื่ออุ่นเครื่องเป็นเวลา 30 นาที

2.2.2 จากนั้นทำการเตรียมตัวอย่างสำหรับวัด โดยนำตัวอย่างของของเหลวมาประมาณ 30 มิลลิลิตร เติมลงใน sample cell

2.2.3 ปิดฝา sample cell และหยด silicone oil ที่บริเวณด้านนอกของขวดลงไป 1 หยด แล้วใช้ผ้าเช็ดข้างหลอด sample cell เพื่อทำความสะอาดภายนอก

2.2.4 นำตัวอย่างที่บรรจุอยู่ใน sample cell ใส่ลงในช่องวัดตัวอย่างของเครื่อง แล้วปิดฝา

2.2.5 เลือกช่วงในการวัดค่าเป็น manual หรือ automatic range โดยกดปุ่ม Range

2.2.6 เลือกการหาค่าเฉลี่ยของการวัด โดยกดปุ่ม Signal Avg

2.2.7 เลือก detection ในการวัด กดปุ่ม Ratio ซึ่งถ้าค่าความขุ่นมากกว่า 40 NTU ให้เลือก Ratio on

2.2.8 เลือกหน่วยในการวัด (เป็น NTU, EBC, NEPH) โดยกดปุ่ม UNIT EXIT

2.2.9 จากนั้นเมื่อเลือกฟังก์ชั่นต่างๆ จากข้อ 5 ถึง 8 ครบแล้ว กด enter แล้ววัดความขุ่นของตัวอย่าง

2.3 การวัดค่าสี

อุปกรณ์

ก. เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter : Tri-stimulus model JC 801, Japan)

วิธีการทดลอง

2.3.1 เสียบปลั๊กและเปิดสวิสต์เพื่อ Stabilize เครื่องอย่างน้อยประมาณ 3 ชั่วโมง

2.3.2 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์จะเห็น menu ของ JUKI Colorimeter Software

2.3.3 เลือก 1. Measurement แล้วกด Enter

2.3.4 Set Zero Calibration โดยวางกล่องสีดำสำหรับกันแสงเข้าบนช่องทางแสงผ่านแล้วกด F1

2.3.5 จากนั้น Set Standard Calibration โดยวาง Standard white plateบนช่องทางแสงผ่านแล้วกด F1

2.3.6 นำ cuvett ที่ใช้บรรจุตัวอย่างบรรจุตัวอย่างลงไปในช่องที่มีฝาเปิดอยู่หลังจากนั้นทำการปิดฝาแล้วกด Enter ตามด้วย F1

2.3.7 วัดตัวอย่างอาหารตามวิธีในข้อ 8 ไปจดหมดตัวอย่าง

หมายเหตุ : ควร Calibrate เครื่องบ่อยๆ เมื่อทำงานไปได้หลายชั่วโมง นอกจากนี้ทุกครั้งที่เริ่มต้นวัดหรือมีการเปลี่ยนค่า ก็ควรทำการ Calibrate ด้วย

2.4 การหาค่าจุดหลอมเหลว

อุปกรณ์

ก. Capillary tube

ข. เทอร์โมมิเตอร์

วิธีการทดลอง

2.4.1 บรรจุน้ำมันในแต่ละสายพันธุ์ลงในหลอด Capillary tube หลังจากนั้นก็ทำการเผาปลายข้างหนึ่งให้ปิดสนิท (ในการบรรจุน้ำมันลงในหลอดต้องไม่มีฟองอากาศเกิดขึ้น)

2.4.2 นำไปไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน

2.4.3 นำมาวิเคราห์ค่าจุดหลอมเหลวโดย จุ่มหลอด Capillary tube ที่มีน้ำมันบรรจุอยู่ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำแข็งอยู่ แล้วมีการเติมเกลือลงไปเล็กน้อยลงในบีกเกอร์น้ำแข็ง หลังจากนั้นให้ความร้อนทีละน้อยไปเรื่อยๆจนน้ำมันมีการหลอมจนกลายเป็นของเหลวหมด อ่านค่าอุณหภูมิของน้ำมันที่วัดได้ในขณะที่น้ำมันหลอมจนหมดพอดี

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

3.1 ค่าไอโอดีน (Iodine mumber, I.N. หรือ Iodine value, I.V.) ตามวิธีดัดแปลงของ AOAC. method 920.159 :41.1.14, 1995

สารเคมี

ก. Hanus reagent (เตรียมโดยชั่งไอโอดีนมา 13.2 กรัมเติมลงในกรดอะซิติค (glacial ความเข้มข้น 99.5 เปอร์เซ็นต์) จำนวน 1 ลิตร เมื่อไอโอดีนละลายหมดแล้วเติมโบรมีนลงไป 3 มิลลิลิตรเขย่าให้ผสมเข้ากันดี เก็บไว้ในขวดสีชา และเตรียมใหม่ทุกวัน)

ข. สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์

ค. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตมาตรฐานความเข้มข้น 0.1 โมล่าร์

ง. น้ำแป้งความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์

วิธีการทดลอง

3.1.1 ทำ blank ควบคู่ไปด้วยโดยไม่ต้องใส่ตัวอย่างไขมันหรือน้ำมันและทำตัวอย่างละ 2 ซ้ำพร้อมกัน

3.1.2 ชั่งตัวอย่างไขมันหรือน้ำมันให้ทราบน้ำหนักแน่นอน (ไขมันใช้ประมาณ 0.2 กรัมและน้ำมันใช้ประมาณ 0.1 กรัม) ใส่ในฟลาส์คขนาด 250 มิลลิลิตร

3.1.3 เติมคลอโรฟอร์มลงไป 10 มิลลิลิตร(ใช้กระบอกตวง)

3.1.4 เติมสารละลาย Hanus reagent ลงไป 10 มิลลิลิตร โดยใช้ volumetric pipette ที่แห้งสนิทและใช้ pipette filler ช่วยใส่ทั้งในฟลาส์คตัวอย่างและ blank ปล่อยทิ้งไว้ในที่มืดนาน 30 นาที เขย่าเบาๆ เป็นครั้งคราว

3.1.5 เติมสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ลงไป 10 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3.1.6 นำไปไตเตรตหาปริมาณไอโอดีนด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตมาตรฐานความเข้มข้น 0.1 โมล่าร์ จนสารละลายมีสีเหลืองอ่อน

3.1.7 เติมน้ำแป้งลงไป 2-3 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายจะกลายเป็นสีฟ้า ไตเตรตต่อไปจนกระทั่งสีฟ้าจางหายไปหมดจนไม่มีสี เขย่าระหว่างการไตเตรชั่นเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์

3.1.8 จดปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ (= a มิลลิลิตร)

3.1.9 นำ blank มาไตเตรตเช่นเดียวกับตัวอย่าง (= b มิลลิลิตร)

3.1.10 คำนวณหาผลต่างของปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ (= b-a มิลลิลิตร)

วิธีคำนวณ

$$\text{ค่าไอโอดีน} = \frac{(b - a) \times 1.269}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)}}$$

3.2 ค่าซาพอนิฟิเคชั่น (Saponification Number, S.N. หรือ Saponification Value, S.V.)

วิธีดัดแปลงของ AOAC. Method 920.160 : 41.1.18 , 1995

สารเคมี

ก. สารละลายแอลกอฮอล์โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

ข. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริค ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล

ค. สารละลายฟีนอฟธาลีน ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์

วิธีการทดลอง

3.2.1 การหาค่าซาพอนิฟิเคชั่น ต้องทำ blank ไปพร้อมกันโดยไม่ต้องใส่น้ำมันตัวอย่างลงไป และต้องทำตัวอย่าง 2 ซ้ำพร้อมกัน

3.2.2 ชั่งน้ำมันตัวอย่าง ประมาณ 2 กรัมให้ทราบน้ำหนักอย่างละเอียดถึงทศนิยม4 ตำแหน่ง ใส่ลงไปในฟลาส์คขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2.3 ปิเปตสารละลายแอลกอฮอลิคโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 25 มิลลิลิตร โดยใช้ volumetric pipette ขนาด 25 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในฟลาส์ค

3.2.4 ปิดจุก โดยจุกที่ใช้ปิดต่ออยู่กับ reflux condenser

3.2.5 reflux สารผสมในฟลาส์คประมาณ 1 ชั่วโมง ใน boiling water-bath

3.2.6 เขย่าเป็นระยะ ๆ ตลอดเวลาที่ reflux จนครบ 1 ชั่วโมง

3.2.7 นำสารผสมในฟลาส์คมาไตเตรตหาด่างที่เหลือกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐานความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล โดยหยดสารละลายฟีนอฟธาลีนความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ลงไป 2-3 หยดเพื่อเป็นอินดิเคเตอร์

3.2.8 ไตเตรตจนถึงจุดยุติซึ่งมีสีชมพูอ่อน และเก็บฟลาส์คสารละลายไว้ใช้วิเคราะห์หาปริมาตรสารที่ซาปอนนิไฟด์ไม่ได้ (unsaponifiable matter) ต่อไป

3.2.9 บันทึกปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐานความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ที่ใช้กับ น้ำมันตัวอย่าง มีค่า = A และที่ใช้กับ blank มีค่า = B

วิธีคำนวณ

$$\text{ค่าซาพอนิฟิเคชั่น} = \frac{(B - A) \times N \times 56.1}{W}$$

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐานเป็นนอร์มัล

A = จำนวนมิลลิลิตรของกรดไฮโดรคลอริค ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ที่ใช้ ไตเตรตกับน้ำมันตัวอย่าง

B = จำนวนมิลลิลิตรของกรดไฮโดรคลอริค ความเข้มขน 0.5 นอร์มัล ที่ใช้ไตเตรตกับ blank

W = น้ำหนักตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ หน่วยเป็นกรัม

56.1 = น้ำหนักโมเลกุลของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

3.3 การวิเคราะห์หาสารที่ซาพอนิไฟด์ไม่ได้ (UnSaponifiable matters) วิธีดัดแปลงของ AOAC. Method 933.08: 41.1.39 (1995)

สารเคมี

ก. สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 3 โมล่าร์

ข. กรดไฮโดรคลอริค ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล

ค. สารละลายด้วยไดเอธิลอีเธอร์

ง. สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 โมล่าร์

วิธีการทดลอง

3.3.1 เมื่อไตเตรตหาค่าซาพอนิฟิเคชั่นแล้ว นำสารละลายทั้งหมดที่อยู่ในฟลาส์คมาทำให้เป็นด่างอีกครั้งหนึ่ง โดยการเติมสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 3 โมล่าร์ ลงไปมิลลิลิตร

3.3.2 เทสารละลายทั้งหมดใส่ลงใน separator

3.3.3 ล้างฟลาส์คด้วยน้ำกลั่น ปริมาตรของน้ำที่ใช้ 50 มิลลิลิตร ลบด้วยปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริค ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ที่ใช้ในการหาค่าซาพอนิฟิเคชั่น

3.3.4 สกัดสารละลายด้วยไดเอธิลอีเธอร์ 3 ครั้ง ๆ ละ 50 มิลลิลิตร

3.3.5 แยกไดเอธิลอีเธอร์ที่สกัดได้แต่ละครั้งใส่รวมกันใน separator อีกอันหนึ่งที่มีน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร

3.3.6 เขย่าให้ผสมกันเพื่อล้างไดเอธิลอีเธอร์ด้วยน้ำ ปล่อยตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นแล้วแยกเอาน้ำออกทิ้ง

3.3.7 ล้างไดเอธิลอีเธอร์ด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 20 มิลลิลิตร ซ้ำอีก 2 ครั้ง

3.3.8 หลังจากล้างด้วยน้ำกลั่นแล้ว ล้างไดเอธิลอีเธอร์ด้วยสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 โมล่าร์ ครั้งละ 20 มิลลิลิตร อีก 2 ครั้ง

3.3.9 ล้างด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 20 มิลลิลิตรอีกอย่างน้อย 2 ครั้งจนน้ำที่ล้างไม่เป็นด่างต่อฟีนอฟธาลีน

3.3.10 เทไดเอธิลอีเธอร์ในฟลาส์คหรือบีกเกอร์ที่สะอาด แห้ง และทราบน้ำหนัก

3.3.11 ระเหยเอาไดเอธิลอีเธอร์ออกจนแห้งสนิทที่อุณหภูมิไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส (จนได้น้ำหนักคงที่)

3.3.12 ชั่งน้ำหนักที่ได้และคำนวณหาปริมาณของสารที่ซาพอนิไฟด์ไม่ได้

วิธีคำนวณ

$$\% \text{ ค่าสารที่ซาพอนิไฟด์ไม่ได้} = \frac{100 \times a}{P}$$

เมื่อ a = น้ำหนักของสารที่เหลือ

P = น้ำหนักน้ำมัน

3.4 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid Value , A.V.) หรือ Free Fatty Acid (FFA) (มอก, 2516)

สารเคมี

ก. ไดเอธิลอีเธอร์

ข. เอธิลแอลกอฮอล์

ค. สารละลายฟีนอฟธาลีน

ง. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 โมล่าร์

วิธีการทดลอง

3.4.1 ผสมไดเอธิลอีเธอร์ 25 มิลลิลิตร รวมกับเอธิลแอลกอฮอล์ 25 มิลลิลิตร ให้เป็นตัวทำละลายผสมหรือใช้เอธิลแอลกอฮอล์ (95 เปอร์เซ็นต์) 50 มิลลิลิตรเพียงชนิดเดียวก็ได้

3.4.2 เติมสารละลายฟีนอฟธาลีน (ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์) ลงไป 0.5 มิลลิลิตร

3.4.3 ค่อยๆ ไตเตรตตัวทำละลายผสมให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 โมล่าร์ (ใช้ด่างประมาณ 2-3 หยด)

3.4.4 ชั่งน้ำมันตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักแน่นอน (ใช้น้ำมัน 2 กรัม หรือไขมัน 10 กรัม)

3.4.5 ละลายน้ำมันตัวอย่างในตัวทำละลายผสมที่เป็นกลาง

3.4.6 ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 โมล่าร์

3.4.7 เขย่าพร้อมกับไตเตรตจนกระทั่งได้สารละลายสีชมพู ซึ่งคงตัวนานกว่า 15 วินาที

3.4.8 ผลการไตเตรตไม่ควรใช้สารละลายด่างเกิน 10 มิลลิลิตร ถ้าใช้มากกว่า 10 มิลลิลิตรต้องทำการทดลองใหม่ โดยใช้น้ำมันตัวอย่างให้น้อยลง

วิธีคำนวณ

$$\text{Acid Value} = \frac{V \times 5.61}{W}$$

V = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมล่าร์ที่ใช้

W = น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

1 มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมล่าร์เท่ากับ 5.6 มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

หากต้องการคำนวณค่า Acid value เป็นปริมาณของกรดไขมันอิสระในรูปเปอร์เซ็นต์ของกรดปาล์มิติค (ใช้กับน้ำมันปาล์ม) หรือกรดลอริค (ใช้กับน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์มเคอเนล) หรือกรดโอเลอิค (ใช้กับน้ำมันพืชอื่นๆ) สามารถคำนวณได้ดังนี้

1 มิลลิลิตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมล่าร์ ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดโอเลอิค 0.0282 กรัม หรือกรดปาล์มิติค 0.0256 กรัม หรือกรดลอริค 0.0200 กรัม

ปริมาณกรดไขมันอิสระ = A.V. x 2.19 (% FFA ในรูปกรดปาล์มิติค)

ปริมาณกรดไขมันอิสระ = A.V. x 2.81 (% FFA ในรูปกรดลอริค)

ปริมาณกรดไขมันอิสระ = A.V. x 1.99 (% FFA ในรูปกรดโอเลอิค)

3.5 การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value, P.V.) (Handbook of food analytical chemistry D2.1.6)

อุปกรณ์

ก. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

สารเคมี

ก. 7 : 3 chloroform / methanol solution

ข. xylenol orange

ค. iron II chloride

วิธีการทดลอง

3.5.1 เปิดเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และตั้งความยาวคลื่นที่ 560 นาโนเมตร ใช้เวลาเปิดเครื่องก่อนใช้งาน 30 นาที

3.5.2 ชั่งน้ำมันประมาณ 0.01 ถึง 0.3 กรัมให้ละเอียดจนถึงทศนิยม 4 ตำแหน่งลงในหลอดทดลอง

3.5.3 เติมสารละลายผสม 7 : 3 chloroform / methanol solution ลงไป 9.9 มิลลิลิตร และใช้ vortex ผสมให้เข้ากัน 2 ถึง 4 วินาที

3.5.4 set zero ด้วย สารละลายผสม 7 : 3 chloroform / methanol solution ใช้เป็น blank

3.5.5 เติม 50 ไมโครลิตรของ 10 มิลลิโมล xylenol orange ลงในตัวอย่างด้วยเครื่อง vortex mixer ผสมให้เข้ากัน 2 ถึง 4 วินาที และเติม 50 ไมโครลิตรของ iron II chloride และผสมให้เข้ากันอีกครั้งด้วยเครื่อง vortex mixer

3.5.6 ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 560 นาโนเมตร

3.5.7 การทำ standard curve โดยนำสารละลาย stock iron III เข้มข้น 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ที่เตรียมไว้มาทำการเจือจางให้ได้ความเข้มข้นต่างๆ โดยดูดมา 0.5, 1, 1.5, 2.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ แล้วเติมสารละลาย xylenol orange 50 ไมโครลิตร และปรับปริมาตรด้วยสารละลายผสม 7 : 3 chloroform / methanol solution ให้มีปริมาตรสุดท้ายเป็น 10 มิลลิลิตร

คำนวณโดยใช้สูตร

$$PV = \frac{[(A_S - A_B)M_i]}{(W \times 55.84 \times 2)}$$

โดย A_S = absorbance ของ sample

A_B = absorbance ของ blank

M_i = inverse ของ slope

W = น้ำหนักของตัวอย่าง

55.84 = มวลโมเลกุลของเหล็ก

3.6 การวิเคราะห์วิตามินอี ชนิด อัลฟาโทโคฟีรอล (α– Tocopherol) (Devries, 1997)

อุปกรณ์

ก. อ่างระเหย

ข. เครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (Vacuum rotary evapourator)

ค. เครื่องวิเคราะห์โครมาโตกราฟีความดันสูง(High performance liquid chromatography)

ง. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)

สารเคมี

ก. สารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้นร้อยละ 0.5

ข. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50

ค. ปิโตรเลียมเบนซิน

ง. โซเดียมซัลเฟต

จ. ไพโรกอลลอล

ฉ. สารมาตรฐานไวตามินอี ชนิดอัลฟาโทโคฟีรอล

ช. เมทานอล

ซ. เอทานอล

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1.1 ชั่งสารมาตรฐานไวตามินอี ชนิดอัลฟาโทโคฟีรอล 25 มิลลิกรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 5 มิลลิลิตร

1.2 ละลายด้วยเอทานอล 99.8 เปอร์เซ็นต์ 0.5-1 มิลลิลิตร แล้วถ่ายใส่ขวดปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วปรับด้วยเอทานอล 99.8 เปอร์เซ็นต์

1.3 ปิเปตสารละลายที่ได้ 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเอทานอล 99.8 เปอร์เซ็นต์

สามารถคำนวณหาค่าจำเพาะของไวตามินอีจาก

$$A = \epsilon bc$$

A คือ Absorbance ที่วัดได้

ϵ คือ Molar extination absorptivity ของไวตามินอี

b คือ ความกว้างของเซลล์ที่ใช้วัด (เซนติเมตร)

c คือ ความเข้มข้นคิดเป็นร้อยละ

1.4 นำสารละลายไวตามินอีที่ได้ไปวัดค่า Absorbance โดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 292 นาโนเมตร คำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไวตามินอี ค่าความเข้มข้นของไวตามินอีที่ได้จากการหาค่าจำเพาะ นำไปใช้ในการคำนวณปริมาณไวตามินอีในสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

2. วิธีเตรียมกราฟมาตรฐานของไวตามินอี

2.1 ปิเปตสารละลายจากข้อ 1.3 มา 25 มิลลิลิตร ใส่ขวดก้นแบนขนาด 100 มิลลิลิตร ใส่สารละลายกรดแอสคอร์บิค และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 จำนวน 5 มิลลิลิตร และใส่ลูกแก้ว 3 ลูก แล้วนำไปรีฟลักซ์ 30 นาที สกัดด้วยปิโตรเลียมเบนซิน 3

ครั้ง ครั้งละ 50 , 40 และ 40 มิลลิลิตรหลังจากระเหยให้แห้งแล้วละลายด้วยเมทานอล ถ่ายใส่ขวดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยเมทานอล

2.2 ปิเปตสารละลายจาก 2.1 จำนวน 1, 3, 5 และ 7 มิลลิลิตร ใส่ขวดขนาด 10 มิลลิลิตรจำนวน 4 ใบ เรียงตามลำดับแล้วเติมเมทานอลจนถึงขีดปริมาตร จะได้สารละลายที่มีไวตามินอี 10, 30, 50 และ 70 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ฉีดเข้าเครื่อง HPLC โดยใช้สภาวะ

Mobile phase (MeOH: Water)	97 : 3
Flow rate (ml / min)	1.50
Detector UV-VIS Wavelength (nm)	292
Injection volumn (ไมโครลิตร)	20
ชนิดของคอลัมน์	C 18 Hypersil H5 ODS, 25 cm x 4.6 mm พร้อม guard column
อุณหภูมิที่ใช้	25 องศาเซลเซียส

3. การเตรียมตัวอย่าง

3.1 ชั่งตัวอย่างมา 2 กรัม เติมเอทานอล ลงไปละลายตัวอย่างเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสาปอนนิฟิเคชั่น เพื่อกำจัดไขมันออก แล้วเติมสารละลายกรดแอสคอร์บิค ทำการรีฟรักซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

3.2 spite เติมไวตามินอีที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

3.3 ทำการสกัดด้วยเฮกเซน 3 รอบ

3.4 ระเหยไล่เฮกเซนออก โดยใช้เครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (Vacuum rotary evapourator) ใช้อุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 98 HPA

3.5 นำมาละลายด้วยเมทานอลแล้วปรับปริมาตร

3.6 กรองใส่ syling filter โดยใช้ nylon ขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วกรองใส่ viol

3.7 ฉีดเข้าเครื่องวิเคราะห์โครมาโตกราฟีความดันสูง (High performance liquid chromatography) โดยใช้ปริมาตรและสภาวะเช่นเดียวกับที่ใช้กับสารมาตรฐาน

3.8 คำนวณหาปริมาณไวตามินอีในตัวอย่างโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน (standard curve)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไวตามินอี (mg / 100 g)} = \frac{100 \times X \times V \times D}{W}$$

เมื่อ X คือ ปริมาณไวตามินอีจาก Calibration curve

V คือ ปริมาตรทั้งหมด (มิลลิลิตร)

D คือ dilute factor (ถ้ามี)

W คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลอง

ตารางภาคผนวก 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความชื้นของเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ผึ่งลมแล้วอบต่อด้วยตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 38, 40 และ 50 องศาเซลเซียส อย่างต่อเนื่องอุณหภูมิละ 2 วัน

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	5.558E-02	2.779E-02	42.766*	0.00
Error	6	3.899E-03	6.498E-04		
Total	9	22.131			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการDMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset	
		1	2
2.00	3	1.510	
1.00	3	1.511	
3.00	3		1.677

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1	1.511^{a}
TREATMENT 2	1.510^{a}
TREATMENT 3	1.677^{b}

ตารางภาคผนวก 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าแอคติวิตีของน้ำของเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ผึ่งลมแล้วอบต่อด้วยตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 38, 40 และ 50 องศาเซลเซียส อย่างต่อเนื่องอุณหภูมิละ 2 วัน

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	1.256E-03	6.280E-04	31.932*	0.001
Error	6	1.180E-04	1.967E-05		
Total	9	2.473			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการDMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset	
		1	2
2.00	3	0.507	
1.00	3		0.531
3.00	3		0.533

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1	0.531^{b}
TREATMENT 2	0.507^{a}
TREATMENT 3	0.533^{b}

ตารางภาคผนวก 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไขมันในเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	51.610	25.805	23.477*	0.001
Error	6	6.595	1.099		
Total	9	43761.487			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการDMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset		
		1	2	3
3.00	3	66.870		
1.00	3		69.460	
2.00	3			72.723

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1 69.460^{b}

TREATMENT 2 72.723^{c}

TREATMENT 3 66.870^{a}

ตารางภาคนวก 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณโปรตีนในเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	2.254E-02	1.127E-02	0.217^{ns}	0.811
Error	6	0.311	5.181E-02		
Total	9	631.478			

ns หมายถึง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณใยอาหารในเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	4.078E-02	2.039E-02	2.947^{ns}	0.128
Error	6	4.151E-02	6.919E-03		
Total	9	237.005			

ns หมายถึง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณเถ้าในเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	9.521E-03	4.761E-03	11.070*	0.010
Error	6	2.580E-03	4.301E-04		
Total	9	14.307			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการ DMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset	
		1	2
2.00	3	1.220	
1.00	3	1.261	1.261
3.00	3		1.299

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1 1.261^{ab}

TREATMENT 2 1.220^{a}

TREATMENT 3 1.299^{b}

ตารางภาคผนวก 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดในเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	48.789	24.395	22.862*	0.002
Error	6	6.402	1.067		
Total	9	3333.983			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการ DMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset		
		1	2	3
2.00	3	16.152		
1.00	3		19.261	
3.00	3			21.848

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1 19.261[b]

TREATMENT 2 16.152[a]

TREATMENT 3 21.848[c]

ตารางภาคผนวก 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการศึกษากรรมวิธีการสกัดน้ำมันตั้งแต่กระบวนการบีบอัดจนถึงการใช้ตัวทำละลาย จากเมล็ดแมคคาเดเมียพันธุ์เชียงใหม่ 400

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Sol	1	13.524	13.524	21.584*	0.001
Time	1	10.170	10.170	16.231*	0.003
Error	9	5.639	0.627		
Total	12	50053.792			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการศึกษากรรมวิธีการสกัดน้ำมันตั้งแต่กระบวนการบีบอัดจนถึงการใช้ตัวทำละลาย จากเมล็ดแมคคาเดเมียพันธุ์เชียงใหม่ 700

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Sol	1	4.650	4.650	12.837*	0.006
Time	1	36.705	36.705	101.330*	0.000
Error	9	3.260	0.362		
Total	12	58427.820			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการศึกษากรรมวิธีการสกัดน้ำมันตั้งแต่กระบวนการบีบอัดจนถึงการใช้ตัวทำละลาย จากเมล็ดแมคคาเดเมียพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Sol	1	1.660	1.660	8.514*	0.017
Time	1	48.641	48.641	249.461*	0.000
Error	9	1.755	0.195		
Total	12	46432.790			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 11 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนความถ่วงจำเพาะในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000 (วัดที่ 25 องศาเซลเซียส)

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	2.222E-09	1.111E-03	0.033^{ns}	0.967
Error	6	2.000E-07	3.333E-04		
Total	9	7.560			

ns หมายถึง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความข่น ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	69.180	34.590	157.227*	0.000
Error	6	1.320	0.220		
Total	9	25702.510			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการ DMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset	
		1	2
2.00	3	51.067	
1.00	3	51.767	
3.00	3		57.267

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1	51.767[a]
TREATMENT 2	51.067[a]
TREATMENT 3	57.267[b]

ตารางภาคผนวก 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี L ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	14.706	7.353	22.729*	0.002
Error	6	1.941	0.323		
Total	9	3115.424			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการ DMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset		
		1	2	3
3.00	3	16.97		
1.00	3		18.60	
2.00	3			20.10

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1 18.60^{b}

TREATMENT 2 20.10^{c}

TREATMENT 3 16.97^{a}

ตารางภาคผนวก 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี a ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	0.136	6.821E-02	1.241^{ns}	0.354
Error	6	0.330	5.494E-02		
Total	9	15.469			

ns หมายถึง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี b ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	1.127	0.564	44.139*	0.000
Error	6	7.660E-02	1.277E-02		
Total	9	1801.791			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการ DMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset		
		1	2	3
1.00	3	13.71		
3.00	3		14.15	
2.00	3			14.57

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1 13.71^{a}

TREATMENT 2 14.57^{c}

TREATMENT 3 14.15^{b}

ตารางภาคผนวก 16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของจุดหลอมเหลวในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	4.222E-02	2.111E-02	0.792^{ns}	0.495
Error	6	0.160	2.667E-02		
Total	9	155.620			

ns หมายถึง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีน ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400, พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	9.174	4.587	0.435^{ns}	0.666
Error	6	63.231	10.538		
Total	9	54413.236			

ns หมายถึง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสปอนนิฟาย ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	8.667	4.334	7.973*	0.020
Error	6	3.261	0.544		
Total	9	324819.899			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการ DMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset	
		1	2
2.00	3	188.802	
1.00	3	189.914	189.914
3.00	3		191.203

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1	189.914^{ab}
TREATMENT 2	188.802^{a}
TREATMENT 3	191.203^{b}

ตารางภาคผนวก 19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสารสปอนนิฟายไม่ได้ ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	3.260E-03	1.630E-03	2.179^{ns}	0.194
Error	6	4.487E-03	7.479E-04		
Total	9	3.124			

ns หมายถึง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกรด ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	4.358E-02	2.179E-02	1.288^{ns}	0.342
Error	6	0.101	1.691E-02		
Total	9	6.339			

ns หมายถึง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ ในน้ำมันดิบ (crude oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	8.494	4.247	10.617*	0.011
Error	6	2.400	0.400		
Total	9	75.692			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการ DMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset	
		1	2
2.00	3	1.315	
1.00	3		3.264
3.00	3		3.471

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1 3.264^{b}

TREATMENT 2 1.315^{a}

TREATMENT 3 3.471^{b}

ตารางภาคผนวก 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความถ่วงจำเพาะ(วัดที่ 25 องศาเซลเซียส) ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	1.040E-06	5.200E-07	8.667*	0.017
Error	6	3.600E-07	6.000E-08		
Total	9	6.813			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการ DMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset	
		1	2
3.00	3	0.869	
1.00	3		0.870
2.00	3		0.870

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1	0.870^{b}
TREATMENT 2	0.870^{b}
TREATMENT 3	0.869^{a}

ตารางภาคผนวก 23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความขุ่น ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	3.737E-02	1.869E-02	21.767*	0.002
Error	6	5.151E-03	8.584E-04		
Total	9	1.475			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการ DMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset	
		1	2
2.00	3	0.352	
3.00	3	0.355	
1.00	3		0.490

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1	0.490^{b}
TREATMENT 2	0.352^{a}
TREATMENT 3	0.355^{a}

ตารางภาคผนวก 24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี Lในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	1.669	0.835	10.362*	0.011
Error	6	0.483	8.056E-02		
Total	9	1688.624			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการ DMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset	
		1	2
3.00	3	13.30	
2.00	3	13.47	
1.00	3		14.29

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1 14.29^{b}

TREATMENT 2 13.47^{a}

TREATMENT 3 13.30^{a}

ตารางภาคผนวก 25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี a ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	0.299	0.149	1.765^{ns}	0.250
Error	6	0.508	8.463E-02		
Total	9	4.034			

ns หมายถึง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี b ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	3.527E-02	1.763E-02	0.422^{ns}	0.674
Error	6	0.251	4.182E-02		
Total	9	3.783			

ns หมายถึง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของจุดหลอมเหลว ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	0.000	0.000	0.000^{ns}	1.000
Error	6	4.000E-02	6.667E-03		
Total	9	16.040			

ns หมายถึง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีน ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	1.498	0.749	0.198^{ns}	0.825
Error	6	22.670	3.778		
Total	9	49284.580			

ns หมายถึง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสปอนนิฟาย ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	52.349	26.175	3.661*	0.091
Error	6	42.903	7.151		
Total	9	319712.822			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการ DMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset	
		1	2
2.00	3	185.313	
1.00	3	188.857	188.857
3.00	3		191.178

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1	188.857[ab]
TREATMENT 2	185.313[a]
TREATMENT 3	191.178[b]

ตารางภาคผนวก 30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสารสปอนนิฟายไม่ได้ ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	4.335E-04	2.168E-04	5.762*	0.040
Error	6	2.257E-04	3.762E-05		
Total	9	0.379			

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการ DMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset	
		1	2
2.00	3	0.195	
1.00	3		0.209
3.00	3		0.211

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1	0.209^{b}
TREATMENT 2	0.195^{a}
TREATMENT 3	0.211^{b}

ตารางภาคผนวก 31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกรด ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และพันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	4.652E-03	2.326E-03	0.377^{ns}	0.701
Error	6	3.699E-02	6.166E-03		
Total	9	0.452			

ns หมายถึง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	0.873	0.437	1.456^{ns}	0.305
Error	6	1.799	0.300		
Total	9	551.770			

ns หมายถึง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวก 33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำมันผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ (refined oil) จากเมล็ดแมคคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์ คือพันธุ์เชียงใหม่ 400 พันธุ์เชียงใหม่ 700 และ พันธุ์เชียงใหม่ 1000

S of V	df	SS	MS	F	Sig
Treat	2	9.556	4.778	10.750*	0.010
Error	6	2.667	0.444		
Total	9	15305.667			

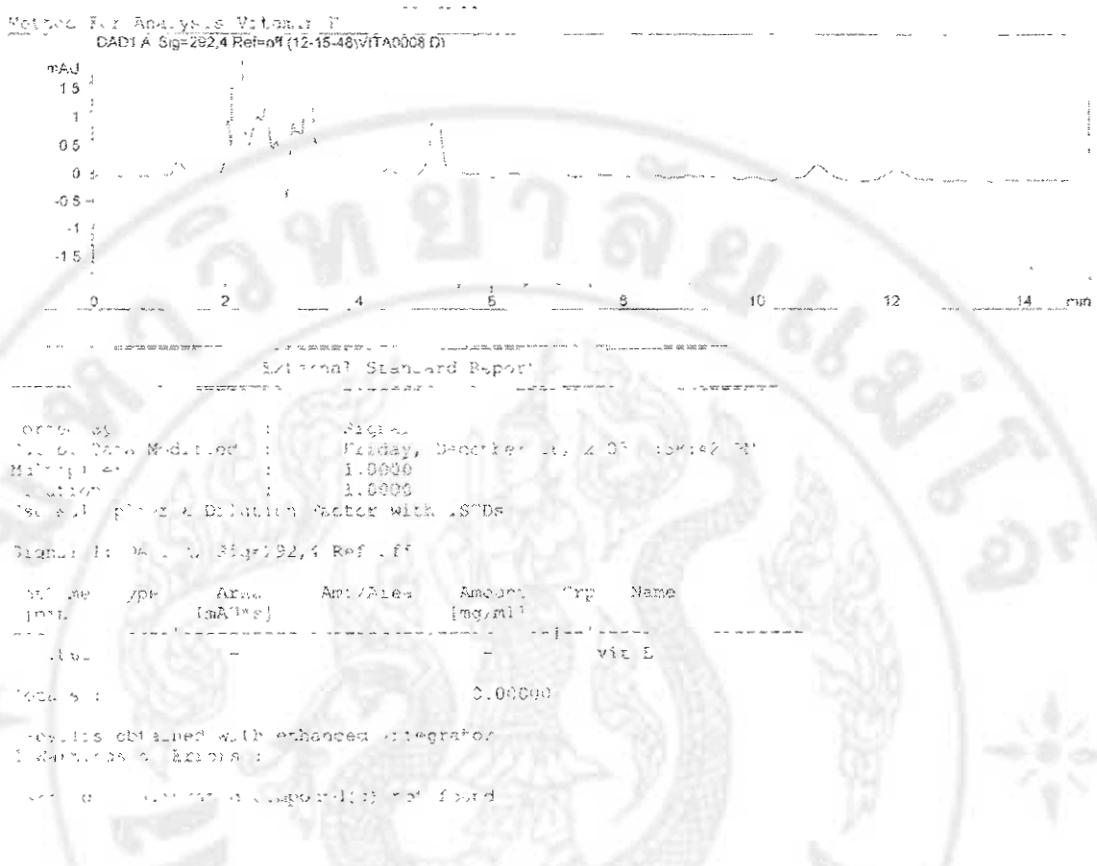
* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีการ DMRT ให้ผลดังตารางดังนี้

Treat	N	Subset	
		1	2
3.00	3	40.333	
1.00	3	40.667	
2.00	3		42.667

จากตารางนั่นคือ

TREATMENT 1	40.667^{a}
TREATMENT 2	42.667^{b}
TREATMENT 3	40.333^{a}



ภาพ 12 ตัวอย่างผลการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินอีในน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมีย สายพันธุ์เชียงใหม่ 1000 ที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์

ภาคผนวก ค

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวอรดา สถาพร
เกิดเมื่อ	29 ตุลาคม 2522
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2540 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนารีรัตน์ จังหวัดแพร่
	พ.ศ. 2544 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่