ผลของวิธีการสกัดไขมันต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมัน และแป้งจากเมล็ดเงาะ

EFFECT OF FAT EXTRACTION METHODS ON PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF FAT AND FLOUR FROM RAMBUTAN SEED

กมลวรรณ สุขสวัสดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผลของวิธีการสกัดไขมันต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะ

กมลวรรณ สุขสวัสดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของวิธีการสกัดไขมันต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะ Effect of Fat Extraction Methods on Physical and Chemical Properties of Fat and Flour from Rambutan Seed
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวกมลวรรณ สุขสวัสดิ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์, ปร.ด.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญอร ไหมสุทธิสกุล, ปร.ด.
ปีการศึกษา	2559

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์สุภา จุพคุปต์, Ph.D.)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เหมือนหมาย อภินทนาพงศ์, ปร.ด.)

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

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

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
(อาจารย์จีรวัฒน์ เหรียญอารีย์, คศ.ม.)
วันที่ 17 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของวิธีการสกัดไขมันต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมัน และแป้งจากเมล็ดเงาะ
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวกมลวรรณ สุขสวัสดิ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์, ปร.ด.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญอร ไหมสุทธิสกุล, ปร.ด.
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press และวิธีแบบร้อนโดยใช้เครื่อง Soxhlet Extraction ต่อสมบัติของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะ

วิธีการวิจัย คือ นำเมล็ดเงาะที่ผ่านการคัดแยกเอาเฉพาะเมล็ดที่สมบูรณ์ อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และนำไปโม่แห้งแล้วทำการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็น และวิธีแบบร้อน ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของไขมันจากเมล็ดเงาะ ส่วนกากที่เหลือจากการสกัดไขมันนำมาโม่แห้งให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรง 40 เมช เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีกายภาพของแป้งที่ได้

ผลการวิจัย พบว่า ไขมันเมล็ดเงาะจากการสกัดด้วยวิธีแบบเย็นมีค่าจุดหลอมเหลว (55.00 องศาเซลเซียส) ค่าไอโอดีน (43.34 กรัมต่อตัวอย่างไขมัน 100 กรัม) ค่าสปอนนิฟิเคชัน (180.04 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อไขมัน 1 กรัม) และค่าปริมาณสารที่สปอนนิฟายไม่ได้ (ร้อยละ 0.33) สูงกว่าวิธีแบบร้อน ส่วนแป้งเมล็ดเงาะที่สกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบร้อนมีค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้ (ร้อยละ 63.55) ค่าความชื้น (ร้อยละ 6.09) ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ (ร้อยละ 2.85) ค่าคาร์โบไฮเดรต (75.54 กรัม/100 กรัม) ค่าเส้นใย (2.89 กรัม/100 กรัม) ค่ากำลังการพอง (11.21 กรัม/กรัม) และค่าการละลาย (ร้อยละ 11.30) สูงกว่าวิธีแบบเย็น ลักษณะของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็น พบว่า มีลักษณะเป็นรูปกลม ผิวขรุขระ ผลึกจัดเรียงกันหนาแน่น

คำสำคัญ: เมล็ดเงาะ ไขมัน แป้งเมล็ดเงาะ สมบัติทางกายภาพและเคมี

Thesis Title	Effect of Fat Extraction Methods on Physical and Chemical Properties of Fat and Flour from Rambutan Seed
Name - Surname	Miss Kamolwan Suksawat
Program	Home Economics Technology
Thesis Advisor	Assistant Professor Orawan Oupathumpanont, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Assistant Professor Pitchaon Maisuthisakul, Ph.D.
Academic Year	2016

ABSTRACT

This research was aimed to study the effects of fat extraction by cold extraction: Screw Press and by hot extraction: Soxhlet Extractionon on the physical and chemical properties of fat and flour from rambutan seed.

The research was conducted by selecting perfect rambutan seeds which were then dried at 65 ° C, ground and passed through the cold extraction and hot extraction for seed fat. The chemical and physical properties of the extracted fat were studied. The remaining residue from the extraction of fat was processed through the dry milling, and meshed through the 40 mesh for rambutan seed flour of which the chemical and physical properties were then studied.

It was found that the fat melting point (55 ^{o}C), iodine value (43.34 g of iodine/100 g fat), saponification value (180.04 mg KOH/g fat), and unsaponification value 0.33 % of the rambutan fat from cold extraction were higher than that from the hot extraction. For Rambutan seed flour, Its flour yield (63.55 %), moisture (6.09 %), water absorbing ability (2.85 %), carbohydrates (75.54 g/100 g), fiber (2.89 g/100 g), swelling power (11.21 g/g), and solubility (11.30 %) were higher than that from cold extraction. The observation of the size and characteristics of rambutan seed flour obtained from the extraction of fat by the cold method, the shape and surface of seeds were found to be rough and dense.

Keywords: rambutan seed, fat, rambutan seed flour, physical and chemical

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา และความอนุเคราะห์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญอร ไหมสุทธิสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าและให้ความกรุณาในการให้ความรู้และคำปรึกษาแนะนำแนวทางและวิธีคิด ตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้การเขียนงานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์ที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สุภา จุฬคุปต์ ประธานกรรมสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เหมือนหมาย อภินทนาพงศ์ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าให้เกียรติเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการแนะนำแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์ เพื่อให้งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ช่วยให้การสนับสนุนทุนทรัพย์ ความรัก ความห่วงใย เป็นกำลังใจให้เสมอมา และข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนมาจนถึงบัดนี้

ขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย และบริษัทลพบุรีน้ำมันพืชบีบเย็น ที่ให้การสนับสนุนในการใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือในการวิเคราะห์คุณภาพ เพื่อใช้ในการจัดทำวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ หากการค้นคว้าวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

กมลวรรณ สุขสวัสดิ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... (3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... (4)
กิตติกรรมประกาศ..... (5)
สารบัญ..... (6)
สารบัญตาราง..... (8)
สารบัญรูป..... (9)
บทที่ 1 บทนำ..... 10
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 10
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 11
1.3 สมมติฐานของการวิจัย..... 11
1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... 11
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 11
1.6 คำจำกัดความในการวิจัย..... 11
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 12
2.1 เงาะพันธุ์โรงเรียน..... 12
2.2 ไขมันและสมบัติ..... 16
2.3 แป้งและสมบัติ..... 31
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 46
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย..... 51
3.1 วัตถุดิบ..... 51
3.2 อุปกรณ์..... 51
3.3 สารเคมี..... 52
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 54
3.5 ระยะเวลาในการทดลอง..... 57
3.6 สถานที่ทำการวิจัย..... 57
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 58
4.1 การเตรียมผงเมล็ดเงาะ..... 58

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของไขมันเมล็ดเงาะ..... 59
4.3 ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของแป้งเมล็ดเงาะ..... 64
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 73
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 73
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 74
บรรณานุกรม..... 75
ภาคผนวก..... 81
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของไขมัน..... 82
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของแป้ง..... 86
ภาคผนวก ค มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไขมันและน้ำมัน..... 94
ภาคผนวก ง มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งสาลีอเนกประสงค์..... 101
ภาคผนวก จ แบบตอบรับผลงานการเผยแพร่วิจัย..... 106
ประวัติผู้เขียน..... 109

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเงาะพันธุ์โรงเรียน 14
ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดเงาะ 15
ตารางที่ 2.3 ผลจากการสกัดไขมันเมล็ดเงาะ (ร้อยละของน้ำหนัก) 16
ตารางที่ 2.4 จุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดต่างๆ 23
ตารางที่ 2.5 จุดหลอมเหลวของไตรเอซิลกลีเซอรอลบางชนิด 24
ตารางที่ 2.6 สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันบางชนิด 25
ตารางที่ 2.7 สมบัติทางเคมีของไขมันจากเมล็ดพืชชนิดต่างๆ 31
ตารางที่ 2.8 สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน 34
ตารางที่ 2.9 องค์ประกอบของแป้งชนิดต่างๆ 37
ตารางที่ 2.10 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ 41
ตารางที่ 2.11 สมบัติในการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้ง 44
ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะ 59
ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีของไขมันเมล็ดเงาะ 62
ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออก 64
ตารางที่ 4.4 สมบัติทางเคมีของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออก 68
ตารางที่ 4.5 กำลังการพอง และการละลายที่อุณหภูมิต่างๆ 71

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 กรดไขมันอิสระที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของเซลล์เมมเบรน..... 18
รูปที่ 2.2 กรดไขมันที่มีหมู่ไฮดรอกซี (Hydroxy Fatty Acids)..... 19
รูปที่ 2.3 กรดไขมัน Tuberculostearic Acid..... 20
รูปที่ 2.4 ปริมาณการผลิตแป้งทั่วโลกในปี พ.ศ. 2523-2536..... 33
รูปที่ 2.5 ระดับโครงสร้างในเม็ดแป้งมันฝรั่ง..... 34
รูปที่ 2.6 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ (กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน กำลังขยาย 40 เท่า)..... 40
รูปที่ 2.7 รูปแบบการพองตัวของแป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวฟ่าง และแป้งไมโล... 43
รูปที่ 2.8 รูปแบบการละลายของแป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวฟ่าง และแป้งไมโล.... 443
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของ แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวฟ่าง และแป้งไมโล..... 44
รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการสกัดไขมันและแป้งเมล็ดเงาะ..... 55
รูปที่ 4.1 ขนาดและลักษณะของแป้งเมล็ดเงาะด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอนของ แป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็น..... 66
รูปที่ 4.2 ขนาดและลักษณะของแป้งเมล็ดเงาะด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอนของ แป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบร้อน..... 67

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เงาะเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยมีผลผลิตรวมทั้งประเทศปี พ.ศ. 2557 ประมาณ 321,710 ตันต่อปี [1] ซึ่งเป็นผลไม้ที่สามารถบริโภคผลสดและมีการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เงาะกระป๋อง เป็นวัตถุดิบที่สำคัญของอุตสาหกรรมการแปรรูป ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ ถึงแม้ว่าจะเกิดปัญหาราคาผลผลิตตกต่ำเกือบทุกปี เนื่องจากช่วงฤดูกาลผลิตเงาะค่อนข้างสั้นคือช่วง เดือนพฤษภาคม ถึงเดือนกรกฎาคม ในช่วงเวลากลางฤดูจะมีผลผลิตมากออกสู่ตลาดพร้อมๆ กัน การแปรรูปเงาะกระป๋องมีของเหลือทิ้ง คือ เปลือกและเมล็ดเงาะ ส่วนใหญ่แล้วทางโรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูปจะกำจัดเปลือกและเมล็ดเงาะโดยการนำไปทิ้งหรือใช้เป็นอาหารสัตว์และผลิตเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งส่งผลให้โรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูปสูญเสียประโยชน์จากของเหลือทิ้ง และการกำจัดที่ไม่ถูกสุขลักษณะ อาจก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาค้นคว้าองค์ประกอบของเมล็ดเงาะมีแป้งและไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้เมล็ดเงาะยังประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน ไฟเบอร์ เถ้า และความชื้นร้อยละ 13, 38, 4.7, 2.75 และ 34.35 ตามลำดับ [2] ซึ่งถือว่ามีไขมันในปริมาณสูง เมล็ดเงาะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตไขเงาะ (Rambutan Tallow) ซึ่งเป็นไขมันที่มีลักษณะเป็นของแข็งคล้ายเนยโกโก้ (Cocoa Butter) ไขมันนี้สามารถรับประทานได้ [3]

จากการค้นคว้าหาข้อมูลการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะ มีรายงานเฉพาะในส่วนของการสกัดไขมันจากเมล็ดเงาะด้วยวิธีการสกัดด้วยเฮกเซนหรือปิโตรเลียมอีเทอร์ [4] และการสกัดไขมันวิธีแบบบีบเย็น Screw Press การสกัดด้วยเครื่องสกัดไขมันแบบ Screw Press เป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีความเหมาะสมในการสกัดไขมันเพราะต้นทุนการสกัดต่ำ ใช้เชื้อเพลิงต่ำ ไม่มีกรรมวิธีการผลิตที่ยุ่งยากซับซ้อน และการสกัดด้วยตัวทำละลายจะเสียค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งสอดคล้องกับภาวการณ์บริโภคของคนในยุคปัจจุบันที่หันมาใส่ใจในเรื่องสุขภาพมากขึ้น ไขมันและแป้งเมล็ดเงาะอาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่ผู้บริโภคยอมรับ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press และวิธีแบบร้อนโดยใช้เครื่อง Soxhlet Extraction ต่อสมบัติของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press และวิธีแบบร้อนโดยใช้เครื่อง Soxhlet Extraction ต่อสมบัติของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะ

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

วิธีการสกัดไขมันมีผลต่อสมบัติของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ศึกษาผลของการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press และวิธีแบบร้อนโดยใช้เครื่อง Soxhlet Extraction ต่อสมบัติของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัด

1.5.2 เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้ของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัด

1.6 คำจำกัดความในการวิจัย

แป้งเมล็ดเงาะ หมายถึง ฟลาวร์จากเมล็ดเงาะ

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง ผลของวิธีการสกัดไขมันต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมัน และแป้งจากเมล็ดเงาะ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็น โดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press และวิธีแบบร้อน โดยใช้เครื่อง Soxhlet Extraction ต่อสมบัติของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะ ซึ่งมีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 เงาะพันธุ์โรงเรียน

2.2 ไขมันและสมบัติ

2.3 แป้งและสมบัติ

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เงาะพันธุ์โรงเรียน

2.1.1 ข้อมูลทั่วไป และลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของเงาะพันธุ์โรงเรียน

2.1.1.1 ข้อมูลทั่วไปของเงาะพันธุ์โรงเรียน [5]

เงาะเป็นผลไม้เมืองร้อน คนไทยเรียกผลไม้ชนิดนี้ว่า “เงาะ” เพราะลักษณะภายนอกของผล มีขนขึ้นตามเปลือกคล้ายกับผมบนหัวของคนป่าที่มีผลหยิกหยอยที่เรียกว่า “เงาะซาไก” มีชื่อสามัญว่า Rambutan ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Nephelium lappaceum* L.

เงาะมีถิ่นกำเนิดในคาบสมุทรมลายูทางเขตที่ราบตะวันตก จากนั้นจึงแพร่ขยายไปในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และประเทศเขตร้อนอื่นๆ เช่น ประเทศศรีลังกา และไปไกลถึงเกาะซานซิบาร์ทวีปแอฟริกา ชาวมลายูเรียกผลไม้ชนิดนี้ว่า “Rambut” ซึ่งหมายถึง “ผมหรือขน” ต่อมามีการเรียกเพี้ยนไปเป็น “Rambutan” แต่ก่อนฝรั่งเห็นเงาะก็บอกว่า “ประหลาดมาก” จึงเปรียบเทียบ “เชอร์รี่มีขน” เงาะจากมลายูถูกนำเข้ามาปลูกทางภาคใต้ของประเทศไทย แต่ไม่มีหลักฐานแน่ชัด

เงาะเป็นพืชยืนต้นในวงศ์ Sapindaceae ซึ่งเป็นวงศ์เดียวกับลิ้นจี่ และลางสาด ลำต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่เปลือกสีเทาแก่ปนน้ำตาล ใบเป็นใบรวม มีใบย่อย 2 - 4 คู่ ใบเขียวเป็นมัน ออกดอกสีเหลืองตามกิ่งหรือยอด ผลเงาะมีทั้งผลกลมแบน และยาวแบน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผล 4 - 5 เซนติเมตร เปลือกนอกหนา มีขนอยู่รอบผล ขนเป็นสีเหลืองแดง หรือชมพู เนื้อเงาะสีขาวหรือนวลใสหุ้มเมล็ด เปลือกล่อนจากเนื้อ และมีรสหวาน

2.1.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของเงาะพันธุ์โรงเรียน [6]

เงาะสายพันธุ์นี้จะมีลักษณะทรงพุ่ม มีใบลักษณะเล็ก และกลมอยู่ประมาณ 3 – 4 คู่ ก้านใบสั้น ปลายใบงอเล็กน้อย เปลือกผลอ่อนมีสีเหลืองอมชมพู เมื่อแก่จะมีสีแดงจัด โคนขนอ่อนมีสีเขียวอ่อน จะเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อโคนแก่จัด ปลายขนมีสีเขียวอ่อนเนื้อสีขาวขุ่นปนเหลือง เนื้อมีลักษณะย่นเล็กน้อย รสชาติหวาน เนื้อกรอบและล่อนออกจากเมล็ด เปลือกเมล็ดบางไม่แข็ง เมล็ดแบนยาวรูปไข่

1) รากของเงาะมีระบบของรากเป็นแบบรากแก้วงอกขึ้นมาจากเมล็ดทำหน้าที่ช่วยยึดลำต้นให้แข็งแรง รากแขนงที่แตกตัวจากรากแก้วเป็นรากเจริญที่แผ่ไปในแนวราบแบบกระจายรอบๆ ลำต้น และรากฝอยที่แตกตัวจากรากแขนงอีกทีจะทำหน้าที่ดูดซับน้ำและทำการลำเลียงอาหารไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของพืชให้เจริญเติบโตต่อไป

2) ลำต้นของเงาะเป็นพืชที่มีลำต้นขนาดกลาง มีความสูงประมาณ 4 - 5 เมตร มีการแตกกิ่งก้านสาขาย่อยจำนวนมาก เปลือกสีเทาอมน้ำตาลเข้ม กิ่งมีขนาดเล็กสีน้ำตาลอมแดงคล้ำ และมีรอยเหี่ยวละเอียดรอบๆ ลำต้น

3) ใบของเงาะจะมีจำนวนใบประมาณ 2 - 4 คู่ ก้านใบมีขนาดใหญ่ ลักษณะกลม สีน้ำตาลอมแดง ฐานก้านใบหนา ใบอ่อนจะมีขน รูปร่างเป็นรูปไข่หัวกลับ ฐานแหลม ปลายมน ขอบใบเรียบสีเขียวอมเหลือง มีเส้นกลางใบขนาดใหญ่ สามารถมองเห็นได้ชัดเจนทั้งด้านหน้าใบและด้านหลังใบจำนวนประมาณ 6 - 15 คู่ ใต้ใบมีลักษณะเป็นคลื่นเล็กน้อย

4) ดอกของเงาะจะเกิดเป็นช่อบริเวณปลายกิ่ง ตามซอกใบ ลักษณะช่อดอกจะตั้งตรงและแตกแขนง ในแต่ละต้นจะมีช่อดอกหลายประเภท ทั้งดอกที่สมบูรณ์เพศและดอกไม่สมบูรณ์เพศ เช่น ช่อดอกตัวผู้หรือช่อดอกไม่สมบูรณ์เพศ จะมีลักษณะของช่อค่อนข้างยาว รูปทรงกรวย มีกลีบดอก 5 กลีบ แต่ละกลีบจะไม่ติดกันมีเกสรตัวผู้ 5 ตัว แต่ละตัวจะเรียงตัวสลับกับกลีบดอก ตรงกลางจะเป็นแก่นยื่นออกมาลักษณะคล้ายกับเกสรตัวเมียที่ไม่สมบูรณ์ ดอกบานจะมีสีขาวทั้งต้น ส่วนละอองเกสรจะแตกตัวออกและปล่อยละอองเกสรสีเหลืองออกมา ส่วนช่อดอกสมบูรณ์เพศจะมีเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน ลักษณะของดอกจะเป็นช่อสั้นกว่าช่อดอกตัวผู้ประมาณครึ่งหนึ่ง มีกลีบดอกประมาณ 4 - 6 กลีบ มีเกสรตัวผู้ 5 ตัว ตรงกลางดอกเป็นเกสรตัวเมีย ซึ่งประกอบด้วยรังไข่ 2 อัน ก้านเกสรตัวเมีย 1 ก้าน ส่วนปลายก้านยื่นโค้งออกมา 2 แฉก มีขนเล็กๆ สีน้ำตาลปกคลุมอยู่ ก้านเกสรตัวเมียเกิดขึ้นบริเวณที่รับรังไข่ทั้ง 2 เชื่อมตัวติดกัน เมื่อทำการผสมแล้วรังไข่จะเจริญเติบโตเพียงตัวเดียว

5) ผลของเงาะจะเกิดผลในช่อเดียวกันหลายๆผลติดอยู่บนก้านช่อดอก ลักษณะค่อนข้างกลมสีแดง มีขนขึ้นปกคลุมอยู่ทั่วผล มีทั้งขนสั้นและขนยาวแตกต่างกันไปในแต่ละสายพันธุ์ บางสายพันธุ์มีสีแดงปนเหลือง ความยาวประมาณ 3.5 - 8 เซนติเมตร กว้างประมาณ 2 - 5 เซนติเมตร เนื้อมีลักษณะใสอ่อนนุ่ม สีขาวอมเหลือง

6) เมล็ดของเงาะมีลักษณะเป็นรูปแบนยาวรี กลมเป็นรูปไข่ ผิวด้านนอกจะห่อหุ้มด้วยผิวเปลือกบางๆ สีน้ำตาลอ่อน

2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการของเงาะพันธุ์โรงเรียน [3]

เงาะพันธุ์โรงเรียน มีคุณค่าทางโภชนาการ (ดังแสดงในตารางที่ 2.1) เงาะจัดเป็นผลไม้ที่มีฤทธิ์ร้อน จึงช่วยแก้อาการท้องร่วงชนิดรุนแรงได้ดี

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเงาะพันธุ์โรงเรียน

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ไขมัน (ร้อยละ)	0.3
โปรตีน (ร้อยละ)	1.0
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	15.7
ใยอาหาร (ร้อยละ)	1.6
เถ้า (ร้อยละ)	0.3
แคลเซียม (มิลลิกรัม / 100 กรัม)	29.0
เหล็ก (มิลลิกรัม / 100 กรัม)	0.3

ที่มา : [3]

2.1.3 เมล็ดเงาะ [4]

เมล็ดเงาะ มีลักษณะแตกต่างกันตามช่วงระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยช่วง 2 สัปดาห์แรกของการเจริญเติบโตเมล็ดเงาะจะมีลักษณะเป็นสีขาว บาง นุ่ม และมีความยืดหยุ่น จากนั้นในช่วง 6 สัปดาห์เมล็ดเงาะจะเริ่มมีขนาดใหญ่และแข็งขึ้น น้ำหนักของเมล็ดเงาะจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์ที่ 7-13 ขณะที่ความยาวของเมล็ดเงาะจะเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 9 เปลือกหุ้มเมล็ดเงาะจะมีการพัฒนาเป็นชั้นสีขาวบางและกลายเป็นชั้นสีน้ำตาลซึ่งแยกอิสระจากส่วนเนื้อภายในสัปดาห์ที่ 14 เมล็ดเงาะที่สมบูรณ์และอยู่ในผลเงาะที่มีการเจริญเติบโตอย่างเต็มที่จะมีลักษณะเป็นวงรีหรือรูปไข่ แบน มีความยาวและความหนาประมาณ 20 - 35 และ 12 - 22 มิลลิเมตร ตามลำดับ

2.1.3.1 คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดเงาะประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และเถ้า นอกจากนี้ยังประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 34.35 [3] คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดเงาะ (ดังแสดงในตารางที่ 2.2) จะเห็นได้ว่าในเมล็ดเงาะมีไขมันค่อนข้างสูงและไขมันเมล็ดเงาะมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวขุ่นที่อุณหภูมิห้อง เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 40-42 องศาเซลเซียส จะหลอมเหลวเป็นน้ำมันสีเหลือง มีกลิ่นหอม [8] และจากงานวิจัยของวรรณรดา [4] พบว่า เมล็ดเงาะมีส่วนประกอบทางเคมี คือ ค่าสปอนนิฟิเคชัน (Saponification Value) เท่ากับ 193 ค่าไอโอดีน (Iodine Number) เท่ากับ 43.8 จุดหลอมเหลว เท่ากับ 40 - 42 องศาเซลเซียส และค่ากรดไขมัน (Acid Value) เท่ากับ 4.8 และผลจากการสกัดไขมันเมล็ดเงาะด้วยวิธีสกัดแบบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดเงาะ

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ไขมัน (ร้อยละ)	38.00
โปรตีน (ร้อยละ)	13.00
ใยอาหาร (ร้อยละ)	4.70
เถ้า (ร้อยละ)	2.75
แคลเซียม (มิลลิกรัม / 100 กรัม)	9.58
เหล็ก (มิลลิกรัม / 100 กรัม)	0.34
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม / 100 กรัม)	12.30
แมงกานีส (มิลลิกรัม / 100 กรัม)	1.06
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม / 100 กรัม)	84.10
โซเดียม (มิลลิกรัม / 100 กรัม)	20.80
สังกะสี (มิลลิกรัม / 100 กรัม)	0.17
ค่าความเป็นกรด - ด่าง	4.66

ที่มา : [3], [7]

ตารางที่ 2.3 ผลจากการสกัดไขมันเมล็ดเงาะ (ร้อยละของน้ำหนัก)

ชนิดการสกัด	ปริมาณของไขมัน
Screw Press	18.80
Hexane	30.33
Petroleum Ether	39.85

ที่มา : [3], [4], [9]

2.1.4 การใช้ประโยชน์จากไขมันเมล็ดเงาะ [4]

เมล็ดเงาะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิต Rambutan Tallow ซึ่งเป็นไขมันที่มีลักษณะเป็นของแข็งคล้ายเนยโกโก้ (Cocoa Butter) ไขมันนี้สามารถรับประทานได้ และยังนำไปใช้ในการทำสบู่หรือเทียนไขได้อีกด้วย

2.1.5 การใช้ประโยชน์จากแป้งเมล็ดเงาะ

2.1.5.1 แป้งเมล็ดเงาะนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดแป้งเมล็ดเงาะไขมันต่ำ โดยใช้แป้งเมล็ดเงาะเป็นสารเพิ่มความข้นหนืดทดแทนการใช้ไข่แดงและน้ำมันพืชในน้ำสลัด แป้งเมล็ดเงาะมีคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ คือ มีโปรตีนประมาณร้อยละ 11 ความชื้นร้อยละ 4 ปริมาณน้ำอิสระมีค่า 0.25 การละลายร้อยละ 32.5 และค่ากำลังพองตัวร้อยละ 12.5 [10]

2.1.5.2 แป้งจากเมล็ดเงาะทดแทนปลายข้าวในสูตรอาหารต่อสมรรถนะการผลิตของไก่เนื้อ [9]

2.2 ไขมันและสมบัติ

ไขมันเป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดที่ไม่มีขั้วหรือนอนโพลาร์ (Nonpolar) เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน เฮกเซนไดเอทิลอีเทอร์ และชนิดที่มีขั้วหรือโพลาร์ (Polar) เล็กน้อย เช่น แอลกอฮอล์ และอะซีโตน ยกเว้นกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถละลายได้ในน้ำ [11]

2.2.1 การจำแนกชนิดของไขมัน

2.2.1.1 Simple Lipids เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ซึ่งแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ [11] ได้แก่

1) ไขมัน (Fats) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมเลกุล กับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) หรือไตรเอซิลกลีเซอรอล (Triacylglycerol) มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เรียกว่า ไขมัน หากมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เรียกว่า น้ำมัน (Oils) ทั้งไขมันและน้ำมันมีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) คือ ไม่ชอบน้ำ

2) ขี้ผึ้ง (Waxes) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และเป็นแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเพียงหมู่เดียว Monohydric Alcohol

2.2.1.2 Compound Lipids เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ และมีสารประกอบอื่นๆ รวมตัวอยู่ด้วย ตัวอย่างของไขมันในกลุ่มนี้ [11] ได้แก่

1) ฟอสโฟลิพิด (Phospholipids) เป็นกลุ่มของไขมันที่เป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอลในโมเลกุลประกอบด้วย กลีเซอรอล กรดไขมัน กรดฟอสฟอริก ด่างที่มีไนโตรเจน (Nitrogen Containing Bases) และอาจมีสารประกอบอื่นๆ ตัวอย่างของฟอสโฟลิพิด เช่น กลีเซอโรฟอสโฟลิพิด ได้แก่ ฟอสฟาติดิลคอลีน (Phosphatidyl Choline) ฟอสฟาติดิลเซรีน (Phosphatidyl Serine) ฟอสฟา-ติดิลเอทานอลามีน (Phosphatidyl Ethanolamine) และฟอสฟาติดิลอิโนซิทอล (Phosphatidyl Inositol)

2) สฟิงโกฟอสโฟลิพิด (Sphingolipids) ชนิดของแอลกอฮอล์ในโมเลกุลเป็นสฟิงโกซีน (Sphingosine) ในโมเลกุลประกอบด้วยกรดไขมัน ด่างที่มีไนโตรเจน และหมู่ที่เป็นฟอสฟอริก ตัวอย่าง เช่น สฟิงโกไมอีลิน (Spingomyelins)

3) ไกลโคลิพิด (Glycolipids) หรือเซรีโบรไซด์ (Cerebrosides) เป็นกลุ่มของไขมันที่โมเลกุลประกอบด้วยกรดไขมัน คาร์โบไฮเดรต และด่างที่มีไนโตรเจน แต่ไม่มีกรดฟอสฟอริก เช่น กาแลกเซรีโบรไซด์ และกลูโคเซรีโบรไซด์

4) Compound Lipids ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ลิโพโปรตีน ซัลโฟโปรตีนและอะมิโนลิพิด เป็นต้น

2.2.1.3 Derived Lipids เป็นสารประกอบที่ได้จากการไฮโดรไลซิสของไขมัน 2 กลุ่ม [11] ดังนี้

1) Neutral Lipids คือ กลุ่มของไขมันที่มีสมบัติเป็นกลาง ได้แก่ ไตรเอซิลกลีเซอรอล แวกซ์ แคโรทีนอยด์ คอเลสเตอรอล สเตอรอยด์อื่นๆ และวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน คือ วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค

2) Amphiphilic Lipids คือ กลุ่มของไขมันที่มีสมบัติละลายได้ทั้งในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ ฟอสโฟลิพิดต่างๆ เช่น เลซิทิน กลีเซอโรฟอสโฟลิพิด สฟิงโกฟอสโฟลิพิด สฟิงโกไกลโคลิพิด และสฟิงโกไมอีลิน

2.2.2 กรดไขมัน (Fatty Acids) [11]

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์สายตรงที่มีหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ (Straight Chain Aliphatic Monocarboxylic Acid) มีสูตรโมเลกุลเป็น R-COOH โดย R- คือ หมู่แอลคิล (Alkyl) ในโมเลกุลของกรดไขมันและหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก จึงทำให้กรดไขมันสามารถแตกตัวออกได้เป็นประจุลบ (Anionic Carboxylate) และหมู่ R- มีสมบัติเป็น Hydrophobic Alkyl Chain ซึ่งชอบที่จะละลายในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดที่ไม่มีโพลาร์ จึงทำให้โมเลกุลของกรดไขมันมีทั้งส่วนที่ละลายได้ในน้ำและน้ำมัน อย่างไรก็ตามจะไม่พบโมเลกุลของกรดไขมันอิสระที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของเซลล์เมมเบรน ดังแสดงในรูปที่ 2.1

$$RCOOH \longrightarrow RCOO^- + H^+$$

รูปที่ 2.1 กรดไขมันอิสระที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของเซลล์เมมเบรน
ที่มา : [11]

ในธรรมชาติพบกรดไขมันเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่อยู่ในไขมัน น้ำมัน และฟอสโฟกลีเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่ ที่พบในรูปของกรดไขมันอิสระมีน้อยมาก การสังเคราะห์กรดไขมันในร่างกายมีสารเริ่มต้นเป็นหมู่อะซิติล ซึ่งคาร์บอนในโมเลกุล 2 อะตอม มาต่อกันเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น จึงทำให้จำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเป็นเลขคู่เสมอ พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมัน มีทั้งที่เป็นพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ กรดไขมันที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมด เรียกว่า กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated Fatty Acids) ส่วนกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 อัน หรือมากกว่า 1 อัน เรียกว่า กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acids)

2.2.2.1 กรดไขมันชนิดอิ่มตัว

กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีสูตรทั่วๆ ไปเป็น $C_nH_{2n}O_2$ เป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด จึงไม่สามารถรับไฮโดรเจนอะตอมได้อีก กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุด คือ กรดบิวทิริก (คาร์บอน 4 อะตอม) เป็นกรดไขมันที่ละลายได้ดีในน้ำและระเหยได้ง่าย กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 6 - 10 อะตอม ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อยและยังระเหยได้ ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 อะตอม ขึ้นไปไม่ละลายน้ำ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลต่ำกว่า 10 อะตอม จะเป็นของเหลวที่

อุณหภูมิห้องส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 อะตอม ขึ้นไปจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง

2.2.2.2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

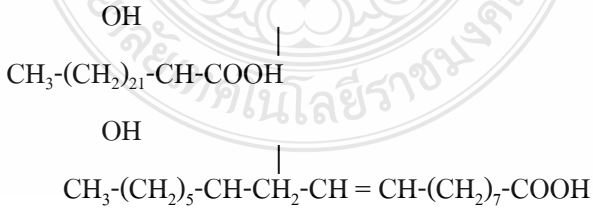
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลบางตำแหน่งและมีการเรียงตัวเป็น *cis*-configuration การที่พันธะคู่ในโมเลกุลทำให้สามารถเติมไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้อีก กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตามจำนวนของพันธะคู่ได้ดังนี้

1) Monounsaturated (Monoethenoid) Fatty Acids (MUFA) เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเพียง 1 อันมีสูตรทางเคมีทั่วๆไปเป็น C_nH_{2n-1} COOH ตัวอย่าง เช่น กรดโอเลอิก (Oleic Acid), CH_3-$(CH_2)_7$-CH = CH-$(CH_2)_7$-COOH) กรดปาล์มิโตเลอิก (Palmitoleic Acid), CH_3-$(CH_2)_5$-CH = CH-$(CH_2)_7$-COOH) กรดไขมันทั้ง 2 ชนิดนี้พบได้ในไขมันและน้ำมันทั่วไป

2) Polyunsaturated (Polyethenoid) Fatty Acids (PUFA) เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 อัน ส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 18 - 22 อะตอม และมีพันธะคู่ 2 - 6 อัน พบมากในน้ำมันพืชและน้ำมันปลา

2.2.2.3 กรดไขมันที่มีหมู่ไฮดรอกซี (Hydroxy Fatty Acids)

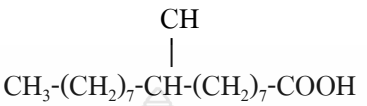
เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะอยู่ที่สายแอลคิล (Alkyl Chain) พบเป็นส่วนประกอบอยู่ในระบบประสาทส่วนกลาง (ดังแสดงในรูปที่ 2.2) ตัวอย่าง เช่น กรดเซรีโบรนิก (Cerebronic Acid) และมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีหมู่ไฮดรอกซิล ได้แก่ กรดริซิโนเลอิก (Ricinoleic Acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่พบมากในน้ำมันละหุ่ง (Castor Bean Oil) มีอยู่ประมาณร้อยละ 90 ของกรดไขมันทั้งหมด



รูปที่ 2.2 กรดไขมันที่มีหมู่ไฮดรอกซี (Hydroxy Fatty Acids)
ที่มา : [11]

2.2.2.4 กรดไขมันชนิดอื่นๆ

กรดไขมันบางชนิดมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายแขนงและบางชนิดมีหมู่วงแหวนอยู่ในโมเลกุลด้วย (ดังแสดงในรูปที่ 2.3) เช่น ตัวอย่างของกรดไขมันดังกล่าวมี ดังนี้



รูปที่ 2.3 กรดไขมัน Tuberculostearic Acid
ที่มา : [11]

2.2.3 สมบัติทางเคมีของไขมัน

ไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดมีองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลแตกต่างกัน ทำให้มีสมบัติทางเคมีและการเกิดปฏิกิริยากับสารต่างๆ แตกต่างกัน [11]

2.2.3.1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) [11]

ไขมันหรือน้ำมันบางชนิดจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วย กรด ด่าง และเอนไซม์ การไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมันด้วยด่าง เรียกว่า Saponification ซึ่งจะได้เกลือของกรดไขมันที่เรียกว่าสบู่ ไขมันหรือน้ำมันที่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง เรียกว่า Saponifiable Mater เช่น ไตรเอซิลกลีเซอรอล ฟอสโฟลิพิด และแวกซ์ ส่วนไขมันหรือน้ำมันที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง เรียกว่า Unsaponifiable Matter หรือ Non - Saponifiable Mater เช่น ไฮโดรคาร์บอน และสเตอรอล

1) Unsaponifiable Matter หมายถึง สารที่ปนอยู่ในไขมันหรือน้ำมันซึ่งจะเหลืออยู่ภายหลังการทำ Saponification ได้แก่ สารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน คีโตน แอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสเตอรอล (คอเลสเตอรอล และไฟโตสเตอรอล) โดยปกติไขมันหรือน้ำมันจะมี Unsaponifiable Matter ปนอยู่ไม่เกินร้อยละ 2

2) Saponification Number คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่และกลีเซอรอล

2.2.3.2 ฮาโลเจนชัน (Halogenation)

เป็นปฏิกิริยาการเติมสารพวกฮาโลเจน (Halogen) เข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ฮาโลเจนที่นิยมใช้เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว คือ ไอโอดีน ค่าที่ได้เรียกว่า Iodine Number หรือ Iodine Value (I.N. or I.V.) [11]

1) ค่าไอโอดีน (Iodine Value) [12]

ปริมาณเป็นกรัมของไอโอดีนที่สามารถทำปฏิกิริยากับไขมัน 100 กรัม การที่ไอโอดีนสามารถทำปฏิกิริยากับไขมันได้ก็เพราะในไขมันนั้นมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่จับคาร์บอนอะตอมอยู่ด้วย ดังนั้นถ้าไขมันมีค่าไอโอดีนน้อย เช่น น้ำมะพร้าว จะมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 6.2 – 10 แสดงว่าน้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่น้อย ส่วนค่าไอโอดีนของน้ำมันถั่วเหลืองจะค่อนข้างสูง เท่ากับ 122 – 134 แสดงว่ามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในน้ำมันถั่วเหลืองสูงมาก

ค่าไอโอดีนเป็นค่าที่บอกความอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวของกรดไขมันโดยตรง ดังนั้นในกระบวนการไฮโดรจีเนชันซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัว เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว จึงสามารถใช้ค่าไอโอดีนเป็นมาตรการในการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการได้

2.2.3.3 ไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) [11]

เป็นปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนเข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันและน้ำมัน โดยใช้นิกเกิลเป็นคะตะลิสต์หรือตัวเร่ง อาจเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Hardening ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารในการผลิตเนยเทียมและเนยขาว การทำไฮโดรจิเนชันจะทำให้น้ำมัน ซึ่งเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง ความแข็ง - อ่อนของไขมันที่ได้ขึ้นอยู่กับ Degree of Hydrogenation

2.2.3.4 การหืน (Rancidity) [11]

การหืนเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมัน ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติ และสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพเปลี่ยนไป การหืนเกิดขึ้นได้ 3 แบบ ดังนี้

1) ลิโพไลซิส (Lipolysis)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อพันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลเกิดการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ไลเพส ความร้อน กรด ด่าง หรือปฏิกิริยาทางเคมีใดๆ ก็ตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ลิโพไลซิส หรือ Lipolytic Rancidity หรือ Hydrolytic Rancidity

(1) Hydrolytic Rancidity เป็นการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสไขมันและน้ำมันด้วยเอนไซม์ไลเพสและความชื้น สาเหตุเนื่องจากมีการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้น และ

จุลินทรีย์หลั่งเอนไซม์ไลเพสออกมา ทำให้ไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันและน้ำมันเกิดการสลายตัวได้เป็นไดเอซิลกลีเซอรอล โมโนเอซิลกลีเซอรอล กลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ โดยเฉพาะกรดไขมันอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีจำนวนคาร์บอน 4 - 12 อะตอม จะมีกลิ่นหืนมาก เช่น การหืนของน้ำมันมะพร้าว เนย และน้ำมันหมู เป็นต้น เมื่อเกิดการหืนจะทำให้ไขมันและน้ำมันมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป

2) Oxidative Rancidity

เป็นการหืนที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน (Autoxdation) ที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเดชันในอากาศ เกิดพันธะเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Linkage) ขึ้นที่หมู่ α-methylene (-CH=CH-) ปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลา เมื่อไขมันและน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ การหืนด้วยปฏิกิริยานี้ยังเกิดขึ้นกับอาหารที่มีไขมันและน้ำมันผสมอยู่ด้วย โดยเฉพาะในไขมันและน้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารจะเกิดขึ้นมากที่สุด การมีโลหะ เช่น ทองแดงและตะกั่วจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันได้เร็วขึ้น นอกจากนั้นความร้อนและแสงก็มีผลช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

3) Ketonic Rancidity

เป็นการเกิดปฏิกิริยา Enzymatic Oxidation ที่โมเลกุลของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวได้เป็นสารประกอบจำพวกคีโตน ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

2.2.3.5 Reichert Meissl Number (R.M.N) [11]

เป็นการวัดปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้และละลายได้ในน้ำ (Volatile Water Soluble Fatty Acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 4 - 6 อะตอม คือ กรดบิวทีริก และกรดคาโพรอิก ตามลำดับ

ค่า Reichert Meissl Number (R.M.N) หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายด่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันที่ระเหยได้และละลายได้ในน้ำ ซึ่งกลั่นออกมาจากไขมันหรือน้ำมัน จำนวน 5 กรัม เป็นกลางพอดี

2.2.3.6 Polenske Number (P.N) [11]

เป็นการวัดปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้และไม่ละลายได้ในน้ำ (Volatile Water Insoluble Fatty Acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลระหว่าง 8 - 14 อะตอม ได้แก่ กรดคาพริลิก คาพริก ลอริก และไมริสติก สำหรับกรดคาพริลิก และคาพริก ละลายในน้ำได้บ้างเล็กน้อย ดังนั้นอาจพบอยู่ในส่วนที่ละลายได้ในน้ำด้วย ซึ่งจะมีผลต่อทั้งค่า Reichert Meissl Number และ Polenske Number

2.2.4 สมบัติทางกายภาพของไขมัน [11]

สมบัติทางกายภาพของไขมันจะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อองค์ประกอบทางเคมีในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันนั้นๆ จึงใช้ประโยชน์ของสมบัติทางกายภาพในการจำแนกและบ่งชี้ชนิดของไขมัน รวมทั้งการนำไขมันไปใช้ประโยชน์ก็จะพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพของไขมันที่สำคัญ ได้แก่

2.2.4.1 จุดหลอมเหลว (Melting Point)

อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวจนหมด ไขมันส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงอุณหภูมิ อาจเป็นช่วงกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับชนิดของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นส่วนประกอบของไขมัน เช่น ไขมันที่ประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิดเดียวกันทั้งหมดจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน จุดหลอมเหลวของไขมันและน้ำมันจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุล จุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 จุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดต่างๆ

ชนิดของกรดไขมัน	เขียนย่อ	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
กรดไขมันชนิดอิ่มตัว		
กรดบิวทีริก	4 : 0	-7.90
กรดคาโพรอิก	6 : 0	-3.40
กรดคาไพรลิก	8 : 0	16.70
กรดคาพริก	10 : 0	31.45
กรดลอริก	12 : 0	44.10
กรดวาลีริก	5 : 0	-34.50
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว		
กรดปาล์มิโตเลอิก	16 : 1	0.50
กรดโอเลอิก	18 : 1	13.25
กรดลิโนเลอิก	18 : 2	-5.00
แอลฟา-กรดลิโนเลนิก	18 : 3	-11.00

ที่มา : [13], [14], [15]

กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลน้อยกว่า 10 อะตอม จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เมื่อมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะเป็นของแข็งมากขึ้น ดังนั้นจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะลดลงเมื่อมีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น จุดหลอมเหลวของไตรเอซิลกลีเซอรอลบางชนิด (ดังแสดงในตารางที่ 2.5) จะเห็นได้ว่า ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีกรดไขมันชนิดเดียวกันเป็นองค์ประกอบ แต่มีการเรียงตัวในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ก็มีผลทำให้จุดหลอมเหลวแตกต่างกัน

ตารางที่ 2.5 จุดหลอมเหลวของไตรเอซิลกลีเซอรอลบางชนิด

ไตรเอซิลกลีเซอรอล	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
Trisaturated	
ไตรสเตียริน (S-S-S)	73
ไตรปาล์มิติน (P-P-P)	66
สเตียโรไดปาล์มิติน (S-P-P)	62
Disaturated	
ปาล์มิโตโอเลโอปาล์มิติน (P-O-P)	37
ปาล์มิโตโอเลโอสเตียริน (P-O-S)	37
โอเลโอไดปาล์มิติน (O-P-P)	34
สเตียโรโอเลโอสเตียริน (S-O-S)	43
สเตียโรปาล์มิโตโอเลอิน (S-P-O)	39
ปาล์มิโตสเตียโรโอเลอิน (P-S-O)	36
Diunsaturated	
ไดโอเลโอปาล์มิติน (O-O-P)	5
ไดโอเลโอสเตียริน (O-O-S)	-13
Triunsaturated	
ไตรโอเลอิน (O-O-O)	5
ไตรลิโนเลอิน (L-L-L)	-13

S = Stearic Acid, P = Palmitic Acid, O = Oleic acid และ L = Linoleic Acid

ที่มา : [16]

การนำเอาไขมันหรือกรดไขมันมาทำให้ร้อนโดยการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ ไขมันจะค่อยๆ หลอมตัวกลายเป็นของเหลว เมื่อทำให้เย็นลงจะกลับเป็นของแข็งตามเดิม และถ้าทำให้หลอมเหลวใหม่อีกครั้งหนึ่ง อุณหภูมิที่ทำให้หลอมเหลวจะสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ถ้าทำให้ไขมันเย็นลงอย่างรวดเร็วแล้วนำไปหลอมเหลวใหม่ ไขมันจะหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าครั้งแรก จุดหลอมเหลวของไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ (ดังแสดงในตารางที่ 2.6) กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเมื่อทำให้ร้อนและมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะระเหยได้

ตารางที่ 2.6 สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันบางชนิด

ไขมันและน้ำมัน	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	การหักเหของแสงที่ 25 องศาเซลเซียส
น้ำมันมะพร้าว	23 - 26	1.448 - 1.450
น้ำมันข้าวโพด	- 10 ถึง - 12	1.465 - 1.468
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	- 2 ถึง 2	1.458 - 1.466
น้ำมันมะกอก	- 3 ถึง 0	1.466 - 1.468
น้ำมันปาล์ม	33 - 40	1.499 - 1.455
น้ำมันถั่วลิสง	- 2	1.460 - 1.465
น้ำมันงา	- 4 ถึง - 0	1.470 - 1.474
น้ำมันถั่วเหลือง	- 20 ถึง - 23	1.466 - 1.470

ที่มา : [17]

2.2.4.2 จุดแข็งตัว (Solidifying Point)

อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นของแข็งอุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มแข็งตัวเป็นของแข็ง เรียกว่า Solidification และเรียกจุดนี้ว่า Solidifying Point อุณหภูมินี้มักจะต่ำกว่าจุดหลอมเหลว 2 - 3 องศาเซลเซียส ไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลหลายๆ ชนิดแตกต่างกัน จะมีผลทำให้มีจุดแข็งตัวจะเป็นช่วงกว้าง

2.2.4.3 การละลาย (Solubility)

ไขมันและน้ำมันทุกชนิดไม่ละลายในน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายไขมัน ได้แก่ ปิโตรเลียมอีเทอร์ เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน เอทิลแอลกอฮอล์อะซีโตน คาร์บอนไดซัลไฟด์ ไซโคลเฮกเซน และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ พวกที่เป็น Unsymmetrical Mixed Triacylglycerol ละลายได้ดีกว่าพวกที่เป็น Symmetrical Mixed Triacylglycerol

2.2.4.4 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ความถ่วงจำเพาะของไขมันหรือน้ำมันนิยมวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ยกเว้นกรณีที่ไขมันเป็นของแข็งและมีจุดหลอมเหลวสูง อาจวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ไขมันหรือน้ำมันที่มีจำนวนพันธะคู่ที่โมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น หรือมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ ค่าความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย ไขมันที่อยู่ในสภาพของแข็งจะมีค่าความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะแตกต่างเมื่อได้รับความร้อนแล้วหลอมตัวกลายเป็นของเหลว เพราะขณะที่เป็นของเหลวจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ

2.2.4.5 การหักเหของแสง (Refractive Index)

การวัดองศาการหักเหของลำแสงที่เกิดขึ้น เมื่อให้แสงผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง เช่น การหักเหของแสงจากอากาศผ่านทะลุน้ำมันตัวอย่าง จะเกิดการหักเหของแสงที่วัดเป็นองศาได้ ค่าการหักเหของแสงมีประโยชน์ในการบ่งชี้ ตรวจสอบชนิด คุณภาพ และความบริสุทธิ์ของไขมันและน้ำมัน การวัดค่าการหักเหของแสงนิยมวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ถ้าไขมันมีจุดหลอมเหลวสูงจะวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ค่าการหักเหของแสงของไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ จะขึ้นอยู่กับความยาวของสายคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน จำนวนพันธะคู่ และชนิดของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นส่วนประกอบ ไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น หรือมีจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้น จะมีค่าการหักเหของแสงเพิ่มขึ้น ค่าไอโอดีนของน้ำมันที่เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของพันธะคู่ จะมีความสัมพันธ์กับค่าการหักเหของแสงด้วย และถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการหักเหของแสงลดลง

นอกจากนั้นค่าการหักเหของแสงยังใช้ติดตามปฏิกิริยาในกระบวนการเติมไฮโดรเจนว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด ค่าการหักเหของแสงวัดได้โดยใช้ Refractometer เช่น Abbe Refractometer ค่าการหักเหของแสงของไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.6

2.2.4.6 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของไขมันและน้ำมันเป็นปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบระบบการขนถ่ายไขมันและน้ำมัน ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้น

2.2.4.7 สี (Color)

สีเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดไขมันหรือน้ำมัน และวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสี น้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม

2.2.5 วิธีการสกัดแยกไขมันพืช [11]

2.2.5.1 การบีบ (Pressing or Expelling)

การบีบเป็นวิธีการแยกน้ำมันออกจากวัตถุดิบที่ใช้กันมาช้านานแล้ว โดยเฉพาะนิยมใช้กับเมล็ดพืชน้ำมัน เครื่องบีบมีหลายชนิดและกระบวนการมีทั้งเป็นชุด Batch Pressing และต่อเนื่อง Continuous Pressing ซึ่งอาจเป็นการบีบเย็น (Cold Pressing) หรือการบีบร้อน (Hot Pressing)

1) การบีบเย็น

นิยมใช้กับเมล็ดพืชที่มีปริมาณไขมันหรือน้ำมันสูง เช่น งา ถั่วลิสง ถั่วเหลือง มะกอก และมะพร้าว เป็นต้น แรงกดที่กระทำต่อเนื้อเยื่อของเมล็ดพืชจะทำให้ผนังเซลล์แตก และบีบเอาน้ำมันแยกออกมา น้ำมันที่ได้สามารถนำไปใช้ได้เลยโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ น้ำมันที่ได้จะมีคุณภาพดีและคงสภาพเช่นเดียวกับเมื่ออยู่ในเมล็ด และไม่มีปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นกับไขมันและน้ำมัน ตัวอย่าง เช่น น้ำมันงาและน้ำมันถั่วลิสงที่สกัดแยกโดยวิธีนี้จะมีกลิ่นหอม (Nutty Flavour) ส่วนน้ำมันมะกอกจะมีกลิ่นแรง แต่เป็นกลิ่นที่คนยอมรับ อย่างไรก็ตามการทำ Cold Pressing มีประสิทธิภาพต่ำ เพราะในกากยังมีน้ำมันเหลืออยู่อีกมาก

2) การบีบร้อน

มีประสิทธิภาพดีกว่าการบีบเย็นกากที่เหลือจากการบีบเย็นจะนำมากระทำขั้นตอนต่อไปโดยใช้การบีบร้อนซึ่งอาจเป็นเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic Batch Press) หรือเครื่องอัดแบบสกรู (Continuous Screw Press or Expeller) การสกัดแยกน้ำมันโดยวิธีเหล่านี้ใช้ความดันประมาณ 1 - 15 ตันต่อตารางนิ้ว และจะยังคงมีน้ำมันเหลืออยู่ในกากเพียงร้อยละ 2 - 4 เท่านั้น

3) ขั้นตอนที่ควรกระทำในกระบวนการบีบไขมันและน้ำมันออกจากเมล็ดพืช ดังนี้

(1) การคัดเลือก และทำความสะอาดก่อนนำเมล็ดพืชเข้าเครื่องบีบ ต้องคัดเลือกเอาเมล็ดอ่อนแตกหัก เสียหาย หรือถูกทำลายทางกลออกไปเสียก่อน เพราะไขมันหรือน้ำมันในเมล็ดเหล่านี้อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือไฮโดรไลซิสแล้ว หลังจากคัดเลือกเอาแต่เฉพาะเมล็ดที่ดีแล้ว นำมาทำความสะอาดเพื่อแยกเอาสิ่งปลอมปนอื่นๆ เช่น เศษดิน ฝุ่น ก้อนอิฐ หรือก้อนหินเล็กๆ และส่วนของพืชที่ไม่ให้น้ำมัน เช่น เศษเปลือก หรือเศษไม้ ออกโดยใช้ตะแกรงร่อนเอาสิ่งที่ใหญ่และเล็กกว่าเมล็ดพืชออกไป จะได้เมล็ดพืชที่สะอาด

(2) การอบแห้งและเก็บรักษาเมล็ดพืชที่สะอาดแล้วหากต้องการเก็บรักษาไว้ระยะหนึ่งก่อนนำไปสกัดไขมันหรือน้ำมัน ควรนำไปอบแห้งเพื่อลดความชื้น เพราะเมล็ดที่มีความชื้นสูงจะทำให้ไขมันหรือน้ำมันเกิดการหืนได้เร็วขึ้น

(3) การเอาเปลือกออกและบดเมล็ดพืชที่สะอาดและแห้งแล้วจะถูกนำไปบดหรือทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ เพราะการบดทำให้ผนังเซลล์ของเมล็ดแตกออกและเพิ่มพื้นที่ผิวจะทำให้บีบเอาไขมันหรือน้ำมันออกได้ง่าย การบดยิ่งละเอียดเท่าไรก็ยิ่งบีบน้ำมันออกได้ง่าย แต่ต้องรีบกระทำโดยเร็ว หากปล่อยทิ้งไว้ให้สัมผัสกับอากาศเป็นเวลานาน จะทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และไฮโดรไลซิสได้อย่างรวดเร็ว การบดที่ละเอียดอาจไม่เหมาะถ้าใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย เพราะการบดที่ละเอียดเกินไปจะทำให้เป็นผง และไปอุดทางเดินของสารละลายได้ง่าย ทำให้สารละลายไหลไม่สะดวก จึงควรบดให้ละเอียดพอประมาณ หรืออัดเป็นแผ่นบางๆ

(4) การทำให้สุก เมล็ดพืชบางชนิดหลังจากบดให้ละเอียดแล้ว จะนำไปนึ่งให้ร้อนเพื่อทำลายโปรตีนที่ผนังเซลล์ ทำลายเอนไซม์ไลพอกซิจิเนสและไลเพสที่ถูกปล่อยออกมาจากเซลล์ที่แตกระหว่างการบด ช่วยป้องกันไม่ให้ไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและไฮโดรไลซิสความร้อนยังช่วยลดความหนืดของน้ำมัน ทำให้น้ำมันไหลออกมาได้ง่าย การนึ่งจะขึ้นอยู่กับเวลา อุณหภูมิ ความชื้นของเมล็ดพืช และเครื่องมือที่ใช้บีบน้ำมัน การนึ่งโดยใช้ไอน้ำภายใต้ความดันต่ำ จะให้ผลดีกว่าในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซิจิเนสในเมล็ดถั่วเหลือง นอกจากนี้ความร้อนยังช่วยทำลายเชื้อราและแบคทีเรีย ซึ่งอาจทำให้น้ำมันเกิดหืนได้ อย่างไรก็ตาม การใช้ความร้อนต้องควบคุมให้เหมาะสม เพราะหากใช้ความร้อนสูงเกินไปจะเร่งให้เกิดออโตออกซิเดชันได้

(5) การบีบไขมันหรือน้ำมัน เครื่องมือที่ใช้บีบไขมันหรือน้ำมันชนิดเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกจะให้ผลดีที่สุด โดยเฉพาะเมื่อใช้กับเมล็ดฝ้ายที่มีความชื้นร้อยละ 5 - 6 ถ้าเป็นเครื่องบีบน้ำมัน Screw Press หากเป็นเมล็ดถั่วเหลืองควรมีความชื้นร้อยละ 3 มะพร้าวและเมล็ดงาควรมีความชื้นร้อยละ 2 ถ้าเมล็ดพืชมีความชื้นสูงจะทำให้มีไขมันหรือน้ำมันเหลืออยู่ในกากมาก กากที่ได้

จากเครื่องอัดแบบสกรูจะมีไขมันหรือน้ำมันประมาณร้อยละ 3 - 9 ขึ้นอยู่กับความเร็วของการหมุนสกรู สกรูที่หมุนเร็วมากจะอัดเมล็ดพืชและบีบไขมันหรือน้ำมันออกมาเร็ว ทำให้มีไขมันหรือน้ำมันเหลือในกากมาก กากที่เหลือจากการบีบด้วยเครื่องอัดซึ่งมีไขมันหรือน้ำมันเหลืออยู่นี้ จะถูกนำไปสกัดแยกเอาไขมันหรือน้ำมันที่เหลือออกอีกครั้งโดยใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย หรืออาจส่งกากขายให้กับโรงงานทำอาหารสัตว์

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เครื่อง Screw Press ยี่ห้อไทยนต์ รุ่น TP - 5 ซึ่งการบีบอัดแบบใช้เกลียวอัดนี้วัสดุจะถูกคั้นด้วยแรงผ่านเกรียวๆจะเป็นตัวบดอัดเพื่อบีบเอาของเหลวออก ทั้งนี้ การส่งกำลังจากเพลาสู่เกลียวเป็นวิธีที่ทำให้เกิดการอัดสูง โดยที่เกลียวมีความห่างของเกลียวเท่ากับ 15 มิลลิเมตร การอัดจะเกิดขึ้นระหว่างเกลียวกับผนังกระบอกจึงทำให้มีความเสียดทานสูง ระหว่างการบีบคั้นเป็นผลให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งความร้อนนี้จะช่วยลดความหนืดของน้ำมัน ความจุในการทำงานของเครื่องอยู่ในระดับ 15 - 20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราความเร็ว 25 รอบ/นาที กำลังที่ใช้ 220 โวลต์ และมีความลึกของกรวย 30 เซนติเมตร ในการทำงานของเครื่อง เมื่อใส่เมล็ดเงาะแล้ว เมล็ดเงาะถูกส่งเข้าไปยังเครื่องอัดบีบเกลียวคู่ ทำการอัดและบีบเมล็ดเงาะทำให้ของเหลวหรือไขมันและของแข็งหรือกากแยกออกจากกัน โดยเสื้อของเกลียวทั้งสองหุ้มด้วยโครงตะแกรงที่เป็นตะแกรงหยาบด้านนอกและมีตะแกรงละเอียดด้านในเพื่อแยกกาก กากจะออกทางปลายเกลียวด้านตรงกันข้ามด้านเข้า ส่วนของไขมันจะไหลออกมาตลอดแนวโครงตะแกรงจนเมล็ดเงาะหมดและได้ไขมันเมล็ดเงาะ

2.2.5.2 การสกัดไขมันหรือน้ำมันด้วยตัวทำละลาย

การสกัดไขมันหรือน้ำมันออกจากวัตถุดิบด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก และใช้สกัดน้ำมันออกจากเมล็ดพืชที่มีปริมาณไขมันหรือน้ำมันต่ำ หรือสกัดไขมันหรือน้ำมันออกจากกากที่เหลือจากการบีบด้วยเครื่องอัด ตัวทำละลายที่ใช้จะต้องไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ได้แก่ เฮกเซน (*n*-hexane) คาร์บอนไดซัลไฟด์ และไดเอทิลอีเทอร์ เป็นต้น ตัวทำละลายที่นิยมใช้มากที่สุดคือ เฮกเซน

วิธีการสกัดทำได้โดยให้ตัวทำละลายไหลซึมผ่านเมล็ดที่บดละเอียด ที่อยู่ในเมล็ดจะละลายออกมากับตัวทำละลาย เมื่อน้ำมันละลายออกมาหมดแล้ว นำไปกลั่นแยกเอาตัวทำละลายออก สารละลายของน้ำในตัวทำละลาย เรียกว่า Miscella ซึ่งประกอบด้วยตัวทำละลาย น้ำหรือความชื้น น้ำมัน และกาก ซึ่งกากจะแยกออกจากน้ำมันโดยการกรอง ส่วนเฮกเซนและน้ำแยกออกโดยการระเหย (Evaporation) ที่ความดันต่ำ และได้น้ำมันประมาณร้อยละ 98 และมีความชื้นเหลืออยู่น้อยกว่าร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนัก ขั้นตอนการระเหยเอาตัวทำละลายออกต้องใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำที่สุด

เพราะหากใช้อุณหภูมิสูงเกินไป จะเร่งให้เกิดออกซิเดชัน ทำลายสารต้านออกซิเดชันและทำให้น้ำมันที่ได้มีสีเข้ม

การใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำลายจะได้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าวิธีอื่น เมล็ดพืชบางชนิดใช้วิธีการบีบร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย อย่างไรก็ตามการสกัดด้วยตัวทำละลายจะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีอื่นๆ เพราะตัวทำละลายมีราคาแพง ถึงแม้จะกลั่นแยกเอาตัวทำละลายกลับมาใช้ได้อีกก็ตาม แต่ก็มีบางส่วนที่ระเหยหายไปด้วย น้ำมันที่ได้ออกมาเป็นน้ำมันที่ไม่บริสุทธิ์ เรียกว่า Crude Oil มักมีสารประกอบต่างๆ ปนอยู่มากมาย ต้องนำไปผ่านกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์

1) ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดไขมัน ได้แก่

(1) ปริมาณของตัวทำละลาย ถ้าใช้ปริมาณตัวทำละลายในการสกัดมากจะทำให้สกัดไขมันออกมาได้มากและมีไขมันเหลืออยู่ในกากน้อย แต่ถ้าใช้ตัวทำละลายมากก็ต้องใช้เวลาในการระเหยแยกเอาตัวทำละลายออกทำให้สูญเสียตัวทำละลายที่ระเหยออกไปมากขึ้นด้วย ดังนั้นตัวทำละลายที่ใช้ควรมีปริมาณที่เหมาะสม โดยปกติการสกัดไขมันจากเมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดนุ่น และเมล็ดฝ้าย จะใช้ตัวทำละลายต่อน้ำหนักของเมล็ดพืชที่สกัดในอัตราส่วนหนึ่งต่อเนื่อง

(2) ชนิดของตัวทำละลาย ตัวทำละลายหลายชนิดใช้สกัดไขมันได้ และตัวทำละลายแต่ละชนิด จะมีสมบัติเฉพาะแตกต่างกันออกไป ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของเมล็ดพืช และไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ตัวทำละลายที่นิยมใช้มากที่สุด คือ เฮกเซน

(3) อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด การสกัดไขมันด้วยตัวทำลายต้องใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 60 องศาเซลเซียส เพื่อช่วยทำให้ไขมันละลายออกมาจากเมล็ดพืชได้ง่าย

(4) ความหนาของเมล็ดพืช เมล็ดพืชก่อนนำมาสกัด จะถูกบดให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ และอัดให้เป็นแผ่น แล้วปล่อยให้ตัวทำละลายไหลซึมเข้าไปสัมผัสกับแผ่นเมล็ดพืช ถ้าเมล็ดพืชถูกบดให้ละเอียดเกินไปจะอัดกันแน่น ตัวทำละลายจะซึมผ่านเข้าไปได้ยาก ความหนาของแผ่นเมล็ดถั่วเหลืองที่เหมาะสมประมาณ 0.014 นิ้ว

(5) ความชื้นของเมล็ดพืช เมล็ดพืชที่นำมาสกัดไขมันควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 และตัวทำละลายจะต้องไม่มีน้ำหรือความชื้นปนอยู่ เพราะจะทำให้สกัดไขมันออกได้ยาก

2.2.6 ไขมันจากเมล็ดพืช

เมล็ดพืชน้ำมันเป็นเมล็ดพืชที่มีปริมาณไขมันหรือน้ำมันสูง ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เช่น ถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวัน งา ข้าวโพด และปาล์ม เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 สมบัติทางเคมีของไขมันจากเมล็ดพืชชนิดต่างๆ

ชนิดของเมล็ดพืช	สปอนนิฟิเคชั่น (mg KOH/g fat)	ไอโอดีน (g ofiodine/100 gfat)	เปอร์ออกไซด์ (Meq oxygen/kg fat)	กรดไขมัน (ร้อยละ)
กระบก	218.93	3.19	0.12	97.13
ผักกาดขาว	151.12	105.96	43.71	2.24
ผักบุ้ง	137.70	94.43	19.90	4.34
หูกวาง	175.15	90.96	42.39	10.76
ตะคร้อ	205.46	56.21	39.48	4.97
บวบ	154.77	88.11	33.59	1.63
มะนาว	147.40	81.66	122.58	0.82
น้อยหน่า	149.87	59.36	9.82	-
มะขามเทศ	150.20	51.54	4.59	0.54
มะกอกป่า	165.23	107.91	5.90	0.53
แตงไทย	159.33	116.58	2.05	0.54
สมอพิเภก	155.80	65.93	8.32	-

ที่มา : [18], [19]

2.3 แป้งและสมบัติ

2.3.1 ความรู้เบื้องต้น และความสำคัญของแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว มนุษย์ได้รับแป้งจากพืชแตกต่างกันตามภูมิประเทศในโลก ทางด้านทวีปอเมริกาเหนือหรือทวีปอเมริกากลาง จะมีข้าวโพด ข้าวสาลีเป็นแหล่งของแป้งที่สำคัญ ทางยุโรปมีมันฝรั่ง และแถบเอเชีย แอฟริกา มีข้าวและมันสำปะหลัง เป็นต้น แต่ที่สำคัญที่มีการใช้กันทั่วโลก คือ แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวสาลี และแป้งมันสำปะหลัง แป้งเป็นแหล่ง

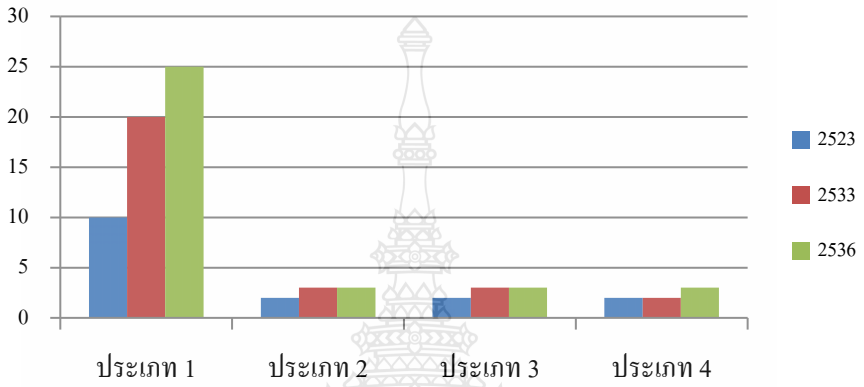
พลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ อาหารทั้งหมดส่วนใหญ่จะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักของทุกชนชาติ

บทบาทที่สำคัญของแป้ง คือ ใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงานสูงของมนุษย์ แต่จากสมบัติเฉพาะของแป้งจึงได้มีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงสมบัติของอาหาร เช่น ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงทนและเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส ซุป และน้ำปรุงรสอาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูป เนื่องจากกระบวนการแช่แข็ง และคืนรูปจากการแช่เยือกแข็ง (Freeze - Thaw) สภาวะกรด การทำพาสเจอไรเซชัน (Pasteurization) และสเทอริไรเซชัน (Sterilization) เป็นต้น นอกจากใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว ยังมีการนำแป้งมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมกาว และอุตสาหกรรมแป้งดัดแปร เป็นต้น [20]

คำว่า “แป้ง” ในการผลิตนั้น หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มาก จะเรียกว่า ฟลาวร์ (Flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูง ก็จะจัดอยู่ในประเภทฟลาวร์ เรียกว่า Corn Flour, Wheat Flour เช่นเดียวกันกับแป้งข้าวเจ้าที่ยังมีโปรตีนร้อยละ 7 - 8 ก็เรียกว่า Rice Flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนอันหมายถึงโปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นๆ ถูกสกัดออกไป จนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่จึง เรียกว่า แป้งสตาร์ช (Starch) เช่น Corn Starch สำหรับแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตในประเทศไทย ปัจจุบันผลิตโดยกรรมวิธีทันสมัย มีความบริสุทธิ์ของแป้งสูง จัดเป็นแป้งสตาร์ช คำว่าแป้งที่จะกล่าวต่อไปนี้จึงหมายถึงแป้งสตาร์ช เนื่องจากแป้งสตาร์ชมีความบริสุทธิ์สูง แป้งสตาร์ชที่ยังไม่ได้ถูกทำการดัดแปรหรือแปรรูป นิยมเรียกว่า แป้งดิบ (Raw Starch or Native Starch) ซึ่งจะตรงกันข้ามกับแป้งที่ถูกดัดแปรหรือแปรรูปแล้ว ที่เรียกว่า โมดิไฟดค์สตาร์ช (Modified Starch) หรือแป้งดัดแปร [20]

รูปแบบการใช้ประโยชน์จากแป้งในอุตสาหกรรมต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปตลอด อุตสาหกรรมหนึ่งในปัจจุบันอาจถูกแทนที่ด้วยอุตสาหกรรมหนึ่งที่กำลังพัฒนาต่อไปในอนาคตได้ การคิดค้นใหม่ๆ ทำให้เกิดความต้องการแป้งชนิดใหม่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ ทำให้มีความต้องการแป้งที่มีขนาดเล็กและมีปริมาณอะมิโลสสูง เกิดความพยายามที่จะเสาะแสวงหาแป้งชนิดใหม่ๆ ที่มีคุณสมบัตินั้นหรือมีการพยายามใช้เทคนิคต่างๆ ทางชีวเคมีพันธุวิศวกรรม ทำการดัดแปรแป้งหรือพืชนั้นๆ ทำให้เกิดความก้าวหน้าทางวิชาการมาก [20]

แป้งชนิดต่างๆ ที่มีการผลิตกันทั่วโลกในปี พ.ศ. 2523 - 2536 มีประมาณ 34 ล้านตัน ส่วนใหญ่จะเป็นแป้งข้าวโพดที่ผลิตในอเมริกา (ดังแสดงในรูปที่ 2.4) สำหรับประเทศผู้ผลิตนั้นถือได้ว่าอเมริกาเป็นผู้ผลิตแป้งรายใหญ่ที่สุดของโลก รองลงมา คือ กลุ่มประเทศตลาดร่วมยุโรป ซึ่งผลิตแป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี และแป้งข้าวโพด สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตแป้งมันสำปะหลังที่มากที่สุดของโลกเช่นกัน [20]



รูปที่ 2.4 ปริมาณการผลิตแป้งทั่วโลกในปี พ.ศ. 2523 - 2536
ที่มา : [21]

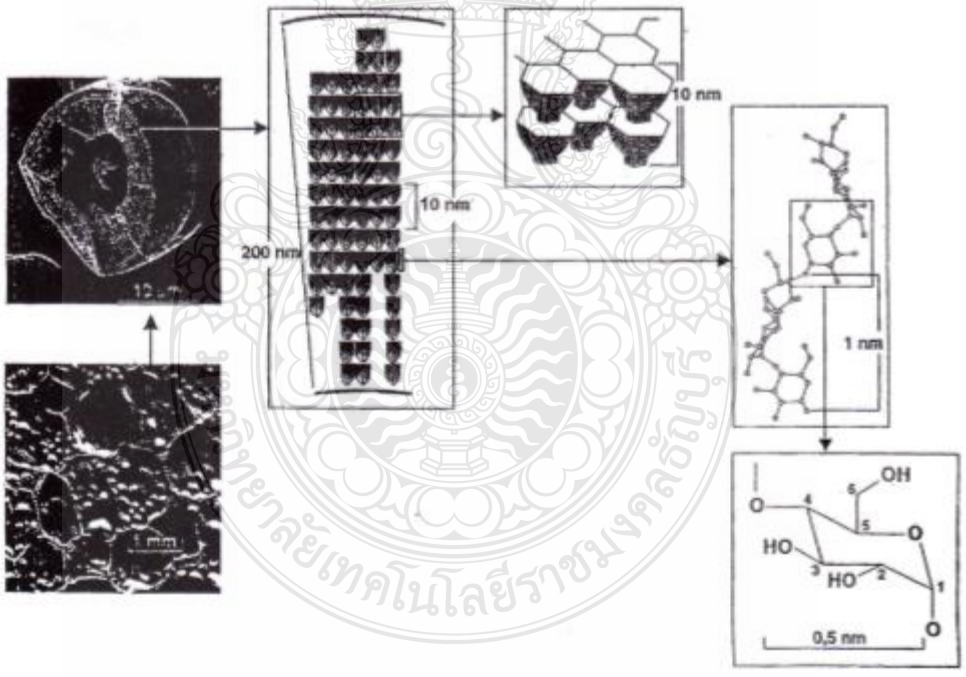
2.3.2 องค์ประกอบภายในแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 : 10 : 5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic Linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ที่มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde Group) เรียกว่าปลายรีดิวซิง (Reducing End Group) แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโลเพกทิน) วางตัวในแนวรัศมี แสดงระดับโครงสร้างของเม็ดแป้ง [18] (ดังแสดงในรูปที่ 2.5) แป้งจากแหล่งที่มาต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินแตกต่างกัน (ดังแสดงในตารางที่ 2.8) ทำให้สมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน

ตารางที่ 2.8 สมบัติที่สำคัญของอะมิโลส และอะมิโลเพกทิน

สมบัติ	อะมิโลส	อะมิโลเพกทิน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α-1, 4	α-1, 4 และ α-1, 6
ขนาด	200 - 2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีน้ำเงิน
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา : [21]



รูปที่ 2.5 ระดับโครงสร้างในเม็ดแป้งมันฝรั่ง

ที่มา : [22]

2.3.2.1 องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ได้แก่

1) อะมิโลส [23]

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic Linkage) ชนิดแอลฟา -1, 4 (α-1, 4)

แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี และแป้งข้าวฟ่าง มีอะมิโลสสูงร้อยละ 28 แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาคูมีปริมาณอะมิโลสต่ำร้อยละ 20 แป้งข้าวเหนียว (Waxy Starch) ไม่มีอะมิโลส และแป้งข้าวโพดมีอะมิโลส (Amylomaize) สูงมากถึงร้อยละ 80 น้ำหนักโมเลกุลของอะมิโลสอยู่ในช่วง 10^5 - 10^6 ดาลตัน ซึ่งอะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าในแป้งข้าวโพดและสาลี แป้งแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุลหรือระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of Polymerization) ของอะมิโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีขนาดโมเลกุลของอะมิโลสอยู่ในช่วง 1,000 - 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมีขนาดโมเลกุลของอะมิโลสในช่วง 200 - 1,200 แป้งที่มีโมเลกุลของอะมิโลส ยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ลดลงในธรรมชาติ อะมิโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลสของแป้งหลายๆ ชนิด

อะมิโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น บิวทานอล กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว ฟีนอล และไฮโดรคาร์บอน สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะไม่ละลายในน้ำ โดยอะมิโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ นอกจากนี้อะมิโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะมิโลส

2) อะมิโลเพกทิน [20]

อะมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α-1, 4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมีขนาดโมเลกุล (DP) อยู่ในช่วง 10 - 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะกลูโคซิดิกชนิด α-1, 6 มีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะมิโลเพกทินทั้งหมด ขนาดโมเลกุลของอะมิโลเพกทินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะมิโลเพกทินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะมิโลส คือ ประมาณ 10^7 - 10^9 ดาลตัน และมีอัตราในการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะมิโลเพกทินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะมิโลเพกทินประกอบด้วยสายโซ่ Chain 3 ชนิด คือ

(1) สาย A (A-Chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (Unbranched Structure)

(2) สาย B (B-Chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆสายหรือมากกว่า โครงสร้างอะมิโลเพกทินประกอบด้วยสาย A และ สาย B ในอัตราส่วน 0.8 - 0.9 : 1

(3) สาย C (C-Chain) เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ในอะมิโลเพกทินแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

3) สารตัวกลาง

สารตัวกลางมีเพียงส่วนน้อยในแป้งบางชนิด องค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าอะมิโลเพกทิน แต่ใหญ่กว่าอะมิโลส [24] และเมื่อตรวจสอบด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ พบว่าสารตัวกลางในแป้งสาลีจะมีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับอะมิโลเพกทินแต่มีกิ่งที่สั้นกว่า

4) ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเม็ดแป้ง แบ่งออกเป็น [18]

(1) ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง (Particulate Material) ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลายและผนังเซลล์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง

(2) ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง (Surface Material) ซึ่งสามารถสกัดออกได้โดยไม่ต้องทำลายเม็ดแป้ง เช่น เยื่อหุ้มอะมิโลพลาสต์

(3) ส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง (Internal Components) สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเม็ดแป้ง เช่น ไขมันในแป้งจากธัญพืช หมู่ฟอสเฟตในแป้งมันฝรั่ง และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง

ส่วนประกอบอื่นที่มีผลต่อลักษณะและสมบัติของเม็ดแป้งที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 องค์ประกอบของแป้งชนิดต่างๆ

ชนิดแป้ง	ไขมัน (ร้อยละ)	โปรตีน (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)
แป้งข้าวโพด	0.60	0.35	0.10
แป้งมันฝรั่ง	0.05	0.06	0.40
แป้งสาลี	0.80	0.40	0.15
แป้งมันสำปะหลัง	0.10	0.10	0.20
แป้งข้าวโพด	0.20	0.25	0.07
แป้วข้าวฟ่าง	0.70	0.30	0.08
แป้งข้าวเจ้า	0.80	0.45	0.50
แป้งสาคู	0.10	0.10	0.20
แป้งข้าวโพดอะมิโลเมส	0.40	-	0.20
แป้งมันเทศ	-	-	0.10
แป้งลูกเดือยพันธุ์ขาว	5.18	13.57	1.72
แป้งลูกเดือยพันธุ์ดำ	5.63	16.13	1.39
แป้งถั่วเหลือง	1.75	48.50	6.00
แป้งเมล็ดขนุน	0.28	11.60	2.90

ที่มา : [25], [26], [27], [28]

(1) ไขมัน [20]

ส่วนใหญ่แป้งจะมีองค์ประกอบของไขมันอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 1 ชนิดของไขมันที่มีอยู่ในแป้งมีผลต่อสมบัติของแป้ง เช่น มีผลต่อความหนืดของแป้ง ดังนั้นในการวิเคราะห์สมบัติของแป้งจะต้องกำจัดไขมันออกจากแป้งโดยสกัดด้วยตัวทำละลายหรือย่อยสลายโดยใช้น้ำย่อย

ไขมันภายในแป้งมีทั้งที่อยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ซึ่งประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) กลูโคลิพิด (Glucolipids) ฟอสฟอลิพิด (Phospholipids) และไขมันที่อยู่กระจายทั่วไปภายในเม็ดแป้ง โดยเชื่อมพันธะกับคาร์โบไฮเดรตอย่างหลวมๆ แป้งจากพืชหัวและจากถั่วไม่มีไขมันภายในเม็ดแป้ง สำหรับแป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มีไขมันภายในเม็ดแป้งซึ่งมีสมบัติและปริมาณของไขมันแตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพดมีไขมันร้อยละ 0.6 - 0.8 ประกอบด้วยกรดไขมันอิสระร้อยละ 62 และไลโซฟอสฟอลิพิดร้อยละ 38 สำหรับแป้งสาลีมีไขมันร้อยละ 0.8 - 1.2 น้ำหนักแห้ง ประกอบด้วยโมโนเอซิลและไลโซฟอสฟอลิพิดร้อยละ

86 - 94 กรดไขมันที่สำคัญของไลโซฟอสฟอลิพิด คือ กรดไขมันอิ่มตัวคาร์บอน 16อะตอม และกรดไขมันไม่อิ่มตัวคาร์บอน 18 อะตอม โมโนเอซิลลิพิดเหล่านี้สามารถจับตัวเชิงซ้อนกับอะมิโลสได้ ในขณะที่ไดเอซิลและไตรเอซิลลิพิดไม่สามารถจับตัวเช่นนี้ได้

ไขมันที่รวมอยู่ในเม็ดแป้งจะส่งผลกระทบต่อลักษณะและคุณสมบัติของแป้ง โดยจะลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกับน้ำของแป้ง เมื่อเกิดฟิล์มและแป้งเปียกพรือเพสต์ ไขมันจะรวมตัวกับอะมิโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเฉื่อย ทำให้ฟิล์มและแป้งเปียกมีลักษณะทึบแสงหรือขุ่น นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวเม็ดแป้งจะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่สำหรับไขมันที่รวมตัวเชิงซ้อนกับอะมิโลส จะไม่ก่อให้เกิดกลิ่น เนื่องจากสามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี มีกลิ่นแรงกว่าแป้งข้าวโพด ข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่ง เนื่องจากมีองค์ประกอบของไขมันสูง

(2) โปรตีน [20]

ภายในแป้งมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะของแป้ง คือ ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวเม็ดแป้ง มีผลต่อการกระจายของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) ระหว่างการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิง สีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไป โดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาเช่นนี้เกิดขึ้นกับแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูง

(3) เถ้า [20]

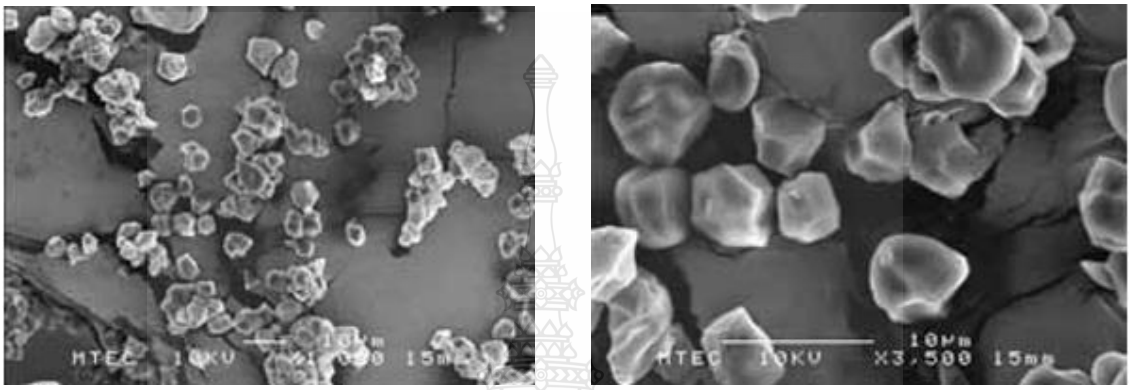
แป้งโดยทั่วไปมีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม สามารถวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าได้จากส่วนที่เหลือหรือเถ้าจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ ปริมาณเถ้าในแป้งมันฝรั่งจะสัมพันธ์กับหมู่ฟอสฟอรัสในแป้ง สำหรับเถ้าในแป้งจากธัญพืชจะสัมพันธ์กับปริมาณฟอสโฟลิพิด

(4) ฟอสฟอรัส

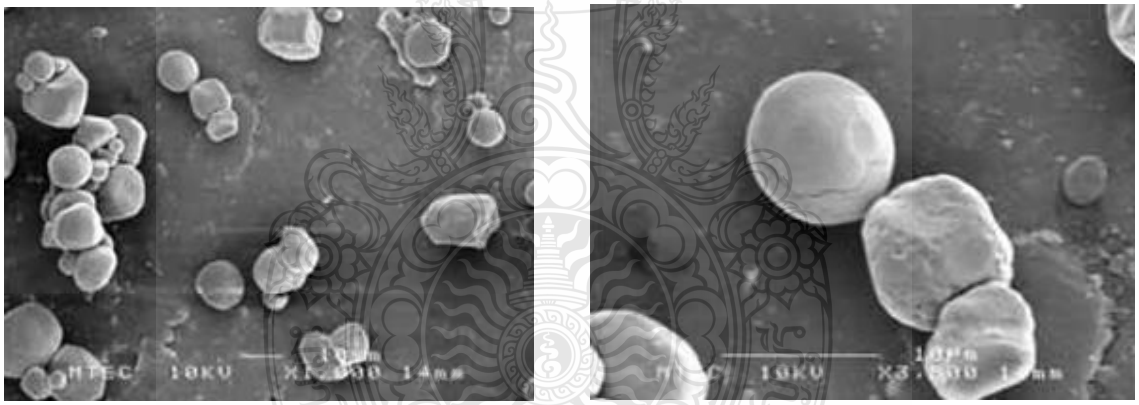
แป้งส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสร้อยละ 0.1 โดยแป้งจากธัญพืชมีฟอสฟอรัสในรูปฟอสโฟลิพิดร้อยละ 0.02 - 0.06 และสำหรับแป้งจากพืชหัวและราก เช่น แป้งจากมันฝรั่ง มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสร้อยละ 0.3 - 0.4 ฟอสฟอรัสภายในแป้งอยู่ในรูปฟอสเฟตเชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และ 6 ของหน่วยกลูโคส [27]

2.3.3 โครงสร้างและการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง [18]

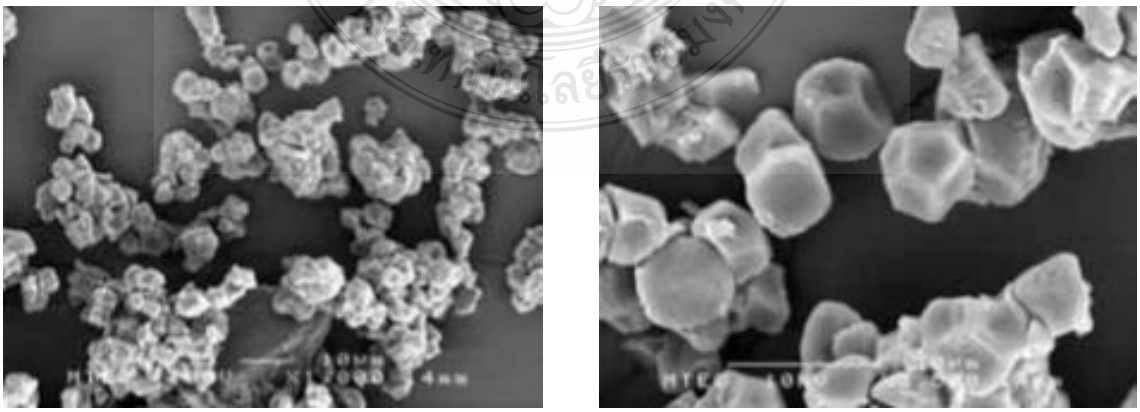
แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาดเล็ก โดยเมื่อตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (ดังแสดงในรูปที่ 2.6) พบว่า เม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งของแป้งนั้นๆ



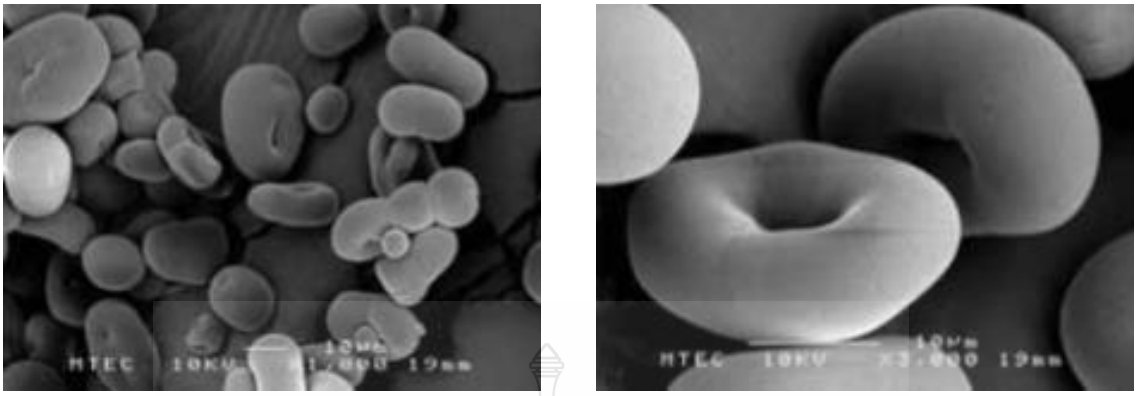
(ก)



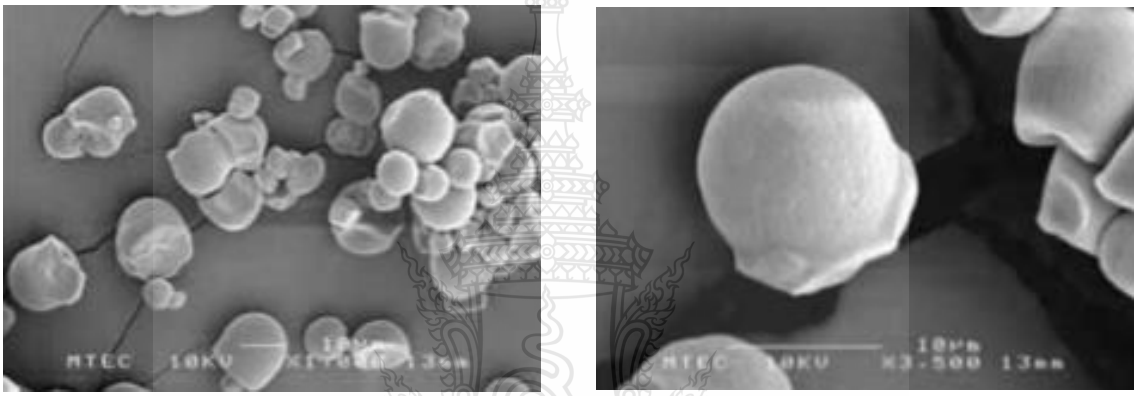
(ข)



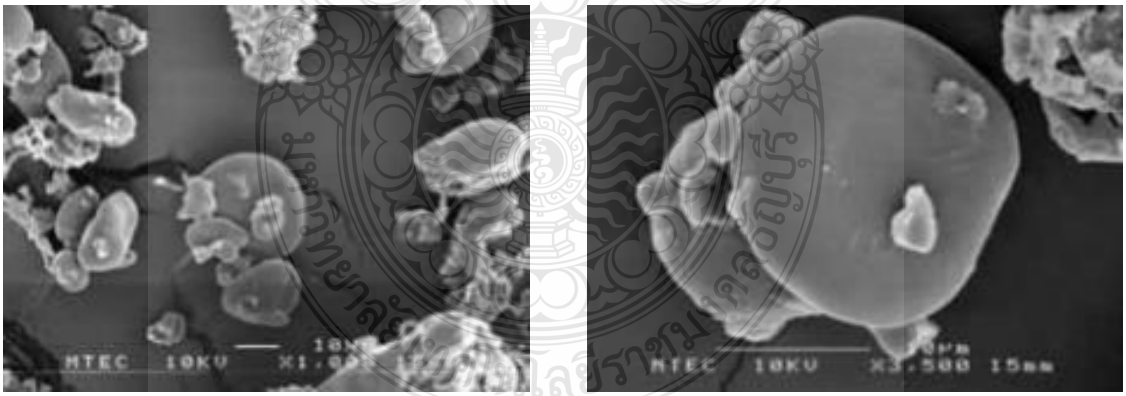
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 2.6 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ (กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน)

(ก) แป้งข้าวจ้าว (ข) แป้งข้าวโพด (ค) แป้งข้าวเหนียว (ง) แป้งถั่วเขียว (จ) แป้งมันสำปะหลัง (ฉ) แป้งสาลี

ที่มา : [20]

เม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึกโดยโมเลกุลของอะมิโลส และอะมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (Crystallite) และส่วนอสัณฐาน ส่วนสายโซ่สั้นของอะมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวม้วนคู่ (Double Helices) ซึ่งบางส่วนจะเกิดเป็นโครงสร้างที่เป็นผลึก ส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะมิโลสและสายโซ่ยาวของอะมิโลเพกทิน เม็ดแป้งจะมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้าเกิดการเรียงตัวหนาแน่นมากจะเกิดเป็นผลึกแบบ A (แป้งจากธัญพืชต่างๆ) ถ้าเรียงตัวกันหลวมๆ จะเกิดผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว) ถ้าเกิดการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (แป้งจากพืชตระกูลถั่ว) โครงสร้างของผลึกที่ต่างกันจะให้ลักษณะการกระจายตัวของแสงต่างกัน ซึ่งสามารถตรวจสอบชนิดโครงสร้างของเม็ดแป้งได้โดยเทคนิครังสีเอ็กซ์เรย์ แป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน จะให้รูปแบบของการหักเหรังสีเอ็กซ์เรย์

เม็ดแป้งมันฝรั่งมีลักษณะเป็นรูปไข่ขนาดใหญ่ ถือได้ว่าใหญ่ที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งอุตสาหกรรมทั่วไป เม็ดแป้งสาลีมี 2 ขนาด คือ ขนาดใหญ่กับขนาดเล็ก เม็ดแป้งขนาดเล็กจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.5 - 10 ไมครอน เม็ดแป้งขนาดใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 10 - 45 ไมครอน มีอยู่ในแป้งสาลีร้อยละ 20 แต่มีน้ำหนักถึงร้อยละ 90 ของเม็ดแป้งสาลี ส่วนเม็ดแป้งมันสำปะหลังมีขนาดปานกลาง 25 ไมครอน ขนาดใกล้เคียงกับเม็ดแป้งข้าวโพด ขนาด รูปร่าง และลักษณะของเม็ดแป้งแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ

แหล่งแป้ง	ขนาด (ไมครอน)	รูปร่าง
ข้าวสาลี	2 - 35	กลม ค่อนข้างรี
ข้าวโพด	5 - 25	กลม แบน มีหลายเหลี่ยม รูปร่างคล้ายแท่ง
ข้าวเจ้า	3 - 5	แบน มีหลายเหลี่ยม
ข้าวบาร์เลย์	2 - 35	กลม คล้ายไข่
ข้าวฟ่าง	15 - 35	กลม แบน มีหลายเหลี่ยม
ข้าวโอต	5 - 8	กลม แบน มีหลายเหลี่ยม
ข้าวไรน์	10 - 50	กลม ค่อนข้างรี

ที่มา : [30]

2.3.4 สมบัติของแป้ง [20]

2.3.4.1 การดูดซับน้ำ การพองตัว และการละลาย

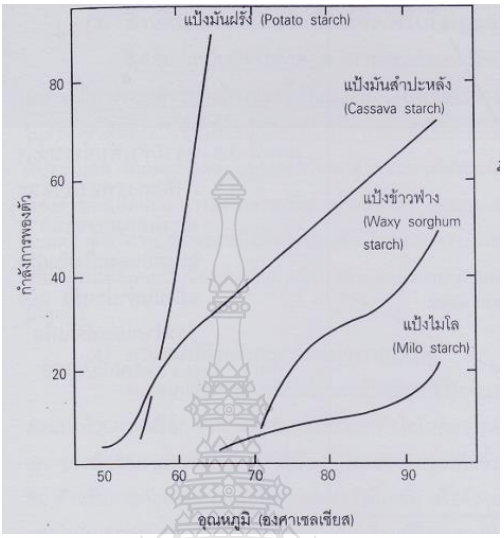
น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมีอยู่ด้วยกัน 3รูปแบบ คือ น้ำในผลึก น้ำในรูปที่ไม่อิสระ (Bound Water) และน้ำในรูปอิสระ (Free Water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 8 – 10 สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากการจับของน้ำกับหมู่ ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยของแป้ง

น้ำหรือของเหลวชนิดอื่นสามารถแพร่และผ่านเข้าไปในร่างแหของไมเซลล์ (Micelles) ในเม็ดแป้งได้อย่างอิสระ ทดสอบได้จากการแขวนลอยของเม็ดแป้งในสารละลายไอโอดีนเจือจาง จะเกิดสีขึ้นในเม็ดแป้ง เมื่อใส่โซเดียมไทโอซัลเฟตลงไป พบว่าสีจะหายไปอย่างรวดเร็ว และเมื่อนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าเม็ดแป้งประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมากซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวคัดขนาดโมเลกุล รูพรุนเหล่านี้อาจจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำแห้งในกระบวนการผลิตแป้ง หรืออาจจะมีอยู่แล้วในแป้งธรรมชาติแต่มีขนาดขยายใหญ่ขึ้นเนื่องจากขั้นตอนการทำแห้งในกระบวนการผลิตแป้ง

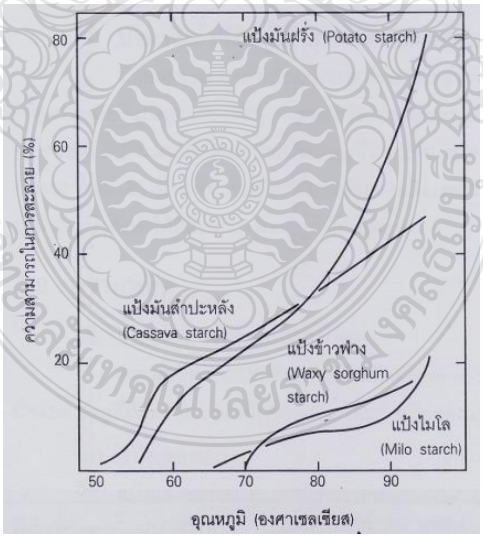
แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย ความหนืด และความใสเพิ่มขึ้น สมบัติของการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ ในเม็ดแป้งจะหมดไป ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัว และความสามารถในการละลายคือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง และการดัดแปรแป้งทางเคมี รูปแบบในการพองตัว และการละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไป

เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว และบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ ซึ่งสมบัติทั้ง 2 นี้มีความสัมพันธ์กัน รูปแบบการพองตัวของแป้งกับอุณหภูมิ (ดังแสดงในรูปที่ 2.7) และรูปแบบการละลายของแป้งกับอุณหภูมิ (ดังแสดงในรูปที่ 2.8) ซึ่งมีความคล้ายกันมาก และเห็นความสัมพันธ์ได้เมื่อเขียนกราฟระหว่างกำลังการ

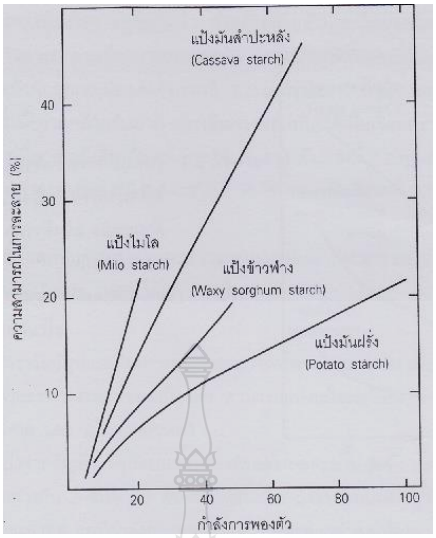
พองตัวและการละลายที่อุณหภูมิเดียวกันจะได้กราฟ เส้นตรง (ดังแสดงในรูปที่ 2.9) คุณสมบัติในการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้งแต่ละชนิดที่ 95 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 2.11



รูปที่ 2.7 รูปแบบการพองตัวของแป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวฟ่าง และแป้งไมโล
ที่มา : [31]



รูปที่ 2.8 รูปแบบการละลายของแป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวฟ่าง และแป้งไมโล
ที่มา : [31]



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวฟ่าง และแป้งไมโล

ที่มา : [31]

ตารางที่ 2.11 สมบัติในการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้งที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส

ชนิดแป้ง	กำลังการพองตัว	การละลาย (ร้อยละ)
แป้งมันฝรั่ง	>1,000	82
แป้งสาคู	97	39
แป้งมันสำปะหลัง	71	48
แป้งท้าวยายม่อม	54	28
แป้งข้าวโพด	24	25
แป้งข้าวฟ่าง	22	22
แป้งข้าวสาลี	21	41
แป้งข้าวเจ้า	19	18

ที่มา : [31]

1) ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้ง

(1) ชนิดของแป้ง

แป้งแต่ละชนิดมีรูปแบบในการพองตัวและการละลายแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาตามความสามารถในการพองตัวและการละลายของแป้งแล้ว สามารถแบ่งแป้งออกเป็น 3 ชนิด คือ แป้งจากธัญพืช แป้งจากส่วนราก และแป้งจากส่วนหัว

แป้งจากธัญพืช มีรูปแบบการพองตัวและการละลาย 2 ขั้น แสดงถึงแรงของพันธะภายในเมล็ดแป้งที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ พันธะบริเวณผลึก และบริเวณอสัณฐานของเม็ดแป้ง แป้งจำพวกนี้มีจำนวนพันธะสูงสุดแต่มีกำลังการพองตัวและการละลายต่ำสุด เนื่องจากมีปริมาณอะมิโลสสูง ซึ่งอะมิโลสจะทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้น ทำให้พองตัวได้ต่ำ

แป้งจากส่วนรากหรือส่วนกลางลำต้น เช่น แป้งมันสำปะหลัง มีการพองตัวเพียงขั้นเดียว กำลังการพองตัวและการละลายมีค่าสูงกว่าแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่า แป้งจากส่วนรากจะเกิดเจลาทิไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช

แป้งจากส่วนหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง จะมีการพองตัวสูงเนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ นอกจากนี้หมู่ฟอสเฟตภายในแป้งมันฝรั่งยังทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้น เนื่องจากสามารถก่อให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้าได้ การพองตัวในแป้งจากส่วนหัวจะเกิดเพียงชั้นเดียว และเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ รูปแบบนี้จะเป็นลักษณะของแป้งที่เป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์

(2) ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง

ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง หรือจำนวนและชนิดของพันธะภายในเม็ดแป้ง ในระดับโมเลกุลมีปัจจัยหลายปัจจัยที่มีผลกระทบต่อจำนวนของพันธะ ได้แก่ ขนาด รูปร่าง ส่วนประกอบและการกระจายตัวของร่างแหภายในเม็ดแป้ง อัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน น้ำหนักโมเลกุล การกระจายตัวของโมเลกุล จำนวนกิ่งก้านสาขา การจัดเรียงตัวและความยาวของสาขาในอะมิโลเพกทิน

(3) ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัว

มีผลต่อการพองตัวและการละลาย สารละลายที่มีปริมาณแป้งต่ำกว่าร้อยละ 20 ค่าการละลายจะสูงกว่าเมื่อมีแป้งสูงกว่าร้อยละ 20 การพองตัวอย่างอิสระและการละลายที่สูงขึ้นจะถูกยับยั้งในสภาพที่สารละลายมีปริมาณน้ำน้อย สารประกอบอื่นๆ เช่น ซูโครส กลูโคส และสารอิเล็กโทรไลต์ มีผลกระทบต่อการพองตัวของแป้ง พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซูโครส และลดปริมาณแป้งลงทำให้แป้งสามารถละลายได้เพิ่มขึ้น

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 นนท์ ธิติเลิศเดชา [32] ศึกษาการตรวจสอบปริมาณสารฟีนอลิก สมบัติการต้านการเกิดออกซิเดชันและการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียจากสารสกัดของเปลือกและเมล็ดเงาะ (*Neghelium lappaceum* L.) ที่สกัดด้วยอีเทอร์ เมธานอล และน้ำ พบว่า สารสกัดจากเปลือกเมล็ดเงาะมีปริมาณสารฟีนอลิกสูง รวมถึงมีฤทธิ์ต้านการเกิดออกซิเดชันและยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียดีกว่าสารสกัดจากเมล็ดเงาะ ศึกษาองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในเปลือกเงาะด้วยการวิเคราะห์โดยวิธีโครมาโทกราฟี กระดาษแบบสองทิศทาง จากนั้นจึงแยก และทำบริสุทธิ์สารประกอบฟีนอลิกที่ออกฤทธิ์โดยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟีโดยใช้เซฟาเด็กซ์แอลเอช 20 เป็นเฟสนิ่ง สามารถแยกสารประกอบฟีนอลิกได้เป็น 8 กลุ่ม และเมื่อตรวจสอบสมบัติด้านการเกิดออกซิเดชันและการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียของสารที่แยกได้ สารในกลุ่มที่ 6 - 8 นอกจากมีฤทธิ์การต้านการเกิดออกซิเดชันและการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียสูงแล้วยังเป็นสารบริสุทธิ์ ปริมาณฟีนอลิกในเมล็ดและเนื้อของเงาะในทั้ง 2 สายพันธุ์น้อยกว่าในเปลือกเงาะตลอดระยะการเจริญของผลเงาะ และยังพบว่าปริมาณกรดเอลลาจิค คอริลาจิน และเจรานิอินในระหว่างการเจริญของผลเงาะมากที่สุดในระยะเก็บเกี่ยวโดยมีปริมาณ 1,241 มิลลิกรัมต่อผล (ร้อยละ 14.36 โดยน้ำหนักแห้ง) ในสายพันธุ์โรงเรียน และ 587 มิลลิกรัมต่อผล (11.19 ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ในสายพันธุ์สีชมพู

2.4.2 นัฐวี ตีรณานนท์ [9] ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดเงาะ งานวิจัยได้สกัดน้ำมันเมล็ดเงาะด้วยเฮกเซน โดยสามารถสกัดน้ำมันได้ประมาณร้อยละ 30.33 ของน้ำหนักเมล็ด การศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดเงาะโดยใช้เมธานอลที่อัตราส่วนโมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 6 : 1, 9 : 1, 12 : 1 และ 15 : 1 ใช้ตัวเร่งในการทำปฏิกิริยาเป็นด่าง (NaOH) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 0.8 และ 1 เทียบกับน้ำมันเงาะ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 50 - 60 องศาเซลเซียส จากงานวิจัย พบว่า ไบโอดีเซลจากน้ำมันเงาะเมื่อผ่านไป 2 - 3 วัน จะเกิดเป็นไขขึ้น เพราะฉะนั้นแล้วไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดเงาะจึงยังไม่เหมาะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล

2.4.3 สมบัติ คงวิทยา และคณะ [33] ศึกษาหาแหล่งที่ให้เอนไซม์เพอร์ออกซิเดสในผลเงาะ ได้แก่ เนื้อเปลือก และเมล็ด โดยการ นำตัวอย่างสกัดเอนไซม์โดยใช่สารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟตพีเอช 7.0 และติดตามแอคทิวิตีของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสด้วย 4 อะมิโนแอนทิไพรีน ฟีนอล และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที พีเอชและอุณหภูมิที่เหมาะสมของส่วนเมล็ด เท่ากับ 8.5 และ 45 องศาเซลเซียส ส่วนเนื้อ เท่ากับ 8.5 และ 45 องศาเซลเซียส และส่วนเปลือก 5.5 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากผลการศึกษาอธิบายได้ว่าทุกส่วนของเงาะมีแอคทิวิทีของเพอร์ออกซิเดส และมีสมบัติแตกต่างกัน

2.4.4 วรรณรดา ศิริสมพงษ์ [4] ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไขมันเมล็ดเงาะ และศึกษาสมบัติทางเคมี และกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะ โดยใช้เฮกเซนและปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย ได้ปริมาณไขมันจากการสกัดโดยใช้เฮกเซนร้อยละ 37.25 ของน้ำหนักแห้ง และได้ปริมาณไขมันจากการสกัดโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ร้อยละ 39.85 ของน้ำหนักแห้ง และศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะพบว่า ไขมันเมล็ดเงาะมีลักษณะเป็นไขมันแข็งสีขาวที่อุณหภูมิห้อง มีสมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่าไอโอดีน ค่าสปอนนิฟิเคชัน ค่าปริมาณสารที่สปอนนิไฟด์ไม่ได้ ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าการหักเหแสงพบว่าไขมันเมล็ดเงาะไม่แตกต่างจากไขมันที่ใช้กันทั่วไป

2.4.5 วิมลศรี พรรธนประเทศ และคณะ [10] ศึกษาการประยุกต์ใช้แป้งจากเมล็ดเงาะในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดแป้งเงาะไขมันต่ำ โดยใช้แป้งเมล็ดเงาะเป็นสารเพิ่มความข้นหนืดทดแทนการใช้ไข่แดงและน้ำมันพืชในน้ำสลัด แป้งเมล็ดเงาะมีสมบัติทางกายภาพและเคมี คือ มีโปรตีนประมาณร้อยละ 10 - 12 ความชื้นร้อยละ 3 - 5 ปริมาณน้ำอิสระมีค่า 0.2 - 0.3 การละลายร้อยละ 30 - 35 และค่ากำลังพองตัวร้อยละ10 – 15

2.4.6 ผาณิต รุจิรพิสิฐ [34] ศึกษาแป้งฟลาวร์ที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน 3 ขนาด คือ 60, 80 และ 100 เมช สตาร์ช และกากที่ได้จากการผลิตสตาร์ช นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเปรียบเทียบกับหัวแห้วจีนสด และศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพทางด้านขนาด และลักษณะของเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน เม็ดแป้งมีลักษณะกลมคล้ายไข่ที่มีรอยตัด โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 - 17 ไมครอน มีค่า pH เท่ากับ 5.61 - 6.47 แป้งจากแห้วจีนมีสีเหลืองอ่อนๆ โดยแป้งฟลาวร์ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ มีค่าความสว่างต่ำกว่าอนุภาคขนาดเล็ก แต่อุ้มน้ำได้ดีกว่า โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การละลายน้ำและการพองตัวของแป้งก็จะมากขึ้น และพบว่าแป้งฟลาวร์และสตาร์ชที่มีองค์ประกอบสตาร์ชมาก

2.4.7 ดารารัตน์ นาคละออ [35] ศึกษาวิธีการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุนเพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหาร โดยพรีเจลาทิไนซ์แป้งเมล็ดขนุน 2 วิธี คือ การต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15, 30 และ 45 นาที และการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 องศาเซลเซียส โดยมีแป้งดิบจากเมล็ดขนุนเป็นตัวอย่างควบคุม แป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีค่าดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ ระดับการเกิดเจลาทิไนซ์และความหนืดสูงกว่าแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด และสูงกว่าตัวอย่างควบคุม

2.4.8 สุนันทา ทองทา [36] ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีลูกเดือยพันธุ์เปลือกขาวและเปลือกดำ พบว่า มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร และสตาร์ช ในช่วงร้อยละ 13.6 - 16.1, 5.2 - 5.6, 1.4 - 1.7, 14.7 - 17.4 และ 66.5 - 69.6 ตามลำดับ สตาร์ชลูกเดือยแสดงลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ A เมื่อตรวจสอบ

ด้วย X - ray diffraction รูปร่างเม็ดสตาร์ชเป็นแบบกลม หลายเหลี่ยม และมีขนาดของอนุภาคเฉลี่ย 11.68 - 12.29 ไมครอน อะไมโลเพคตินของสตาร์ชลูกเดือยมีขนาดเฉลี่ยที่ Degree of Polymerization 20.78 - 21.01 ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชันของสตาร์ชลูกเดือยที่ศึกษาด้วย Differential Scanning Calorimetry มีค่า 67 - 81 องศาเซลเซียส การเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชใช้ระยะเวลา 39 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สมบัติการเกิดเพสท์วิเคราะห์ด้วย Rapid Visco Analyzer (RVA) พบว่า สตาร์ช ลูกเดือยพันธุ์เปลือกขาวให้ความหนืดสูงสุดและค่าเบรกดาว์นสูงกว่าพันธุ์เปลือกดำ กำลังการพองตัวของสตาร์ชลูกเดือยพันธุ์เปลือกดำมีค่าสูงกว่า แต่ค่าการละลายของสตาร์ชลูกเดือยพันธุ์เปลือกดำมีค่าต่ำกว่าพันธุ์เปลือกขาว

2.4.9 วิวัฒน์ วรามิตร และเพ็ญประภา พงษ์ประยูร [37] ศึกษาผลของการใช้แป้งจากเมล็ดเงาะทดแทนปลายข้าวในสูตรอาหารต่อสมรรถนะการผลิตของไก่เนื้อ ที่ระดับร้อยละ 10 และ 20 ไม่มีผลต่ออัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวเฉลี่ยของไก่เนื้อ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เมื่อใช้ทดแทนที่ร้อยละ 30 พบว่า อัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวเฉลี่ยของไก่เนื้อมีแนวโน้มต่ำลง ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ต่อสมรรถนะการผลิตของไก่เนื้อด้านอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณการกินได้ อัตราการแลกเนื้อ อัตราการเลี้ยงรอด อัตราการตาย และต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ของไก่เนื้อ ตลอดช่วงเวลาการทดลอง 7 - 35 วัน

2.4.10 พงษ์ศิริ วินิจฉัย และวารุณี ธนะแพสย์ [38] ศึกษาวิธีการสกัด และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันเมล็ดเสาวรส เพื่อใช้เป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง จากการสกัดน้ำมันเมล็ดเสาวรสที่สกัดด้วยตัวทำละลายโดยวิธี Soxhlet Extraction ในตัวทำละลายเฮกเซน ปิโตรเลียมอีเทอร์ และการบีบอัด ได้ผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันคิดเป็น ร้อยละ 23.56, 24.43 และ 20.66 ตามลำดับ จากนั้นนำน้ำมันที่สกัดได้วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมัน ที่ผ่านการสกัดในแต่ละวิธีโดยวิธีทางโครมาโตกราฟีพบวิตามินอี และวิตามินซีจากการสกัดด้วย Hydraulic Press ที่ 5.85 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และ 0.277 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ และพบกรดไขมันชนิด Linoleic Acid จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ปิโตรเลียมอีเทอร์ และการบีบอัดสูงถึงร้อยละ 71, 72.6 และ 31.79 ตามลำดับ

2.4.11 วรพงษ์ มิ่งมา และวัฒนพงศ์ ลือชูวงศ์ [39] ศึกษาสมบัติของน้ำมันและไขมันจากเมล็ดพืชที่หาได้ในประเทศไทย เพื่อใช้ประโยชน์ทางเภสัชกรรม โดยการคัดเลือกเมล็ดพืช 4 ชนิด ดังนี้ เมล็ดเงาะเมล็ดมะม่วง เมล็ดส้ม และเมล็ดหูกวาง นำมาสกัดด้วยตัวทำละลาย Hexane คุสมบัติทางกายภาพของน้ำมันและไขมันทั้ง 4 ชนิด ที่ได้ทำการทดลอง ได้แก่ ค่าดัชนีหักเหของแสง ค่าความถ่วงจำเพาะค่าความหนืด แรงตึงผิว แรงตึงระหว่างผิว ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวบนพื้นผิว

คุณสมบัติเฉพาะได้แก่ Iodine Value, Saponification Value, Acid Value และ Peroxide Value เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเฉพาะของไขมันและน้ำมันที่ได้จากการทดลอง พบว่าน้ำมันเมล็ดส้มมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันอัลมอนด์และน้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดหูกวางมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันมะกอกและน้ำมันถั่วลิสง และไขมันที่ได้จากเมล็ดเงาะและเมล็ดมะม่วงมีสมบัติใกล้เคียงกับเนยโกโก้ (Cocoa Butter) ผลจากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่น้ำมันและไขมันจาก เมล็ดส้ม เมล็ดหูกวาง เมล็ดเงาะ และเมล็ดมะม่วงจะสามารถใช้ทดแทนน้ำมันที่ใช้ทางเภสัชกรรมได้

2.4.12 จักรกฤษณ์ จังโส [40] ศึกษากระบวนการสกัดสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงสายพันธุ์แก้ว โดยเริ่มจากการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งระหว่าง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ จนกระทั่งมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบแห้ง คือ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดมะม่วงอบแห้งมาบดให้ละเอียด และทำการสกัดน้ำมันด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 2 วิธีคือ Soxhlet Extraction กับวิธี Three Phase Partitioning ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ พบว่าการสกัดแบบวิธี Soxhlet Extraction จะได้ปริมาณน้ำมันมากกว่าการสกัดแบบวิธี Three Phase Partitioning จากนั้นนำน้ำมันเมล็ดมะม่วงบางส่วนมาทำวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่มีอยู่ด้วยเครื่อง Gas Chromatography – Flame Ionization Detector (GC-FID) แล้วนำส่วนที่เหลือมาทำการเก็บรักษาที่ 2 สภาวะ คือ อุณหภูมิห้องปกติ และที่อุณหภูมิ 6 – 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 6 เดือน

2.4.13 สุภัสชา จันพร [41] ศึกษาวิธีการสกัด ได้แก่ การสกัดแบบซ็อกแลต และการสกัดด้วยวิธีการหมักทั้งมีและไม่มีการใช้เครื่องเขย่า และความร้อนร่วมด้วยต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและปริมาณน้ำมัน การสกัดแบบซ็อกแลตได้ปริมาณน้ำมันสูงที่สุดร้อยละ 57.50 และปริมาณกรดไขมันของน้ำมันจากเมล็ดหูกวางที่สกัดจาก 3 วิธีมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 31.38 – 33.08 ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) อยู่ในช่วงร้อยละ 24.65 – 31.72 และปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) อยู่ในช่วงร้อยละ 23.03 – 31.07

2.4.14 J. Eiamwat et al. [42] ศึกษาการสกัดไขมันและน้ำมันจากเมล็ดเงาะที่ได้จากวิธีเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 35 MPa และ 45 องศาเซลเซียส ได้รับการประเมินความเป็นพิษที่เป็นไปได้ในหนูและกระต่าย ปริมาณไขมันในเมล็ดเงาะเพียงอย่างเดียว และสารสกัดจากน้ำมันในระดับที่สูงถึง 5,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เป็นพิษต่อหนู ระดับ LD50 เฉียบพลันในผิวหนังของหนูวิสตาร์คือ น้ำหนักตัวมากกว่า 2,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม การสกัดไขมันและน้ำมันจากเมล็ดเงาะไม่

ก่อให้เกิดอาการระคายเคือง ไม่มีผลกระทบต่อกระต่ายไม่มีการเสียชีวิตที่เกี่ยวข้องกับการรักษาหรือความเป็นพิษใดๆ ในสัตว์ทั้งหมดจนกว่าจะมีการชันสูตรศพ จากผลการศึกษา พบว่า สารสกัดจากเมล็ดเงาะ และสารสกัดจากน้ำมันดีเซลไม่เป็นพิษ

2.4.15 S. Chimplee and U. Klinkesorn [43] ศึกษาปริมาณไขมันเมล็ดเงาะ และคุณภาพที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งทดแทนไขมันพืชที่กินได้ การอบแห้งของเมล็ดไขมันสามารถปรับปรุงผลผลิตไขมันและยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ด ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งของเมล็ดเงาะโดยใช้เครื่องอบอากาศร้อนเป็นเวลา 6 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส จากการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของการตรวจวัด (R^2) และค่าความคลาดเคลื่อนราก (RMSE) พบว่า เฮนเดอร์สันและ Pabis ที่มีการปรับเปลี่ยนแบบจำลองการอบแห้งบางชั้นที่ดีที่สุดสำหรับเมล็ดเงาะ (R^2> 0.99 และ RMSE <0.02) ความชื้นสัมพัทธ์ของเมล็ดเงาะโดยประมาณจากสมการที่ปรับเปลี่ยนตามกฎการกระจายตัวที่สองของฟิกิกซ์คือ 2.56 x 10^{-10} ถึง 3.68 × 10^{-10} m^2 s^{-1} ผลของการสกัดไขมันอย่างมีนัยสำคัญบ่งชี้ถึงผลกระทบของเมล็ดเงาะที่มีความชุ่มชื้นต่ำต่อการเพิ่มผลผลิตไขมัน ($P < 0.05$)

2.4.16 Manaf YN. et al. [44] ศึกษาเมล็ดเงาะร้อยละ 6.9 ± 0.2 โดยน้ำหนักของผลเงาะ ของเงาะพันธุ์โรงเรียนมีปริมาณไขมันดิบร้อยละ 38.0 ± 4.36 ดังนั้นจุดมุ่งหมายของการศึกษาคือเพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไขมันชนิดนี้มีค่าไอโอดีน และการเติมปราศจากการสังเคราะห์และปริมาณกรดไขมันอิสระของเมล็ดมีค่าเท่ากับ 50.27 กรัม ไขมัน 12 / 100 กรัมไขมัน 182.1 มิลลิกรัม/กรัมไขมัน 0.8 และ 2.1 ตามลำดับ ไขมันมีสีเหลืองอ่อนมีดัชนีสี Lovibond เท่ากับ 3.1Y ± 1.1R กรดไขมันแสดงถึงสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 49.1 และไม่อิ่มตัวร้อยละ 50.9 การวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC พบว่าไขมันส่วนใหญ่ประกอบด้วย Triacylglycerols (TAG) ไขมันมีจุดหลอมเหลวและจุดให้ความร้อน 44.2 องศาเซลเซียส และ -42.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับทำให้เป็นของแข็งกึ่งแข็งที่อุณหภูมิห้อง ปริมาณของแข็งที่ 0 องศาเซลเซียส เท่ากับร้อยละ 53.5 และไขมันละลายได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส การวิเคราะห์ Z-Nose แสดงให้เห็นว่ามีสารประกอบระเหยในระดับสูงในเมล็ดเงาะสีแดงและไขมันเมล็ด

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ผลของวิธีการสกัดไขมันต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมัน และแป้งจากเมล็ดเงาะ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press และวิธีแบบร้อนโดยใช้เครื่อง Soxhlet Extraction ต่อสมบัติของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะ มีขั้นตอนและวิธีการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 วัตถุดิบ

เมล็ดเงาะพันธุ์โรงเรียนจากโรงงานแปรรูปเนื้อเงาะบรรจุกระป๋อง บริษัทเอราวัณ ฟู้ดส์ ตำบลบางกระเจ้า อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร ที่เป็นของเหลือทิ้งจากโรงงาน

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์ในการเตรียมวัตถุดิบ

3.2.1.1 ตาชั่ง ขนาด 60 กิโลกรัม ยี่ห้อ ฝาแฝด

3.2.1.2 ตู้แช่แข็ง -20 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ ซิก้า รุ่น MUC 285

3.2.1.3 ตู้แช่เย็น 4 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ ซิก้า รุ่น MUC 285

3.2.1.4 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อกล้วยน้ำไทเตาอบ

3.2.1.5 เครื่องบดหยาบ ยี่ห้อ Tefal รุ่น BL1151AD

3.2.1.6 เครื่องโม่แห้ง (Rotor Beater Mill) ยี่ห้อ Retsch GmbH รุ่น MM 301

3.2.1.7 เครื่องเขย่าตะแกรง และตะแกรงร่อน ยี่ห้อ Retsch รุ่น AS 200

3.2.1.8 อุปกรณ์เครื่องครัว

3.2.2 อุปกรณ์ในการสกัดไขมันเมล็ดเงาะ

3.2.2.1 เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press ยี่ห้อ ไทยนต์ รุ่น TP-5

3.2.2.2 ชุดสกัดไขมัน Soxhlet

3.2.2.3 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) ยี่ห้อ Memmert รุ่น WNB7

3.2.2.4 เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน ยี่ห้อ Buchi รุ่น R210

3.2.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ไขมันและแป้งเมล็ดเจาะ

3.2.3.1 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ กล้วยน้ำไท

3.2.3.2 เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น TE214S

3.2.3.3 เครื่องปั่นเหวี่ยง ยี่ห้อ Hettich รุ่น EBA200

3.2.3.4 โถดูดความชื้น

3.2.3.5 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง Microprocessor pH Meter

3.2.3.6 เครื่องวัดค่าสี HunterLab รุ่น MiniScan EZ

3.2.3.7 เครื่องผสมสารละลาย (Vortex) ยี่ห้อ Scientific Industries รุ่น Genie3

3.2.3.8 เครื่องดูดกลืนแสง ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV-1201

3.3 สารเคมี

3.3.1 สารเคมีสำหรับสกัดไขมัน

3.3.1.1 เฮกเซน (Hexane)

3.3.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาค่าไอโอดีน

3.3.2.1 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium Iodide)

3.3.2.2 สารละลายวิจส์ (Wijs Solution)

3.3.2.3 ไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane)

3.3.2.4 กรดอะซิติก (Acetic Acid)

3.3.2.5 สารละลายน้ำแป้ง (Soluble Starch Solution)

3.3.2.6 โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate)

3.3.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาค่าสปอนนิฟิเคชัน

3.3.3.1 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol)

3.3.3.2 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide)

3.3.3.3 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid)

3.3.3.4 ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein)

3.3.4 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ค่าปริมาณสารที่สปอนิฟายไม่ได้

3.3.4.1 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol)

3.3.4.2 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide)

3.3.4.3 ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl Ether)

3.3.4.4 ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein)

3.3.4.5 อะซิโตน (Acetone)

3.3.5 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์

3.3.5.1 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium Iodide)

3.3.5.2 สารละลายน้ำแป้ง (Soluble Starch Solution)

3.3.5.3 กรดอะซีติก (Acetic Acid)

3.3.5.4 คลอโรฟอร์ม (Chloroform)

3.3.5.5 สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate)

3.3.6 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณอะมิโลส

3.3.6.1 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium Iodide)

3.3.6.2 ไอโอดีน

3.3.6.3 เอทานอล

3.3.6.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์

3.3.6.5 กรดอะซิติก (Acetic Acid)

3.3.7 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาโปรตีน

3.3.7.1 สารคอปเปอร์ซัลเฟต

3.3.7.2 โซเดียมซัลเฟต

3.3.7.3 กรดซัลฟูริก

3.3.7.4 กรดบอลิก

3.3.8 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาเส้นใย

3.3.8.1 กรดซัลฟูริก

3.3.8.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.3.8.3 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol)

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การเตรียมเมล็ดเงาะ

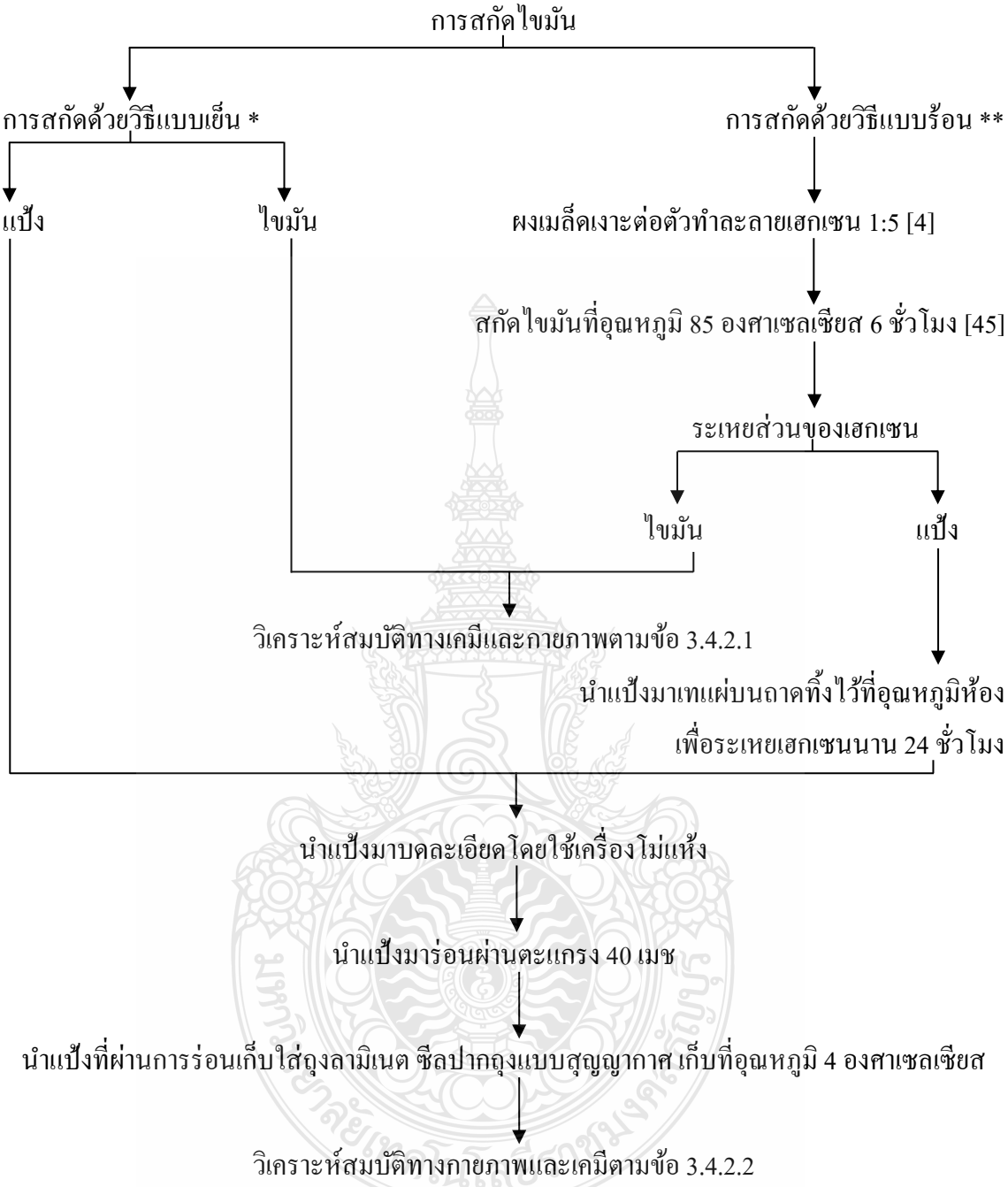
นำเมล็ดเงาะที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูป โดยทำการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออก แยกเมล็ดเงาะที่แตกหักออกเอาเฉพาะเมล็ดที่สมบูรณ์ นำมาทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด แช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อเลาะเอาเยื่อใยและเปลือกสีน้ำตาลที่ติดเมล็ดออกให้หมด จากนั้นนำเมล็ดเงาะที่ได้วางให้สะเด็ดน้ำนาน 15 นาที ชั่งน้ำหนัก เมล็ดเงาะแล้วนำใส่ถาดอลูมิเนียมอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเมล็ดเงาะมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก [11] จากนั้นนำเมล็ดเงาะที่ได้ไปแยกเตรียมตามวิธีสกัด ดังนี้

3.4.1.1 วิธีสกัดแบบเย็นโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press ทำโดยนำเมล็ดเงาะที่ได้มาบดพอหยาบ โดยใช้เครื่องบดหยาบ ยี่ห้อ Tefal รุ่น BL1151AD จะได้ผงเมล็ดเงาะ

3.4.1.2 วิธีสกัดแบบร้อนโดยใช้เครื่อง Soxhlet Extraction ทำโดยนำเมล็ดเงาะที่ได้มาโม่แห้งให้ละเอียด โดยใช้เครื่องโม่แห้ง (Rotor Beater Mill) ยี่ห้อ Retsch GmbH ขนาดตะแกรงร่อนประมาณ 20 เมช จะได้ผงเมล็ดเงาะ

3.4.2 ศึกษาผลของวิธีการสกัดไขมันต่อสมบัติของไขมัน และแป้งจากเมล็ดเงาะ

การศึกษาผลของวิธีการสกัดไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะ ปัจจัยที่ต้องการศึกษา คือ วิธีการสกัดไขมัน 2 วิธี จะได้สิ่งทดลอง 2 สิ่งทดลอง คือ วิธีการสกัดแบบเย็นโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press และวิธีแบบร้อนโดยใช้เครื่อง Soxhlet Extraction นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ ทำการเปรียบเทียบผลทดลองแบบ T - Test โดยเปรียบเทียบสมบัติของไขมันและแป้งที่ได้จากวิธีการสกัดแบบเย็นกับวิธีแบบร้อน โดยมีกระบวนการในการสกัดไขมันและแป้งเมล็ดเงาะ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการสกัดไขมันและแป้งเมล็ดเงาะ

* การสกัดด้วยวิธีแบบเย็น โดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press

** การสกัดด้วยวิธีแบบร้อน โดยใช้เครื่อง Soxhlet Extraction

3.4.2.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดได้

ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของไขมันจากเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีแบบเย็นโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press และวิธีแบบร้อนโดยใช้วิธีการสกัด Soxhlet Extraction ที่ได้ทำการวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆ ดังนี้

1) สมบัติทางกายภาพ

(1) ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (% Yield)

(2) ลักษณะปรากฏ

(3) วัดค่าสี L* a* b* โดยใช้เครื่อง HunterLab รุ่น MiniScan EZ

(4) ค่าดัชนีหักเหของแสง ตามวิธี AOCS, 1997 [46]

(5) จุดหลอมเหลว ตามวิธี AOCS, 2012 [47]

2) สมบัติทางเคมี

(1) ค่าเปอร์ออกไซด์ ตามวิธี AOCS, 2012 [47]

(2) ค่าสปอนนิฟิเคชัน ตามวิธี AOCS, 2012 [47]

(3) ค่าปริมาณสารที่สปอนิฟายไม่ได้ ตามวิธี AOCS, 2012 [47]

(4) ค่าไอโอดีน ตามวิธี AOCS, 2012 [47]

3.4.2.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีกายภาพของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออก

ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีกายภาพของแป้งเมล็ดเงาะที่ผ่านการสกัดไขมันออก (ดังแสดงในรูปที่ 3.1) ทำการวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆ ดังนี้

1) สมบัติทางกายภาพ

(1) ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (% Yield)

(2) วิเคราะห์ขนาดและลักษณะของตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM)

(3) วัดค่าสี L* a* b* โดยใช้เครื่อง Hunter Lab รุ่น Mini Scan EZ

2) สมบัติทางเคมี

(1) วิเคราะห์หาความชื้น ตามวิธี AOAC, 2000 [48]

(2) วิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง โดยใช้เครื่อง Microprocessor pH Meter

(3) วิเคราะห์หาปริมาณอะมิโลส [49]

(4) วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC, 2000 [48]

(5) วิเคราะห์หาปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC, 2000 [48]

(6) วิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธี NLH, 1995 [50]

(7) วิเคราะห์หาปริมาณเส้นใย ตามวิธี AOAC, 2000 [48]

(8) วิเคราะห์หาปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC, 2000 [48]

3) สมบัติทางเคมีกายภาพ

(1) วิเคราะห์ค่าดัชนีการอุ้มน้ำ และดัชนีการละลายน้ำของแป้ง [51]

(2) วิเคราะห์กำลังการพองตัว และการละลาย [52]

(3) วิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน [53]

3.5 ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มตั้งแต่ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560

3.6 สถานที่ทำการวิจัย

3.6.1 ห้องปฏิบัติการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.6.2 ห้องปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การวิจัยเรื่อง ผลของวิธีการสกัดไขมันต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมัน และแป้งจากเมล็ดเงาะ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press และวิธีแบบร้อนโดยใช้เครื่อง Soxhlet Extraction ต่อสมบัติของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะ มีผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

4.1 การเตรียมเมล็ดเงาะ

4.1.1 การเตรียมเมล็ดเงาะเพื่อการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็น

จากการเตรียมเมล็ดเงาะเพื่อใช้ในการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็น โดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press โดยนำเมล็ดเงาะที่ได้จากการเตรียม มาบดพอหยาบ โดยใช้เครื่องบดหยาบ ยี่ห้อ Tefal รุ่น BL1151AD จะได้ผงเมล็ดเงาะที่มีลักษณะสีเหลืองนวล เป็นผงหยาบ และมีกลิ่นของเมล็ดเงาะ ขนาดและอนุภาคของผงเมล็ดเงาะในการสกัดไขมันวิธีแบบเย็นที่เตรียมเป็นผงหยาบเพราะในกระบวนการบีบอัดถ้ามีผงเมล็ดเงาะที่ละเอียดจนเกินไป จะส่งผลทำให้การบีบอัดแน่นที่กรวยของเครื่องบีบน้ำมัน

4.1.2 การเตรียมเมล็ดเงาะเพื่อการสกัดไขมันวิธีแบบร้อน

จากการเตรียมเมล็ดเงาะเพื่อใช้ในการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบร้อนโดยใช้ Soxhlet Extraction โดยนำเมล็ดเงาะที่ได้จากการเตรียม มาโม่แห้งให้ละเอียด โดยใช้เครื่องโม่แห้ง (Rotor Beater Mill) จะได้ผงเมล็ดเงาะที่มีลักษณะสีเหลืองนวล เป็นผงละเอียด และมีกลิ่นของเมล็ดเงาะ สามารถร่อนด้วยตะแกรงขนาดประมาณ 20 เมช ทั้งนี้ถ้าขนาดและอนุภาคของผงเมล็ดเงาะถูกบดให้ละเอียดเกินไปจะอัดกันแน่น ส่งผลต่อตัวทำละลายเฮกเซนซึมผ่านเข้าไปได้ยาก [11]

จากผลการทดลอง พบว่า ผงเมล็ดเงาะที่ได้จากทั้ง 2 วิธี มีลักษณะสอดคล้องกับผงเมล็ดเงาะของ วิมลศรี [11] ได้กล่าวว่า ผงเมล็ดเงาะที่ได้จะมีกลิ่นตามธรรมชาติของเมล็ดเงาะ ไม่มีกลิ่นหืนหรือกลิ่นไม่พึงประสงค์อื่นๆ และปราศจากสิ่งปลอมปน

4.2 ศึกษาผลของวิธีการสกัดไขมันต่อสมบัติของไขมัน

4.2.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะ ได้แก่ ค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้ (กรัม/100 กรัม) ค่าสี L* a* และ b* ลักษณะปรากฏโดยวิธีการสังเกต ค่าดัชนีหักเหของแสง และค่าจุดหลอมเหลวได้ผล ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพ ของไขมันเมล็ดเงาะจากการสกัดด้วยวิธีแบบเย็น และวิธีแบบร้อน

สมบัติทางกายภาพ	**สกัดด้วยวิธีแบบเย็น**	**สกัดด้วยวิธีแบบร้อน**
ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (% Yield)* (กรัม/100 กรัม)	$35.67^{b} \pm 13.41$	$46.74^{a} \pm 6.53$
ค่าสี L*	$55.76^{b} \pm 0.27$	$71.49^{a} \pm 0.19$
ค่าสี a*	$-0.21^{b} \pm 0.78$	$-2.66^{a} \pm 0.02$
ค่าสี b*	$27.05^{a} \pm 0.21$	$16.49^{b} \pm 0.03$
ลักษณะปรากฏ		
ค่าดัชนีหักเหของแสง (nD)ns	1.46 ± 0.00	1.46 ± 0.00
ค่าจุดหลอมเหลว* (องศาเซลเซียส)	55.00 ± 0.05	36.25 ± 0.5

หมายเหตุ : $^{a, b}$ คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ พบว่า

4.2.1.1 ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (% Yield)

ร้อยละของผลผลิตที่ได้ของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็น และวิธีแบบร้อน มีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการสกัดไขมันมีผลต่อร้อยละของผลผลิตที่ได้ เนื่องจากในการทำงานของเครื่องบีบน้ำมัน Screw Press มีอัตราความเร็ว 25 รอบ และกำลังที่ใช้ 220 โวลต์ ทำให้การผลิตไขมันด้วยวิธีแบบเย็นทำได้ช้า และได้ปริมาณไขมันต่อปริมาณเมล็ดเงาะน้อย จึงไม่นิยมที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมอาหาร [53] แต่ไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นนั้นมีข้อดี คือ สามารถนำไปใช้ได้เลยโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ก่อน ปราศจากสารเคมี และจัดเป็นกระบวนการที่ปลอดภัย [11]

4.2.1.2 ค่าสี L* a* และ b*

ค่า L* พบว่า ค่า L* ของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีแบบร้อนมีความสว่างมากกว่าไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีแบบเย็น ($p < 0.05$)

ค่า a* พบว่า ค่า a* ของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีแบบเย็นและวิธีแบบร้อนมีค่าเป็นลบ แสดงให้เห็นว่าไขมันมีสีออกเขียว โดยไขมันที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีแบบร้อนมีความเข้มของสีเขียวมากกว่าวิธีแบบเย็น ($p < 0.05$)

ค่า b* พบว่า ค่า b* ของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีแบบเย็นและวิธีแบบร้อนมีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าไขมันมีสีออกเหลือง โดยไขมันที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีแบบเย็นมีความเข้มของสีเหลืองมากกว่าวิธีแบบร้อน ($p < 0.05$)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไขมันที่ได้จากทั้ง 2 วิธี มีความสว่างอยู่ในระดับปานกลาง และมีสีเหลืองออกเขียว

4.2.1.3 ลักษณะปรากฏ

ลักษณะปรากฏที่ประเมินโดยวิธีการสังเกตของไขมันเมล็ดเงาะจากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบร้อนจะมีสีเหลืองอ่อนกว่าวิธีแบบเย็น เนื่องจากในการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบร้อนใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงถึง 85 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับค่าสี L* a* และ b* ทั้งนี้ไขมันเมล็ดเงาะทั้ง 2 วิธี และเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องไขมันที่ได้มีลักษณะเป็นไขมันแข็งที่อุณหภูมิห้อง และมีลักษณะเป็นของแข็งคล้ายเนยโกโก้ (Cocoa Butter) [3]

4.2.1.4 ค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index)

ค่าดัชนีหักเหของแสงของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็น และวิธีแบบร้อนมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) วิธีการสกัดไขมันจึงไม่มีผลต่อค่าดัชนีหักเหของแสงของไขมันเมล็ดเงาะทั้ง 2 วิธี เนื่องจากอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ที่ใช้ในการสกัดวิธีแบบร้อนเป็นระดับความร้อนที่ไม่สามารถทำให้พันธะคู่แตกออก ซึ่ง นิธิยา [11] ได้กล่าวว่า ไขมันที่ดีจะมีความคงตัวที่อุณหภูมิสูงประมาณ 200 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดการสลายตัว ทำให้ความยาวของสายไฮโดรคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบ และจำนวนพันธะคู่เท่าเดิม นอกจากนี้ค่าดัชนีหักเหของแสงที่วิเคราะห์ได้ยังมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย Fuentes et al. [55]

4.2.1.5 ค่าจุดหลอมเหลว (Melting Point)

ค่าจุดหลอมเหลวของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นสูงกว่าวิธีแบบร้อน ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าในไขมันเมล็ดเงาะวิธีแบบเย็นประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงกว่า ทำให้มีค่าจุดหลอมเหลวสูงกว่าวิธีแบบร้อนที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว และบ่งบอกความบริสุทธิ์ของไขมัน เพราะถ้าไขมันที่มีสารอื่นๆ ประกอบอยู่ด้วยจะทำให้จุดหลอมเหลวต่ำกว่าไขมันที่บริสุทธิ์ [40] และ นิธิยา [11] ได้กล่าวว่า จุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น

4.2.2 การศึกษาสมบัติทางเคมี

ในการศึกษาสมบัติทางเคมีของไขมันเมล็ดเงาะ ได้แก่ ค่าไอโอดีน ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าสปอนนิฟิเคชัน และค่าปริมาณสารที่สปอนนิฟายไม่ได้ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีแบบเย็น และวิธีแบบร้อน

สมบัติทางเคมี	สกัดด้วยวิธีแบบเย็น	สกัดด้วยวิธีแบบร้อน
ค่าไอโอดีน* (g of iodine/100 g oil)	43.34 ± 1.12	41.63 ± 1.2
ค่าเปอร์ออกไซด์* (Meq oxygen/kg oil)	0.25 ± 0.05	2.61 ± 2.00
ค่าสปอนนิฟิเคชัน* (mg KOH/g oil)	180.04 ± 3.48	165.57 ± 2.90
ค่าปริมาณสารที่สปอนนิฟายไม่ได้* (ร้อยละ)	0.33 ± 0.04	0.19 ± 0.04

หมายเหตุ : * คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี พบว่า

4.2.2.1 ค่าไอโอดีน (Iodine Value)

ค่าไอโอดีน คือ จำนวนกรัมของไอโอดีนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันจำนวน 100 กรัม [11] จากผลการทดลองพบว่าค่าไอโอดีนของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นสูงกว่าวิธีแบบร้อน ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าในไขมันจากวิธีแบบเย็นนั้นมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันมากกว่าวิธีแบบร้อน นอกจากนี้ค่าไอโอดีนที่วิเคราะห์ได้ยังมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย วรรณรดา [4] ซึ่งค่าไอโอดีนของไขมันเมล็ดเงาะด้วยที่สกัดวิธีแบบเย็น และวิธีแบบร้อน มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของไขมันและน้ำมัน ซึ่งไม่ควรเกินร้อยละ 120 [11]

4.2.2.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value)

ค่าเปอร์ออกไซด์ของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบร้อนสูงกว่าวิธีแบบเย็น ($p < 0.05$) จากผลการทดลอง พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ของไขมันเมล็ดเงาะทั้ง 2 วิธี มีปริมาณต่ำ ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในไขมันเมล็ดเงาะทั้ง 2 วิธี ได้ช้า และทำให้เกิดการเสื่อมเสียได้ยาก [11] เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) กับองค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดไว้ว่าถ้าค่าเปอร์ออกไซด์ในไขมันเกินเกณฑ์มาตรฐานไม่ควรนำมาใช้ในการบริโภค ซึ่งค่าเปอร์ออกไซด์เป็นค่าที่ใช้การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา Lipid Oxidation ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน (Rancidity) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันและไขมัน และบ่งบอกถึงปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในไขมัน สารเปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นในไขมันอย่างช้าๆ ในระหว่างที่ถูกเก็บให้สัมผัสกับอากาศ

4.2.2.3 ค่าสปอนนิฟิเคชัน (Saponification Value)

ค่าสปอนนิฟิเคชันของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นสูงกว่าวิธีแบบร้อน ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าวิธีการสกัดไขมันมีผลต่อค่าสปอนนิฟิเคชัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากในไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีแบบร้อนมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย [56] ทำให้ส่งผลต่อการเกิดกลิ่นเหม็นหืน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดค่าสปอนนิฟิเคชันอยู่ระหว่าง 190 - 209 มิลลิกรัมโปรแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม จากผลการทดลองแสดงว่าไขมันจากเมล็ดเงาะทั้ง 2 วิธี มีค่าสปอนนิฟิเคชันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของไขมันและน้ำมัน นอกจากนี้ค่าสปอนนิฟิเคชันที่วิเคราะห์ได้ยังมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย วรรณรดา [4] และ Fuentes et al. [55]

4.2.2.4 ค่าปริมาณสารที่สปอนนิฟายไม่ได้ (Unsaponification Value)

ค่าปริมาณสารที่สปอนนิฟายไม่ได้ของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นสูงกว่าวิธีแบบร้อน ($p < 0.05$) จากผลการทดลอง พบว่า ไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นมีปริมาณสารที่สปอนนิฟายไม่ได้มีปริมาณสารที่ปนอยู่ในไขมันเมล็ดเงาะซึ่งจะเหลืออยู่ภายหลังการหาค่าสปอนนิฟิเคชัน อาจเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งปกติไขมันจะมีค่าสารที่สปอนนิฟายไม่ได้ปนอยู่ไม่เกินร้อยละ 2 [11] ดังนั้น ค่าสารที่สปอนนิฟายไม่ได้ของไขมันเมล็ดเงาะด้วยวิธีแบบเย็น และวิธีแบบร้อน มีสารที่ปนอยู่ไม่เกินมาตรฐาน

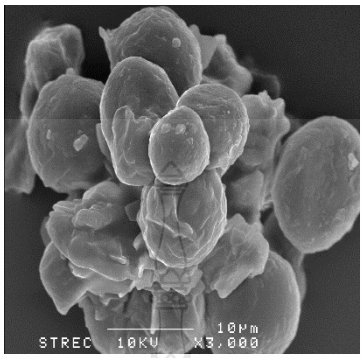
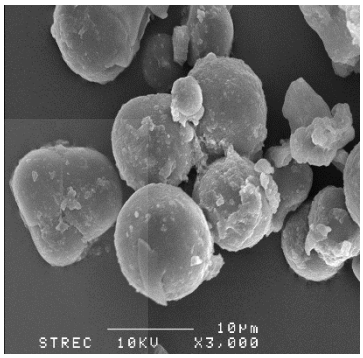
4.3 ศึกษาผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติของแป้งเมล็ดเงาะ

การศึกษาสมบัติของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็นโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press และวิธีแบบร้อนโดยใช้ Soxhlet Extraction โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี

4.3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดเงาะ ได้แก่ ร้อยละของผลผลิตที่ได้ ลักษณะของเม็ดแป้ง ค่าสี L* a* และ b* ได้ผล (ดังแสดงในตารางที่ 4.3) สมบัติทางเคมีและเคมีกายภาพของแป้งเมล็ดเงาะ ได้แก่ ความชื้น ความเป็นกรดด่าง ปริมาณอะมิโลส ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใย ปริมาณเถ้า ดัชนีการอุ้มน้ำและดัชนีการละลายน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน ได้ผล (ดังแสดงในตารางที่ 4.4) ค่ากำลังการพองและการละลาย ได้ผล (ดังแสดงในตารางที่ 4.5) ขนาดและลักษณะของแป้งเมล็ดเงาะด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน ได้ผล ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดเงาะ

สมบัติ	วิธีแบบเย็น	วิธีแบบร้อน
ร้อยละของ ผลผลิตที่ได้	$49.06^{b} \pm 3.68$	$63.55^{a} \pm 2.21$
ขนาด และลักษณะของแป้งเมล็ดเงาะด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน		
ค่าสี L*	$75.88^{a} \pm 4.66$	$80.73^{a} \pm 0.92$
ค่าสี a*	$-1.09^{b} \pm 0.08$	$-1.30^{a} \pm 0.07$
ค่าสี b*	$25.00^{a} \pm 0.30$	$21.08^{b} \pm 0.43$

หมายเหตุ : ^{a,b} คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ พบว่า

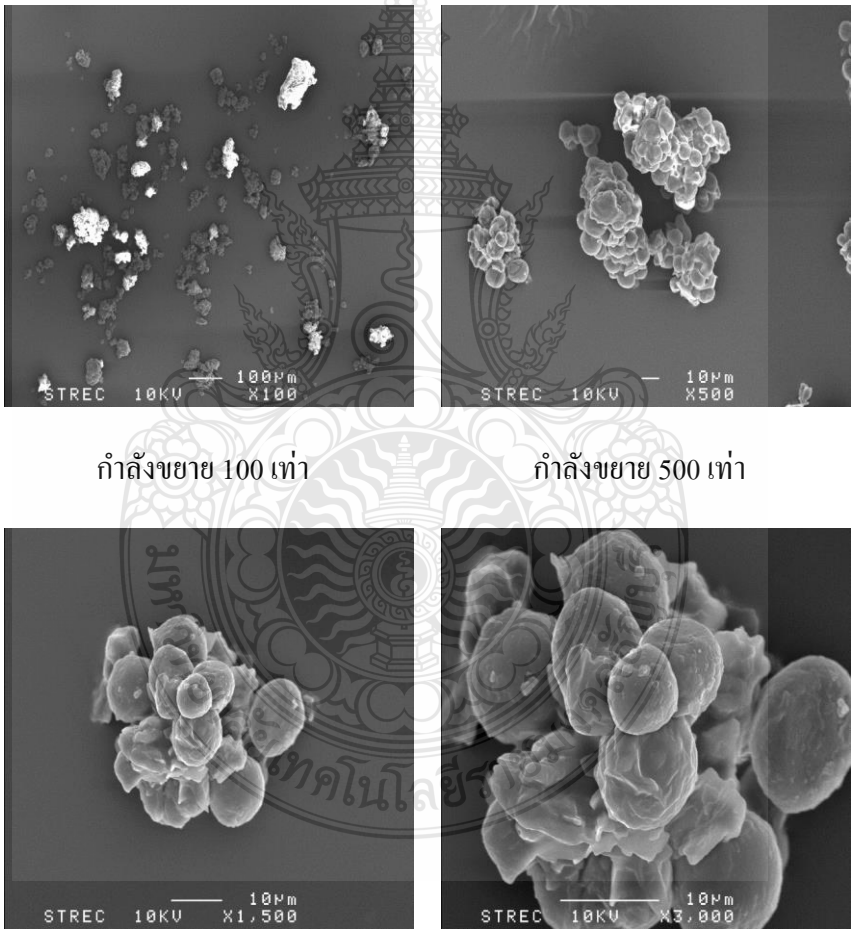
4.3.1.1 ร้อยละของผลผลิตที่ได้

ร้อยละของผลผลิตที่ได้ของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากวิธีการสกัดไขมันแบบร้อน มีค่าสูงกว่าแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากวิธีการสกัดไขมันแบบเย็น ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการสกัดไขมันแบบเย็นใช้เครื่องบีบอัดสกรูเพลสในการสกัดไขมันผงเมล็ดเงาะอาจมีสิ่งแปลกปลอมเจือปนอยู่จึงเข้าไปติดอยู่ในเครื่องโม่แห้ง และตะแกรงร่อน ทำให้ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้มีปริมาณที่น้อย แต่แป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็น สามารถนำไปใช้ได้เลยโดยไม่ต้องระเหยตัวทำละลายหรือเฮกเซนที่ติดอยู่ในแป้งเมล็ดเงาะออกหรือต้องทำให้บริสุทธิ์ก่อน ซึ่ง นิธิยา [11] ได้กล่าวว่า แป้งที่มีคุณภาพดีต้องไม่มีสารเคมีเจือปนหรือสารเคมีตกค้าง มีต้นทุนในการผลิตต่ำ ไม่มีกรรมวิธีในการผลิตที่ยุ่งยากซับซ้อน

4.3.1.2 ขนาดและลักษณะของแป้งเมล็ดเงาะด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน

ขนาดและลักษณะของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็น และวิธีแบบร้อน โดยใช้กำลังขยาย 100, 500, 1500 และ 3000 เท่า ได้ผล (ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2) พบว่า วิธีการสกัดไขมันออกจากแป้งเมล็ดเงาะทั้ง 2 วิธี มีผลต่อขนาดและลักษณะของแป้ง

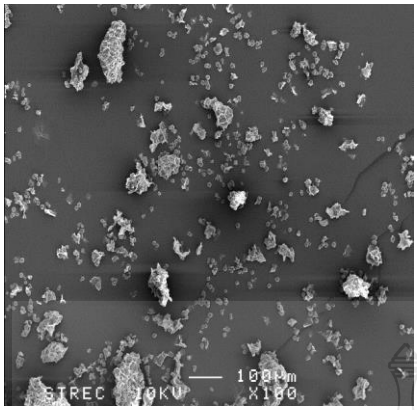
เมล็ดเงาะ โดยแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากวิธีการสกัดไขมันวิธีแบบเย็น มีลักษณะเป็นรูปกลมๆ มีผิวขรุขระ ที่ผิวเม็ดแป้งมีผลึกของเม็ดแป้งขนาดเล็กเกาะเป็นผลึก ลักษณะในการจัดเรียงตัวหนาแน่นมาก เพราะมีความชื้นต่ำ [20] ซึ่งสอดคล้องกับความชื้นของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันวิธีแบบเย็นและวิธีแบบร้อน โดยวิธีการสกัดไขมันจึงมีสาเหตุที่ทำให้แป้งเมล็ดเงาะทั้ง 2 วิธี แตกต่างกัน เนื่องจากแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากวิธีการสกัดไขมันวิธีแบบเย็น สัมผัสกับเครื่อง Screw Press โดยตรง และในระหว่างกระบวนสกัดไขมันออกมีความร้อนเกิดขึ้น จึงทำให้องค์ประกอบอื่นๆ หรือเศษของแป้ง เมล็ดเงาะที่แตกหักเกาะติดอยู่บริเวณผิวของเม็ดแป้งชัดเจนกว่าแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากวิธีการสกัดไขมันวิธีแบบร้อน



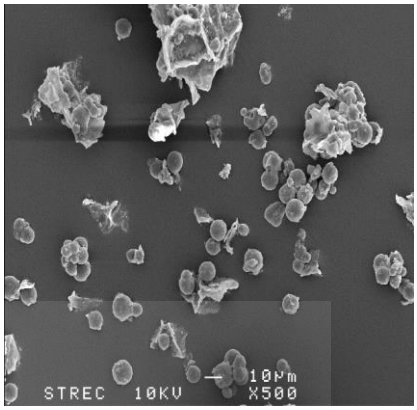
กำลังขยาย 100 เท่า กำลังขยาย 500 เท่า

กำลังขยาย 1,500 เท่า กำลังขยาย 3,000 เท่า

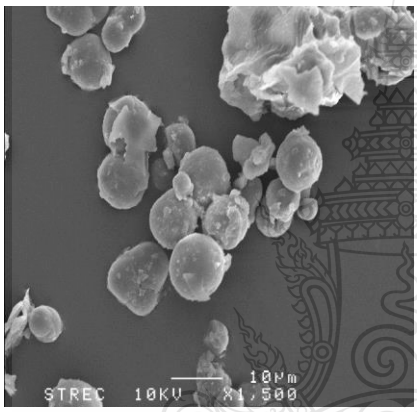
รูปที่ 4.1 ขนาดและลักษณะของแป้งเมล็ดเงาะด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอนของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็น



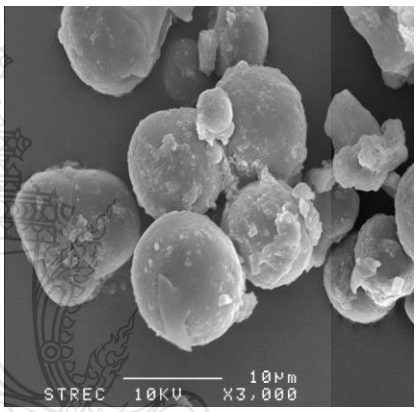
กำลังขยาย 100 เท่า



กำลังขยาย 500 เท่า



กำลังขยาย 1,500 เท่า



กำลังขยาย 3,000 เท่า

รูปที่ 4.2 ขนาดและลักษณะของแป้งเมล็ดเงาะ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอนของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบร้อน

4.3.1.3 ค่าสี L* a* และ b*

ค่า L* พบว่า ค่า L* ของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากวิธีการสกัดไขมันวิธีแบบร้อนมีความสว่างมากกว่าวิธีแบบเย็น ($p < 0.05$)

ค่า a* พบว่า ค่า a* ของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากวิธีการสกัดไขมันวิธีแบบเย็นและวิธีแบบร้อนมีค่าเป็นลบ แสดงให้เห็นว่าแป้งเมล็ดเงาะจะเป็นไปในทิศทางสีเขียว โดยแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีแบบร้อนมีความเข้มของสีเขียวมากกว่าวิธีแบบเย็น ($p < 0.05$)

ค่า b* พบว่า ค่า b* ของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากวิธีการสกัดไขมันวิธีแบบเย็นและวิธีแบบร้อนมีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าแป้งเมล็ดเงาะจะเป็นไปในทิศทางสีเหลือง โดยแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีแบบเย็นมีความเข้มของสีเหลืองมากกว่าวิธีแบบร้อน ($p < 0.05$)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากทั้ง 2 วิธี มีความสว่างอยู่ในระดับสูง และมีสีเหลืองออกเขียว

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางเคมีและเคมีกายภาพของแป้งเมล็ดเงาะ

สมบัติ	วิธีแบบเย็น	วิธีแบบร้อน
สมบัติทางเคมี		
ความชื้น*	3.48 ± 0.06	6.09 ± 0.06
ความเป็นกรดด่างns	5.67 ± 0.08	5.38 ± 0.02
อะมิโลส*	14.74 ± 0.10	10.28 ± 0.07
คาร์โบไฮเดรต* (กรัม/100 กรัม)	67.25 ± 0.04	75.54 ± 0.07
โปรตีนns (กรัม/100 กรัม)	10.18 ± 0.05	10.20 ± 0.04
ไขมัน* (กรัม/100 กรัม)	19.35 ± 0.02	10.14 ± 0.03
เส้นใย* (กรัม/100 กรัม)	1.32 ± 0.01	2.89 ± 0.01
เถ้าns (กรัม/100 กรัม)	1.9 ± 0.01	1.23 ± 0.01
สมบัติทางเคมีกายภาพ		
ดัชนีการอุ้มน้ำns	9.30 ± 1.09	6.60 ± 0.35
ดัชนีการละลายน้ำns (ร้อยละ)	3.75 ± 0.36	3.37 ± 0.12
ความสามารถในการดูดซับน้ำ *	2.71 ± 0.05	2.85 ± 0.01
ความสามารถในการดูดซับน้ำมันns	2.44 ± 0.14	2.42 ± 0.03

หมายเหตุ : * คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี พบว่า

4.3.1.4 ความชื้น

ความชื้นของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบร้อนมีปริมาณความชื้นที่มากกว่าวิธีแบบเย็น ($p < 0.05$) พบว่า ค่าความชื้นของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็นและวิธีแบบร้อนอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานของแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์จาก มอก. 375-2524 [57] กำหนดค่าความชื้นของแป้งไม่ควรเกินร้อยละ 14 ซึ่งค่าความชื้นที่ต่ำจะเป็นการหยุดการทำงานของเอนไซม์ ชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของแป้ง และจุลินทรีย์ก่อให้เกิดโรค ซึ่งทำให้มีอายุในการเก็บรักษาแป้งไว้ได้นาน

4.3.1.5 ค่าความเป็นกรดด่าง

ค่าความเป็นกรดด่างของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็นและวิธีแบบร้อน ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) พบว่า แป้งเมล็ดเงาะมีความเป็นกรดอ่อน ทั้งนี้อาจเนื่องจากองค์ประกอบของเมล็ดเงาะที่มีค่าความเป็นกรดไขมันอะแรคดิโดนิก (Arachidonic Acid) [20] ค่าความเป็นกรดด่างจะมีผลต่อความหนืดของแป้ง โดยถ้าแป้งมีความเป็นกรดสูง (pH 4) จะมีความหนืดสูงขึ้นเนื่องจากกรดจะไปทำลายพันธะบางส่วนในเม็ดแป้งทำให้แรงยึดเหนียวภายในลดลง แป้งพองตัวได้มากขึ้นแต่ถ้าสภาพความเป็นกรดมากขึ้น (pH น้อยกว่า 3.5 - 4) พันธะจะถูกทำลายมากขึ้น ทำให้เม็ดแป้งแตกออกได้ง่าย ดังนั้นความหนืดจึงลดลง [20]

4.3.1.6 ค่าปริมาณอะมิโลส

ค่าปริมาณอะมิโลสของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็นมีปริมาณอะมิโลสมากกว่าวิธีแบบร้อน ($p < 0.05$) จากผลการทดลอง พบว่า วิธีแบบเย็นมีปริมาณอะมิโลสสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็นมีปริมาณไขมันในแป้งสูงกว่า จึงอาจเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Amylose Lipid Complexes) ได้มากกว่าแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบร้อน อะมิโลสจึงไม่สามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนให้สีน้ำเงินได้ ซึ่งปริมาณอะมิโลสเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ซึ่งได้แก่ กำลังการพองตัว ดัชนีการละลายน้ำ ลักษณะการเกิดแป้งเปียก เมื่อปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้นทำให้ดัชนีการละลายน้ำเพิ่มขึ้น [20]

4.3.1.7 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบร้อนมีคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าวิธีแบบเย็น ($p < 0.05$)

4.3.2.8 ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็นและด้วยวิธีแบบร้อน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ดังนั้นวิธีการสกัดไขมันออกจากแป้งเมล็ดเงาะทั้ง 2 วิธี ไม่มีผลต่อโปรตีน โดยค่าปริมาณโปรตีนที่ได้ของแป้งเมล็ดเงาะทั้ง 2 วิธีนั้น มีค่าใกล้เคียงกับโปรตีนในแป้งสาลีซึ่งมีค่าเท่ากับ 13.7 [57] และมีปริมาณโปรตีนที่ได้ใกล้เคียงของ วิมลศรี [11]

4.3.2.9 ปริมาณไขมัน

ปริมาณไขมันของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นมีไขมันสูงกว่าวิธีแบบร้อน ($p < 0.05$) เนื่องจากกระบวนการสกัดไขมันวิธีแบบเย็นนั้นต้องใช้แรงบีบอัดในการบีบไขมัน ซึ่งทำให้ได้ไขมันน้อยและหลงเหลืออยู่ในแป้งเมล็ดเงาะปริมาณมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลร้อยละของผลผลิตที่ได้ของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นที่ได้ไขมันน้อยกว่าวิธีแบบร้อน

4.3.2.10 ปริมาณเส้นใย

ปริมาณเส้นใยของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบร้อนมีเส้นใยสูงกว่าวิธีแบบเย็น ($p < 0.05$) เนื่องจากแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นนั้นในกระบวนการบีบอัดทำให้เกิดแรงเสียดทาน จึงทำให้มีปริมาณเส้นใยน้อย แต่แป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบร้อนนั้นสกัดไขมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ซึ่งคุณสมบัติสามารถสกัดองค์ประกอบที่อยู่ในเมล็ดเงาะได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ และค่าคาร์โบไฮเดรตของแป้งเมล็ดเงาะ

4.3.2.11 ปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้าของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็นและด้วยวิธีแบบร้อน ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ปริมาณเถ้าซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม ซึ่ง กล้าณรงค์ [20] ได้กล่าวว่า เถ้าในแป้งจากเมล็ดหรือธัญพืชจะสัมพันธ์กับปริมาณฟอสโฟลิปิด และทำให้ปริมาณเถ้าที่เหลืออยู่ภายหลังจากการเผาไหม้ เถ้าที่เหลืออยู่เป็นออกไซด์ของแร่ธาตุต่างๆ ที่ระเหยไม่ได้

4.3.1.12 ค่าดัชนีการอุ้มน้ำและการละลายน้ำ

ค่าดัชนีการอุ้มน้ำของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็น และวิธีแบบร้อน ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 6.60 – 9.30 มีผลมาจากองค์ประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในแป้งเมล็ดเงาะที่ทำหน้าที่ดูดซึมน้ำ โดยเฉพาะใยอาหารซึ่งมีสมบัติตามธรรมชาติที่สามารถดูดซึมน้ำได้ดีกว่าการละลายน้ำ จึงทำให้แป้งเมล็ดเงาะมีค่าดัชนีการอุ้มน้ำสูง แต่ค่าดัชนีการละลายน้ำต่ำ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับค่าดัชนีการละลายน้ำของแป้งเมล็ดเงาะ โดยค่าดัชนีการอุ้มน้ำจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญคือ ปริมาณน้ำในแป้ง [58] ซึ่ง กล้าณรงค์ [20] ได้กล่าวว่าแป้งที่มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูง จากผลการทดลองค่าดัชนีการอุ้มน้ำ แสดงให้เห็นว่าถ้านำแป้งไปใช้ในการทำผลิตภัณฑ์จะสามารถอุ้มน้ำได้ดี ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีไม่แห้งกระด้าง

ค่าดัชนีการละลายน้ำของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็น และวิธีแบบร้อน ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 3.37 – 3.75 ซึ่งสอดคล้องกับความชื้นของแป้งเมล็ดเงาะที่มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 3.48 – 6.09 ซึ่งไม่เกินมาตรฐานกำหนดของแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์

4.3.1.13 ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน

ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบร้อนมากกว่าวิธีแบบเย็น ($p < 0.05$) เนื่องจากแป้งเมล็ดเงาะ ที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบร้อนมีไขมันที่หลงเหลืออยู่น้อย จึงสามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าวิธีแบบเย็น และสอดคล้องกับปริมาณเส้นใยของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบร้อนมากกว่าวิธีแบบเย็น ซึ่งความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งนั้นมีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าไปสู่แป้งเมล็ดเงาะ และมีผลในการช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางลักษณะเนื้อสัมผัสที่ฟู เบา นุ่ม

ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็น และวิธีแบบร้อน ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) เนื่องจากค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันของแป้งเมล็ดเงาะมีผลต่อไขมันในอาหาร ถ้าดูดซับน้ำมันได้น้อยจะทำให้อาหารมีไขมันต่ำเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

4.3.2.14 ค่ากำลังการพองและความสามารถในการละลาย

ค่ากำลังการพองและการละลายของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็น และวิธีแบบร้อน ที่อุณหภูมิ 80, 85, 90 และ 95 องศาเซลเซียส ได้ผล ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 กำลังการพองตัว และการละลายที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 80, 85, 90 และ 95 องศาเซลเซียสของแป้งเมล็ดเงาะ

อุณหภูมิ	กำลังการพองตัว (กรัม/กรัม)		การละลาย (ร้อยละ)	
(องศาเซลเซียส)	วิธีแบบเย็น	วิธีแบบร้อน	วิธีแบบเย็น	วิธีแบบร้อน
80	$6.33^{d} \pm 0.99$	$8.11^{d} \pm 0.67$	$8.77^{a} \pm 0.59$	$6.84^{c} \pm 0.56$
85	$8.77^{c} \pm 0.50$	$8.98^{c} \pm 0.63$	$7.85^{b} \pm 1.59$	$6.30^{d} \pm 1.35$
90	$10.00^{a} \pm 0.42$	$11.21^{a} \pm 0.78$	$6.61^{c} \pm 0.24$	$8.43^{b} \pm 1.28$
95	$9.79^{b} \pm 0.09$	$9.67^{b} \pm 0.22$	$6.25^{d} \pm 0.98$	$11.30^{a} \pm 3.75$

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาค่ากำลังการพองตัวของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็น และวิธีแบบร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากวิธีแบบเย็น และวิธีแบบร้อนมีค่ากำลังการพองสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนไปทำลายพันธะไฮโดรเจนที่เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้กัน โมเลกุลของน้ำจึงสามารถเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ เม็ดแป้งจึงเกิดการพองตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น [20] เมื่อพิจารณาค่าการละลายของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็น และวิธีแบบร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการละลายลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไขมันในแป้งรวมตัวกันทำให้การละลายลดลง

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง ผลของวิธีการสกัดไขมันต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมัน และแป้งจากเมล็ดเงาะ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press และวิธีแบบร้อนโดยใช้เครื่อง Soxhlet Extraction ต่อสมบัติของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะ สามารถสรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะได้ ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของวิธีการสกัดไขมันต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมัน และแป้งจากเมล็ดเงาะ มีวัตถุประสงค์ศึกษาเพื่อศึกษาผลของการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press และวิธีแบบร้อนโดยใช้เครื่อง Soxhlet Extraction ต่อสมบัติของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะสามารถสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1.1 ศึกษาผลของวิธีการสกัดไขมันต่อสมบัติของไขมัน

การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะจากการสกัดไขมันด้วยวิธีแบบเย็นโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press และด้วยวิธีแบบร้อนโดยใช้เครื่อง Soxhlet Extraction พบว่า วิธีการสกัดมีผลต่อสมบัติของไขมันเมล็ดเงาะ โดยมีผลต่อร้อยละของผลผลิตที่ได้ ค่าสี L* a* b* ค่าจุดหลอมเหลว ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าสปอนนิฟิเคชัน ค่าปริมาณสารที่สปอนนิฟายไม่ได้ และค่าไอโอดีน จากการศึกษาสมบัติของไขมันเมล็ดเงาะ สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตไขมัน และเป็นทางเลือกในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ใช้ทดแทนหรือใช้ร่วมกับไขมันที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ

5.1.2 ศึกษาผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติของแป้งเมล็ดเงาะ

การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดไขมันออกด้วยวิธีแบบเย็นโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press และด้วยวิธีแบบร้อนโดยใช้เครื่อง Soxhlet Extraction พบว่า วิธีการสกัดมีผลต่อสมบัติของแป้งเมล็ดเงาะ โดยมีผลต่อร้อยละของผลผลิตที่ได้ ค่าสี L* a* b* ความชื้น ความสามารถในการดูดซับน้ำ อะมิโลส คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เส้นใย ค่ากำลังการพองตัวและการละลาย จากผลการวิเคราะห์สมบัติยังตรงกับลักษณะทั่วไปของแป้งสาลีซึ่งสามารถนำแป้งเมล็ดเงาะมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่หรือนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูปแป้ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของวิธีการสกัดไขมันต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะ มีข้อเสนอแนะในขั้นตอนในการดำเนินงานและส่วนที่น่าจะปฏิบัติเพื่อให้ผลการทดลองที่ได้ครบถ้วนมากขึ้นดังนี้

5.2.1 ควรศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะของแต่ละพันธุ์ เช่น เมล็ดเงาะพันธุ์สีชมพู และเมล็ดเงาะพันธุ์สีทอง เพื่อมาเปรียบเทียบกับเมล็ดเงาะพันธุ์โรงเรียน

5.2.2 ควรศึกษาวิธีการสกัดไขมันวิธีแบบเย็นโดยใช้เครื่องอัดแบบไฮดรอลิกเพื่อเปรียบเทียบกับสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของวิธีแบบเย็นโดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน Screw Press

5.2.3 ควรศึกษาอายุการเก็บรักษาของไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

บรรณานุกรม

[1] กรมการค้าภายใน, กองส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร (ออนไลน์) , 2557, สืบค้นจาก:, http://www.dit.go.th/contentmain.asp?typeid=16, (11 ธันวาคม 2557)

[2] Augustin M.A. and B.C. Chua, “Composition of Rambutan seeds. Pertanika,” 11(2) : 211 - 215. 1988.

[3] Tindall H.D., "Rambutan Cultivation. Food and agricultural organization of the United Nation," United Kingdom. 1994.

[4] วรรณรดา ศิริสมพงษ์, “การสกัด สมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะ,” วิทยาศาสตร์การอาหาร, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2553.

[5] นิดดา และทวีทอง หงส์วิวัฒน์, ผลไม้ 111 ชนิด คุณค่าอาหารและการกิน, กรุงเทพฯ : แสงแดด, 2550.

[6] นฤมล มานิพพาน, การปลูกและการขยายพันธุ์เงาะ ไม้ผลเศรษฐกิจสร้างรายได้, กรุงเทพฯ : บริษัทสำนักพิมพ์เพชรกะรัตจำกัด, 2537.

[7] Issara U., Zzaman W. and Yang T.A., “Rambutan seed fat as a potential source of cocoa butter substitute in confectionary product,” *International Food Research Journal*, 25 – 31, 2014.

[8] Georgi C.D., “Some Malayan vegetable oil and fats of minor importance,” Malayan Agricultural Journal 10: 222 - 227. 1922.

[9] นัฐวี ตีรณานนท์, “การศึกษาการนำเมล็ดเงาะจากอุตสาหกรรมการผลิตเงาะกระป๋องมาใช้ในการผลิตเป็นไบโอดีเซล,” วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2551.

[10] วิมลศรี พรรธนประเทศ, ศรีศักดิ์ ตรังวัชรกุล, โศรดา วัลภา, จิระวัฒน์ เอี่ยมวัฒน์, ภุมริน บุญโกสุม และกุลนที เลาหะกุล, “การประยุกต์ใช้แป้งเมล็ดเงาะในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดแคลอรี่ต่ำ,” *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. ปีที่ 43, หน้า 517 - 520, พฤษภาคม-สิงหาคม, 2555.

[11] นิธิยา รัตนาปนนท์, วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน, กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2548.

[12] นิตยา สงคราม, เอกสารการสอนชุดวิชาอาหารและโภชนาการ, กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2533.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[13] Coultate T.P., "Food : The Chemistry of Its Components," 3rd ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp. 54 - 93. 1999.

[14] Mathews CK. and van Holde K.E. Biochemistry, "The Benjamin/Cummings Publishing Company," 298 - 307, 631 - 641. 1990.

[15] Hadziyev D., Food Chemistry. (Belitz, H.D. and Grosch, W. eds.) Springer Verlag, Berlin, pp. 128 - 200, 472 - 493. 1987.

[16] Stauffer C.E., Fats and Oils. Eagan Press Hand Book Series, St. Paul, Minisota, 149 pp. 1996.

[17] Pike O.A., Fat Characteristic. In Introduction to the Chemical Analysis of Foods. (Nielsen, S.S. ed.) Jones and Bartlett Publishers, London, pp. 236 - 250. 1994.

[18] ฤดีวรรณ บุญยะรัตน์ และคณะ, "การสกัดและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดพืชบางชนิดในภาคเหนือตอนล่าง," มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, พิษณุโลก, 2540.

[19] Hoover R. and F.W. Sosulski. Composition, structure, functionality, and chemical modification of legume starches : A review. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology. 69 : 79 - 92. 1991.

[20] กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, เทคโนโลยีของแป้ง, 3. กรุงเทพมหานคร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2546.

[20] Stute R., Differences between commercial native starches. Avebe Product Information reference number 05.00.02.102 EF. In S. Batchelor, E. Booth, G. Entwistle, K.Walker, T. ap Rees, A. Hacking, C. MacKay, and I' Morrison (Eds.) 1996. Industrial. 1992.

[21] Beynum G.M.A. van, and J.A. Roels. Starch Conversion Technology. Marcel Dekker, Inc., New York. 326 p. 1985.

[22] Sanders, J.P.M. Starch manufacturing in the world. In Advanced Post-Academic Course on Tapioca Starch Technology. January 22 - 26, and February 19 - 23, Thailand. 1996.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[23] Galliard T., and P. Bowler. Morphology and composition of starch. In T. Gailliard (Ed.). Starch: Properties and Potential. John Wiley and Sons., New York. 1987.

[24] Rupp P.L.C, and S.J. Schwartz. Characterization of the action of Bacillus subtilis alpha-amylase on sweet potato starch, amylose and amylopectin. J. Food Biochem. 191 - 203. 1988.

[25] Swinkels J.J.M, "Sources of starch its chemistry and physics," *Starch conversion technology*, Marcel Dekker, New York, 1985, 15 – 45.

[26] สุนันทา ทองทา, "องค์ประกอบและคุณสมบัติของแป้งลูกเดือยเพื่อเป็นส่วนผสมอาหารเพื่อสุขภาพ," เทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชศรีมา, 2554.

[27] ณัฐพล นะวัน และวิภาวรรณ ทองแก้ว, "การใช้แป้งถั่วเหลืองพร่องไขมันทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในแผ่นเกี๊ยว," เทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันราชภัฏนครสวรรค์, 2546.

[28] สุชัญญา แสงสอน, "การใช้แป้งพรีเจลาติไนซ์เมล็ดขนุนทดแทนสตาร์ชถั่วเขียวในขนมลืมกลืน," เทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2547.

[29] Lineback D.R, "Structure starch-degrading enzymes," AACC short course on starch structure properties and food uses, 1996.

[30] Maningat C.C. and P.A. Seib, "Occurrence isolation and properties of starch granules," AACC short course on starch structure properties and food uses, 1992.

[31] Leach H.W., L.D. McCowen, and T.J. Schoch., Structure of the starch granule I, Swelling and solubility patterns of various starches, Cereal chem, 36, 534 – 544, 1959.

[32] นนท์ ธิติเลิศเดชา, "การสกัด การแยก การทำบริสุทธิ์ และการพิสูจน์เอกลักษณ์ทางโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกจากเงาะ," เทคโนโลยีชีวภาพ, เทคโนโลยีชีวภาพ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2553

[33] สมบัติ คงวิทยา, อริสรา อรกุล, เบญจวรรณ ช่อชู, ปณิตา วงษ์คำ, ชัยศาสตร์ คเชนทร์สุวรรณ, สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ และสุรศักดิ์ ละลอกน้ำ, "การตรวจหาแอคทิวิทีของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสในผลเงาะ," *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, หน้า 97-103, 2554.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[34] ผาณิต รุจิรพิสิฐ, “องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งฟลาวร์ และสตาร์ชจากแห้วจีน”, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, กรุงเทพฯ, 2549.

[35] ดารารัตน์ นาคละออ, อาภัสรา แสงนาค และกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, “การปรับปรุงคุณภาพของแป้งเมล็ดขนุนโดยวิธีการพรีเจลาทิไนซ์,” *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, ฉบับที่ 16, 2554.

[36] สุนันทา ทองทา, “องค์ประกอบและคุณสมบัติของแป้งลูกเดือยเพื่อเป็นส่วนผสมอาหารเพื่อสุขภาพ,” เทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 2554.

[37] วิวัฒน์ วรามิตร และเพ็ญประภา พงษ์ประยูร, ผลของการใช้แป้งจากเมล็ดเงาะ ทดแทนปลายข้าวในสูตรอาหารต่อสมรรถนะการผลิตไก่เนื้อ, เทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, จันทบุรี, 2558.

[38] พงษ์ศิริ วินิจฉัย และวารุณี ธนะแพสย์, การศึกษาวิธีการสกัดและการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันเมล็ดเสาวรส, สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, มปป.

[39] วรพงษ์ มิ่งมา และวัฒนพงศ์ ลือชูวงศ์, การศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันและไขมันจากเมล็ดพืชในประเทศไทยเพื่อใช้ประโยชน์ทางเภสัช, เภสัชศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ, 2545.

[40] จักรกฤษณ์ จังโส, “การศึกษากระบวนการสกัด คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะม่วงพันธุ์แก้ว,” วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, เทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพมหานคร, 2551.

[41] สุภัสชา จันพร, “ผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติทางกายและเคมีของน้ำมันจากเมล็ดหูกวาง,” วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก, 2557.

[42] J. Eiamwat, and other, “Toxicity studies on rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) seed fat and oil extracts using acute oral, dermal and irritation assays,” *International Journal of Natural Products Research*, pp 36-39, 2014.

[43] S. Chimplee and U. Klinkesorn, “Thin-Layer Drying Model of Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) Kernel and Its Application in Fat Extraction Process,” International Journal of Food Engineering, 11, 2015.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[44] Manaf YN. And other, “Physico-chemical characterisation of the fat from red-skin rambutan (Nephellium lappaceum L.) seed,” *Journal oleo science Joe*, pp 335-343, 2013.

[45] Julio A. Solis-Fuentes, Guadalupe Camey-Ortiz, Maria del Rosario Hernandez-Medel, Francisco Perez-Mendoza and Carmen Duran-de-Bazua and, “Composition phase behavior and thermal stability of natural edible fat from rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) seed,” Bioresource Technology, 101, 799 -803, September, 2009.

[46] AOCS, Official methods and recommended practices of the american oil chemists' Society, 5th ed, American Oil Chemists' Society Press, Washington, D.C., 1997.

[47] AOCS, Official methods and recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, 6th ed, American Oil Chemists' Society, Champaign, USA, 2000.

[48] AOAC, Official Methods of Analysis of AOAC International, 17 th ed, Gaithersburg, MD, USA, 2000.

[49] Juliano, B.O., A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Sci. Today 16: 334-340. 1971.

[50] Newport Scientific Pty, Ltd., Operation manual for the Series 4 Rapid Visco Analyzer, Australia, 93 p, 1995.

[51] Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfeifer, V.F., and Griffin, E.L. Gelatiniztion of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Science Today, 14. 4 – 12. 1969.

[52] Schoch, T.J. Swelling power and solubility of granular starches. Methods in carbohydrates chemistry. 106 – 108. 1964.

[53] วรรณ์รวี วาระนุช, น้ำมันรำข้าว, (ออนไลน์) , 2560, สืบค้นจาก:, http://www.patomsit.net/index.php?lay=show&ac=article&Id=539236403, (19 เมษายน 2560).

[54] นิธิยา รัตนาปนนท์, เคมีอาหาร, พิมพ์ครั้งที่ 1, ปีที่พิมพ์ 2545, กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2545.

[55] Fuentes J.A.; G.C. Ortiz, M.R. Medel, F.P. Mendoza and C.D. Bazua, Bioresource Technology, “Composition phase behavior and thermal stability of natural edible fat from rambutan seed,” pp 799-803, 2010.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[56] Bockisch M., Fat and oil handbook, AOCA Press, Nahrungsfette and oil, 1998.

[57] กระทรวงอุตสาหกรรม.สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์ (มอก.), 375/2524, กระทรวงอุตสาหกรรม, 2524.

[58] Fang C., and M.S. Chinnan, “Kinetics of cowpea starch gelatinization and modeling of starch gelatinization during steaming of intact cowpea seed,” LWT - Food science and technology, 37, 345 - 354. 2004.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะ

1.1 การวิเคราะห์ค่าไอโอดีน (Iodine Number) ตามวิธี AOCS, 2012

1.1.1 วิธีการทดลอง

นำไขมันไปละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปกรอง แล้วชั่งไขมันซึ่งผ่านการกรองแล้วประมาณ 1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน เติมไซโคลเฮกเซนต่อกรดแอซิติก (1 : 1 โดยปริมาตร) 15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายวิจส์ 25 มิลลิลิตร ผสมตัวอย่างไขมันเมล็ดเงาะและสารละลายให้เข้ากันดี ตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลาเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก 20 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนกกระทั่งสีเหลืองเริ่มจางลง เติมสารละลายน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก 2 มิลลิลิตร ไตเตรทต่อจนสีน้ำเงินหมดไป บันทึกปริมาณโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรท ทำการวิเคราะห์แบลงค์ควบคู่กับตัวอย่าง คำนวณค่าไอโอดีน

1.1.2 วิธีคำนวณ

$$\text{ค่าไอโอดีน} = \frac{(B-A) \times N \times 12.69}{M}$$

เมื่อ B คือ ปริมาณไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรทกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

A คือ ปริมาณไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มัล)

M คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

1.2 การวิเคราะห์ค่าสปอนนิฟิเคชัน (Saponification Number) ตามวิธี AOCS, 2012

1.2.1 วิธีการทดลอง

นำไขมันไปละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปกรอง แล้วชั่งไขมันซึ่งผ่านการกรองแล้วประมาณ 1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 0.5 นอร์มัล 50 มิลลิลิตร รีฟลักซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 1 มิลลิลิตร ไตเตรทด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 นอร์มัล จนสีชมพูจางหายไป บันทึกปริมาณสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรท ทำการวิเคราะห์แบลงค์ควบคู่กับตัวอย่าง คำนวณค่าสปอนนิฟิเคชัน

1.2.2 วิธีคำนวณ

ค่าสปอนนิฟิเคชัน = $\frac{(B-A)\times N}{M}$ x 56.1

เมื่อ B คือ ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรทกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

A คือ ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มัล)

M คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

1.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารที่สปอนนิไฟด์ไม่ได้ ตามวิธี AOCS, 2012

1.3.1 วิธีการทดลอง

ชั่งไขมันประมาณ 2 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงขวดทรงกลม เติมเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ปริมาณ 25 มิลลิลิตร และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก 1.5 มิลลิลิตร รีฟลักซ์ เป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วถ่ายของเหลวใส่ลงในกรวยแยก ล้างขวดทรงกลมด้วยน้ำร้อน 50 มิลลิลิตร รวมลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมไดเอทิลอีเทอร์ 50 มิลลิลิตร ปิดจุกแล้วเขย่าอย่างแรง ตั้งกรวยแยกให้ตรงจนของเหลวแยกออกเป็น 2 ชั้นเห็นได้ชัดเจน แยกของเหลวส่วนล่างออก (สารที่ทำปฏิกิริยากับด่าง) แล้วเทส่วนบนที่เป็นสารละลายไดเอทิลอีเทอร์ออกทางปากขวด ใส่ลงในกรวยแยกที่สองที่มีน้ำกลั่นอยู่ 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ของเหลวแยกเป็นสองชั้น แยกส่วนที่เป็นน้ำชั้นล่างออกทิ้ง ล้างสารละลายอีเทอร์อีกสองครั้งด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 20 มิลลิลิตร แล้วล้างด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มัล 20 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ทำเช่นนี้สลับกัน 2 ครั้ง สุดท้ายล้างด้วยน้ำกลั่นจนน้ำที่ล้างไม่เกิดสีชมพูกับสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ เทสารละลายอีเทอร์ออกจากขวดกรวยแยกใส่ลงในขวดแก้วที่ชั่งน้ำหนักแล้ว ล้างกรวยแยกด้วยไดเอทิลอีเทอร์ใส่รวมในขวดแก้ว ระเหยไดเอทิลอีเทอร์จนเหลือเล็กน้อย เติมอะซีโตน 2 – 3 มิลลิลิตร ไล่สารที่ระเหยได้ออกไปให้หมด นำขวดแก้วไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนสารที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับด่างมีน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนัก คำนวณค่าปริมาณสารที่สปอนนิไฟด์ไม่ได้

1.3.2 วิธีคำนวณ

ร้อยละปริมาณสารที่สปอนนิไฟด์ไม่ได้ = $\frac{100\times A}{M}$

เมื่อ A คือ น้ำหนักที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับด่าง (กรัม)

M คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

1.4 การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value) ตามวิธี AOCS, 2012

1.4.1 วิธีการทดลอง

ชั่งไขมันตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 0.05 กรัม ลงขวดชมพู่ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ทำ Blank ไปพร้อมกันโดยไม่ต้องใส่ไขมัน เติมตัวทำละลายผสม (กรดอะซีติก 3 ส่วน และคลอโรฟอร์ม 2 ส่วน โดยปริมาตรต่อปริมาตร) 30 มิลลิลิตร เขย่านาน 1 นาที เติมสารละลายอิ่มตัวของโพแทสเซียมไอโอไดด์ 0.5 มิลลิลิตร เก็บในที่มืดนาน 1 นาที เติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 มิลลิลิตร และเขย่า ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจนสารละลายเกือบไม่มีสี เติมสารละลายน้ำแป้งปริมาตร 1 มิลลิลิตร ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจนถึงจุดยุติ คือจนกระทั่งสารละลายสีน้ำเงินฟ้าหมดและสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้กับไขมันตัวอย่าง (A มิลลิลิตร) และที่ใช้กับ Blank (B มิลลิลิตร) คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์

1.4.2 วิธีคำนวณ

$$\text{ค่าเปอร์ออกไซด์} = \frac{(S-B)\text{x ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)}}$$

เมื่อ S = Sample Titration (ปริมาตรโซเดียมไทโอซัลเฟต)

B = Blank Titration

1.5. การวิเคราะห์ค่าดัชนีการหักเหของแสง (Refractive Index) ตามวิธี AOCS, 1997

1.5.1 วิธีการทดลอง

นำไขมันไปละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง จากนั้นหยดตัวอย่างลงบนปริซึมของรีแฟรกโตมิเตอร์ให้ตัวอย่างกระจายทั่วปริซึม ปิดฝาครอบ แล้วอ่านค่าการหักเหแสง

1.6. การวิเคราะห์หาค่าจุดหลอมเหลว

1.6.1 วิธีการทดลอง

ชั่งตัวอย่างใส่ Liquid Aluminum Pan สำหรับ DSC ประมาณ 2 - 3 มิลลิกรัม ปิดฝา Pan ให้สนิท จากนั้นตัวอย่าง และ Pan เปล่านำไปใส่เครื่อง DSC ตั้งค่า Temperature Program สำหรับการวิเคราะห์ ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจากอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ไปจนถึง 80 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 30 องศาเซลเซียสต่อนาที คงไว้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที นำโครมาโตแกรมที่ได้มาหาค่าเอนทาลปี อุณหภูมิจุดหลอมเหลว

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งเมล็ดเงาะ

2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC, 2000

2.1.1 วิธีวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ใส่ลงใน Moisture Can ที่ผ่านการอบแห้ง (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) พร้อมฝา นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ นำ Moisture Can ออกจากตู้อบและปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักตัวอย่างภายหลังจากเย็นแล้ว

2.1.2 วิธีคำนวณหาร้อยละความชื้น

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC, 2000

2.2.1 วิธีวิเคราะห์ขั้นตอนการย่อย

นำตัวอย่างที่จะวิเคราะห์มา 2.5 กรัม ใส่ใน Tube จำนวน 8 หลอด ชั่ง Anhydrous $CuSO_4$ 0.1 กรัม และ Anhydrous Na_2SO_4 0.2 กรัม ใส่ใน Tube ที่มีตัวอย่างอยู่ เติม conc. H_2SO_4 25 มิลลิลิตร ทำการย่อยโดยเช็คอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 250 - 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงเพิ่มอุณหภูมิเป็น 370-470 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายสีเขียวใสแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่น

2.2.2 วิธีวิเคราะห์ขั้นตอนการกลั่น (Distillation)

ใส่กรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 จำนวน 30 มิลลิลิตร ใน Flask ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยหยด Methyl Red เป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด จัดเครื่องมือให้ปลายสายยางจุ่มอยู่ในสารละลายตลอดเวลา เปิดวาวล์น้ำแล้วดันคันโยกจากตำแหน่ง Stand By มาที่ Fill จนน้ำใน Flask ต้มน้ำมีระดับน้ำที่ต้องการแล้วดันคันโยกกลับตำแหน่ง Stand By เหมือนเดิม ตั้ง Tube ที่ยึดจับ เปิดสวิทซ์ แล้วกดปุ่ม Feed ให้ร้อยละ 50 NaOH ไหลเข้า Tube ปริมาณ 10 มิลลิลิตร รอจนกระทั่งน้ำใน Flask ต้มจนเดือดแล้วดันคันโยกจาก Stand By ไปที่ Distillation ปล่อยให้เครื่องกลั่นจนกระทั่งสารละลายใน Flask ซึ่งมี Methyl Red มีสีเหลือง และให้ได้ปริมาตร 150 มิลลิลิตร แล้วจึงหยุดกลั่นโดยดันคันโยกจาก Distillation ไปที่ Stand By นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริก 0.1 M. จนสารละลายเปลี่ยนสีจากเหลืองเป็นชมพู บันทึกปริมาตรที่ไตเตรท

2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC, 2000

2.3.1 วิธีวิเคราะห์ ไขมันจะละลายใน Solvent ที่นิยม คือ Petroleum Ether, Hexane

ชั่งตัวอย่างที่อบไล่ความชื้นแล้วประมาณ 5 กรัม ใส่ใน Thimble (ควรใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ชั่งบีกเกอร์หรือ Flask และจดน้ำหนักที่แน่นอน ประกอบชุดหาไขมันให้เรียบร้อย บนเตาให้ความร้อนโดยเอา Thimble ที่มีตัวอย่างใส่ในชุด Soxhlet เติม Solvent ใส่ในบีกเกอร์หรือ Flask ประมาณ 140 มิลลิลิตร เปิดเตาเพื่อให้ความร้อนกับบีกเกอร์หรือ Flask ไอของ Solvent จะระเหยขึ้นไป และควบแน่นกลับลงมาใน Thimble ซึ่งจะสกัดไขมันที่มีในตัวอย่างออกมา การสกัดนี้อาจจะกินเวลาตั้งแต่ 4-8 ชั่วโมง ขึ้นกับปริมาณของไขมันในตัวอย่าง เมื่อสกัดไขมันออกหมดแล้วนำ Thimble ออกแล้วให้ความร้อนต่อไป Solvent จะถูกควบแน่นเก็บใน Soxhlet ซึ่งสามารถเอา Solvent ไปใช้งานอื่นได้ ภายในบีกเกอร์จะเป็นคราบไขมันเหลืออยู่ให้นำไประเหยบน Water Bath จน Solvent หมด นำบีกเกอร์หรือ Flask ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นใน Desicater จนน้ำหนักคงที่แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน

2.3.2 วิธีคำนวณหาปริมาณไขมัน

$$\text{ร้อยละไขมัน} = \frac{(\text{น้ำหนักบีกเกอร์ครั้งหลัง} - \text{น้ำหนักบีกเกอร์ครั้งแรก})}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใย ตามวิธี AOAC, 2000

2.4.1 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใย

ชั่งตัวอย่างแห้งที่สกัดไขมันออกแล้ว (ยกเว้นกรณีที่ไขมันน้อยกว่าร้อยละ 1) 2 กรัมที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 1.25 จำนวน 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดนาน 30 นาที โดยใช้เครื่อง Crude Fiber กรองส่วนที่ไม่ถูกย่อยไว้ด้วย Buchner Funner ล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำร้อนจำนวน 10 มิลลิลิตร 10 ครั้ง โดยเทผ่านกระดาษกรอง นำกากใส่ในบีกเกอร์อันเดิม เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1.25 จำนวน 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดนาน 30 นาที โดยใช้เครื่อง Crude Fiber นำกากที่ได้มากรองด้วย Buchner Funner แล้วนำมาล้างด้วยกรดไฮโดรคลอลิกเข้มข้นร้อยละ 1 จำนวน 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 จำนวน 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง นำกากที่ได้มาใส่ใน Crucible ที่อบแห้งและชั่งน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว นำไป Preheat เพื่อระเหยน้ำ และ ETOH ออกบางส่วน นำ Crucible ไปอบแห้งใน Hot Air Oven ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำออกมาทิ้งให้เย็นใน Desicater

ชั่งน้ำหนักที่ได้ (X) นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนได้เป็นเถ้าสีขาว แล้วนำออกมาทิ้งให้เย็นใน Desicater แล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (Y)

2.4.2 วิธีคำนวณหาปริมาณเส้นใย

$$\text{เส้นใย (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)} = \frac{(X-Y) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC, 2000

2.5.1 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า

เผา Crucible ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นใน Desicater ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนใส่ใน Crucible แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง นำเข้าเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ นำมาทิ้งให้เย็นใน Desicater นำมาชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักเถ้า + น้ำหนัก Crucible)

2.5.2 วิธีคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{เถ้า (ร้อยละ)} = \frac{[(\text{น้ำหนัก Crucible} + \text{เถ้า}) - \text{น้ำหนัก Crucible}]}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธี NLH, 1995

วิธีคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) = 100 – ร้อยละ (โปรตีน+ไขมัน+เถ้า+ความชื้น+เส้นใย)

2.7 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของแป้ง ตามวิธี มอก.274-2521

วิธีการวัดค่า

ละลายแป้งตัวอย่าง 25 กรัม ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันประมาณ 1 นาที แล้วนำไปวัดค่า pH ด้วย pH Meter

2.8 การวิเคราะห์ค่าดัชนีการอุ้มน้ำ และดัชนีการละลายน้ำของแป้ง

2.8.1 วิธีวิเคราะห์ค่าดัชนีการอุ้มน้ำ และดัชนีการละลายน้ำของแป้ง

2.8.1.1 ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.5 กรัม โดยคิดเป็นน้ำหนักแป้งแห้ง (จดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) (A) ใส่ในหลอดเหวี่ยงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร หรือขนาด 25 มิลลิลิตร (ชั่งน้ำหนักหลอดเหวี่ยงให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร

2.8.1.2 บ่มตัวอย่างในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 30 องศาเซลเซียส และคนตัวอย่างตลอดเวลาเป็นเวลา 30 นาที

2.8.1.3 นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ความเร็วรอบ 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที (หรือความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที)

2.8.1.4 ดูดน้ำใสตอนบนใส่ Moisture Can ที่ทราบน้ำหนัก (ต้องนำ Moisture Can ไปอบแห้งแล้วนำมาใส่ Desiccators ให้เย็น) แล้วจึงชั่งน้ำหนัก โดยดูดน้ำส่วนใสให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อบจนกระทั่งแห้ง (น้ำหนักคงที่ โดยเมื่อดูด้วยตาเห็นว่าตัวอย่างแห้งแล้ว นำไปเก็บไว้ใน Desiccators ทิ้งให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบแห้งต่อประมาณ 10 นาที แล้วเก็บไว้ใน Desiccators ทิ้งให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ถ้าไม่เท่ากับครั้งแรกให้ทำซ้ำ คือ นำไปอบ 10 นาทีใหม่ จนได้น้ำหนักเท่ากันตลอด จึงจดบันทึกน้ำหนักไว้) ลบน้ำหนักของ Moisture Can ออกเป็นค่าน้ำหนักส่วนที่ละลาย (B)

2.8.1.5 ส่วนแป้งเปียกที่อยู่ในหลอด นำไปชั่งน้ำหนักทั้งหลอดแล้วหักลบน้ำหนักหลอดออก เป็นน้ำหนักแป้งที่เปียก (C)

2.8.2 วิธีคำนวณหาค่าดัชนีการอุ้มน้ำ และดัชนีการละลายน้ำของแป้ง

2.8.2.1 ดัชนีการละลายน้ำ

$$\text{ดัชนีการละลายน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งส่วนที่ละลายน้ำ (B)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้งแห้งเริ่มต้น (A)}}$$

2.8.2.2 ดัชนีการอุ้มน้ำ

$$\text{ดัชนีการอุ้มน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนแป้งหลังการปั่นเหวี่ยง(C)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้งแห้งเริ่มต้น (A)}}$$

2.9 การวิเคราะห์ค่ากำลังการพองน้ำ และการละลายของแป้ง ดัดแปลงตามวิธี [44]

2.9.1 วิธีวิเคราะห์ค่ากำลังการพองน้ำ และการละลาย

2.9.1.1 ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.1 หรือ 0.3 - 0.5 กรัม โดยคิดเป็นน้ำหนักแป้งแห้ง (จดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) (A) นำตัวอย่างแป้งใส่ในหลอดเหวี่ยงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร (ชั่งน้ำหนักหลอดเหวี่ยงให้ทราบน้ำหนักแน่นอนด้วย) เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร

2.9.1.2 แช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 80, 85, 90 และ 95 องศาเซลเซียส กวนตลอดเวลานาน 30 นาที

2.9.1.3 นำไปปั่นเหวี่ยงด้วย Centrifuge ความเร็วรอบ 2,000 รอบ/นาที นาน 15 นาที

2.9.1.4 ดูดน้ำใสตอนบนใส่ Moisture Can ที่ทราบน้ำหนัก (ต้องนำ Moisture Can ไปอบแห้งแล้วนำมาใส่ Desiccators ทิ้งให้เย็น) แล้วจึงชั่งน้ำหนักโดยดูดน้ำส่วนใสให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อบจนกระทั่งแห้ง (น้ำหนักคงที่ โดยเมื่อดูด้วยตาเห็นว่าตัวอย่างแห้งแล้ว นำไปเก็บไว้ใน Desiccators ทิ้งให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบแห้งต่อสัก 10 นาที แล้วเก็บไว้ใน Desiccators ทิ้งให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักอีก ถ้าไม่เท่ากับครั้งแรกให้ทำซ้ำ โดยนำไปอบอีก 10 นาที จนได้น้ำหนักเท่ากันตลอด จึงจดบันทึกน้ำหนักไว้) ลบน้ำหนักของ Moisture Can ออกเป็นค่าน้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ (B)

2.9.1.5 ส่วนแป้งเปียกที่อยู่ในหยอด นำไปชั่งน้ำหนักทั้งหลอดแล้วหักลบน้ำหนักหลอดออกเป็นน้ำหนักแป้งที่พองตัวแล้ว (C)

2.9.2 วิธีคำนวณหาค่ากำลังการพองน้ำ และการละลาย

1.9.2.1 การละลาย

$$\text{การละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งส่วนที่ละลายน้ำ (B)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้งแห้งเริ่มต้น (A)}}$$

1.9.2.2 กำลังการพองตัว

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่พองตัวแล้(C)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้งแห้งเริ่มต้น (A)} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

2.10 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำ และน้ำมัน ดัดแปลงจากวิธี [49]

2.10.1 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำ

2.10.1.1 ชั่งตัวอย่างฟลาวร์หรือสตาร์ช 3 กรัม ใสในหลอดเหวี่ยงเซ็นตริฟิวจ์

2.10.1.2 เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร

2.10.1.3 นำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเซ็นตริฟิวจ์ด้วยความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

2.10.1.4 แยกของเหลวส่วนใสทิ้งและนำมาระบายน้ำอีกครั้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที

.10.1.5 ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง เพื่อทราบน้ำหนักที่แน่นอนและคำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำ

2.10.2 วิธีคำนวณหาความสามารถในการดูดซับน้ำ

$$\text{ความสามารถในการดูดซับน้ำ (กรัม/กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ดูดน้ำไว้}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (โดยน้ำหนักแห้ง)}}$$

2.11 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

2.11.1 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

2.11.1.1 ชั่งตัวอย่างฟลาวร์หรือสตาร์ช 0.5 กรัม ใสในหลอดเหวี่ยงเซ็นตริฟิวจ์

10.3.2 เติมน้ำมันถั่วเหลือง 6 มิลลิลิตร คนผสมต่อเนื่องเป็นเวลา 1 นาที และทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที

2.11.1.2 นำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเซ็นตริฟิวจ์ด้วยความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 25 นาที

2.11.1.3 แยกส่วนที่เป็นน้ำมันทิ้งและคว่ำหลอดเซ็นตริฟิวจ์ เป็นเวลา 25 นาที

2.11.1.4 ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง เพื่อทราบน้ำหนักที่แน่นอนและคำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

2.11.2 วิธีคำนวณหาความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

$$\text{ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัม/กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ดูดน้ำมันไว้}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (โดยน้ำหนักแห้ง)}}$$

2.12 การวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลส ตามวิธี [45]

การวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลสวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตรมิเตอร์ โดยใช้ Potato Amylase ในการสร้างกราฟมาตรฐานการหาปริมาณอะไมโลส

2.12.1 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลส

2.12.1.1 ชั่งแป้ง 1 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ที่แห้งสนิท

2.12.1.2 เติมเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา

2.12.1.3 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซม์ความเข้มข้น 2 นอร์มัล ปริมาตร 9 มิลลิลิตร

2.12.1.4 กวนสารละลาย 10 นาที แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.12.1.5 เตรียมขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ชุดใหม่ เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมกลาเซียลอะซีติกแอซิดปริมาตร 2 มิลลิลิตร และเติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร (ไอโอดีน 0.2 กรัม และโปรแตสเซียมอโอไดด์ 2 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น)

2.12.1.6 ดูดน้ำแป้งจากข้อ 1.11.1.4 ด้วยปิเปต ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น และตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

2.12.1.7 วัดความเข้มสีของสารละลายตามข้อ 2.12.1.6 ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตรมิเตอร์ โดยอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร หลังปรับเครื่องด้วย Blank ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0 (ศูนย์)

2.12.1.8 ทำ Blank โดยเติมกลาเซียลอะซีติกแอซิดปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตรปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.12.1.9 คำนวณหาปริมาณอะไมโลสโดยเทียบจากกราฟมาตรฐานที่เตรียมได้

2.12.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน

2.12.2.1 ชั่งอะไมโลสบริสุทธิ์ 0.0400 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่แห้งสนิทแล้วดำเนินการเช่นเดียวกับข้อ 2.12.1.3 -2.12.1.4 ได้เป็นสารละลายมาตรฐาน

2.12.2.2 เตรียมขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด เติมน้ำกลั่นขวดละ 70 มิลลิลิตร เติมกลาเซียลอะซีติกแอซิดปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ในขวดที่ 1 ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร ในขวดที่ 2 ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร ในขวดที่ 3 ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร ในขวดที่ 4 ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ในขวดที่ 5 แล้วเติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวด

2.12.2.3 ดูดสารละลายมาตรฐานจากข้อ 2.12.2.1 ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ซึ่งเทียบเท่าปริมาณอะไมโลสร้อยละ 8, 16, 24, 35 และ 40 ตามลำดับ ใส่ในขวดที่เตรียมไว้ในข้อ 2.12.2.2 เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

2.12.2.4 นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับปริมาณอะไมโลสในสารละลายมาตรฐานจากข้อ 2.12.2.3 มาเขียนเป็นเส้นกราฟมาตรฐาน

2.12.2.5 นำกราฟมาตรฐานที่ได้จากข้อ 2.12.2.4 มาใช้แปลงค่าการดูดกลืนแสงให้เป็นร้อยละ (โดยน้ำหนัก) ของอะไมโลสในตัวอย่างที่ต้องการศึกษา

ภาคผนวก ค

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไขมันและน้ำมัน

(สำเนา)

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข

(ฉบับที่ 205) พ.ศ. 2543

เรื่อง ไขมันและน้ำมัน

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องไขมันและน้ำมัน

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6(3)(4)(5)(6)(7) และ (10) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและ เสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 48 และมาตรา 50 ของรัฐธรรมนูญแห่ง ราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิก

(1) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ. 2522) เรื่อง กำหนดไขมันและน้ำมันเป็นอาหารควบคุมเฉพาะและกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน วิธีการผลิต และฉลาก สำหรับไขมันและน้ำมันลงวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2522

(2) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 72 (พ.ศ. 2525) เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ. 2522) ลงวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2525

(3) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 134 (พ.ศ. 2534) เรื่อง ไขมันและน้ำมันผสม (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) ลงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534

(4) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 164) พ.ศ. 2538 เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ไขมันและน้ำมัน(ฉบับที่ 3) ลงวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2538

ข้อ 2 ให้ไขมันและน้ำมันที่ใช้เป็นอาหารได้ ซึ่งได้แก่ กลีเซอร์ไรด์ของกรดไขมันต่าง ๆ ที่ได้จากพืชหรือสัตว์ซึ่งใช้เป็นอาหารและบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท กล่อง ซอง หรือสิ่งห่อหุ้มที่ปิดผนึกเพื่อจำหน่าย เป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน ทั้งนี้ไม่รวมถึงเนยและเนยเทียม

ข้อ 3 ไขมันแล

ะน้ำมันที่ใช้เป็นอาหาร แบ่งออกเป็นสามชนิด

(1) ไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืช

(2) ไขมันและน้ำมันที่ได้จากสัตว์

(3) ไขมันและน้ำมันผสม ได้แก่ ไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชต่างชนิดผสมกันไม่เกินสองชนิด หรือไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่ผสมกันโดยผ่านกรรมวิธีไฮโดรจีเนชั่น (Hydrogenation) หรือเอสเตอร์รีฟิเคชั่น (Esterification) หรือไขมันและน้ำมันผสมตามชนิดและกรรมวิธีอื่นที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 4 พืชหรือไขมันของสัตว์ที่จะนำมาผลิตเอาไขมันและน้ำมัน ต้องมีสภาพที่เหมาะสมจะใช้ผลิตอาหาร และอยู่ในสภาพที่ให้ไขมันและน้ำมัน ซึ่งบริโภคได้โดยปราศจากอันตราย

ข้อ 5 วิธีการผลิตไขมันและน้ำมันให้ทำได้ ดังนี้

(1) วิธีธรรมชาติ ทำโดยการบีบอัดโดยใช้ความร้อนหรือวิธีธรรมชาติอื่นตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และนำมาทำให้สะอาดโดยการล้าง การตั้งไว้ให้ตกตะกอน การกรอง หรือการหมุนเหวี่ยง

(2) วิธีผ่านกรรมวิธี ทำโดยนำไขมันและน้ำมันที่ได้จากวิธีธรรมชาติ หรือที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และนำมาผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง

(3) วิธีอื่นตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 6 ไขมันและน้ำมันต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีค่าของกรด (Acid Value) คิดเป็นมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อไขมันและน้ำมัน 1 กรัม

(1.1) ได้ไม่เกิน 4.0 สำหรับไขมันและน้ำมันซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ

(1.2) ได้ไม่เกิน 0.6 สำหรับไขมันและน้ำมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี

(1.3) ได้ไม่เกิน 4.0 สำหรับไขมันและน้ำมันผสมซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ

(1.4) ได้ไม่เกิน 0.6 สำหรับไขมันและน้ำมันผสมซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี

(1.5) ได้ไม่เกิน 1.0 สำหรับไขมันและน้ำมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธีผสมกับไขมันและน้ำมันซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ

(2) มีค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value) คิดเป็นมิลลิกรัมสมมูลย์ ต่อไขมันและน้ำมัน 1 กิโลกรัม ได้ไม่เกิน 10

(3) มีน้ำและสิ่งที่ระเหยได้ (Water and Volatile Matter) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของน้ำหนัก

(4) มีปริมาณสบู่ (Soap Content) ได้ไม่เกินร้อยละ 0.005 ของน้ำหนัก

(5) มีสิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (Insoluble Impurities) ได้ไม่เกินร้อยละ 0.05 ของน้ำหนัก

(6) มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของไขมันและน้ำมัน ยกเว้นไขมันและน้ำมันผสม

(7) ไม่มีกลิ่นหืน

(8) ตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินที่กำหนด ดังต่อไปนี้

(8.1) ไม่พบน้ำมันแร่ (Mineral Oil)

(8.2) เหล็ก

ในไขมันและน้ำมันธรรมชาติและในไขมันและน้ำมันผสมไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัม ต่อไขมันและน้ำมัน 1 กิโลกรัม

ในไขมันและน้ำมันผ่านกรรมวิธีไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัม ต่อไขมันและน้ำมัน1 กิโลกรัม

(8.3) ทองแดง

ในไขมันและน้ำมันธรรมชาติและในไขมันและน้ำมันผสมไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัม ต่อไขมันและน้ำมัน 1 กิโลกรัม

ในไขมันและน้ำมันผ่านกรรมวิธีไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อไขมันและน้ำมัน 1 กิโลกรัม

(8.4) ตะกั่ว ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อไขมันและน้ำมัน1 กิโลกรัม

(8.5) สารหนู ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อไขมันและน้ำมัน1 กิโลกรัม

(8.6) อฟลาท๊อกซิน (Aflatoxin) ไม่เกิน 20 ไมโครกรัม ต่อไขมันและน้ำมัน 1 กิโลกรัม (ไม่เกิน 20 ส่วนในพันล้านส่วน)

(8.7) ไซโคลโพรพีนอยแฟตตี้ แอซิด (Cyclopropenoid Fatty Acid) ไม่เกินร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก

ไขมันและน้ำมันผสมนอกจากต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามวรรคหนึ่งแล้ว อาจมีคุณภาพหรือมาตรฐานอื่นตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาด้วยก็ได้

ไขมันและน้ำมันที่ผลิตตามวิธีอื่นในข้อ 5(3) ให้มีคุณภาพหรือมาตรฐานตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 7 การใช้วัตถุเจือปนอาหาร ให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กำหนดไว้ในบัญชีท้ายประกาศนี้การใช้วัตถุเจือปนอาหารชนิดอื่นนอกจากที่กำหนดให้ใช้ได้ตามวรรคแรก ต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 8 ผู้ผลิตหรือนำเข้าไขมันและน้ำมันเพื่อจำหน่าย ต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร

ข้อ 9 การใช้ภาชนะบรรจุไขมันและน้ำมัน ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ภาชนะบรรจุ

ข้อ 10 การแสดงฉลากของไขมันและน้ำมัน ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ฉลาก

ข้อ 11 ให้ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหารหรือใบสำคัญการใช้ฉลากอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ. 2522) เรื่อง กำหนดไขมันและน้ำมันเป็นอาหารควบคุมเฉพาะและกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน วิธีการผลิต และฉลาก สำหรับไขมันและน้ำมันลงวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 72 (พ.ศ. 2525) เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ. 2522) ลงวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2525 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 134 (พ.ศ. 2534) เรื่อง ไขมันและน้ำมันผสม (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) ลงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534 และประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 164) พ.ศ. 2538 เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ไขมันและน้ำมัน (ฉบับที่ 3)

ลงวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2538 ซึ่งออกให้ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับยังคงใช้ต่อไปได้อีกสองปี นับแต่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 12 ให้ผู้ผลิต ผู้นำเข้าไขมันและน้ำมันที่ได้รับอนุญาตอยู่ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับยื่นคำขอรับเลขสาระบบอาหารภายในหนึ่งปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ เมื่อยื่นคำขอดังกล่าวแล้วให้ได้รับการผ่อนผันการปฏิบัติตามข้อ 8 ภายในสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ และให้คงใช้ฉลากเดิมที่เหลืออยู่ต่อไปจนกว่าจะหมดแต่ต้องไม่เกินสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 13 ประกาศนี้ ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2543

กร ทัพพะรังสี

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

(ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนพิเศษ 6 ง. ลงวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2544)

บัญชีแนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) พ.ศ. 2543
เรื่อง ไขมันและน้ำมัน

อันดับ	ประเภทวัตถุเจือปนอาหาร	ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้เป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	หมายเหตุ
1.	สี (colour) : ให้ใช้ได้เพื่อความมุ่งหมายที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหมือนธรรมชาติ	1.1 เบตา-คาโรทีน	25	
		1.2 สีคำแสด	20	คำนวณเป็น bixin หรือ norbixin ทั้งหมด
		1.3 เคอร์คิวมิน หรือเทอร์เมอริค	5	คำนวณเป็น total curcumin
		1.4 เบตา-อะโป-8'-คาโรทีนาล	25	
		1.5 เมทิลและเอทิลเอสเทอร์ของกรดเบตา-อะโป-8'-คาโรทีโนอิค แอซิด	25	
2.	วัตถุกันหืน (antioxidants)	3.1 โพรพิล แกลเลท (propyl gallate)	100	
		3.2 บิวทิเลเตด ไฮดรอกซีโทลูอีน	75	
		3.3 บิวทิเลเตด ไฮดรอกซีอะนีโซล	175	
		3.4 เทอร์ไทอารี บิวทิล ไฮโดรควิโนน	120	
		3.5 โพรพิล แกลเลท (propyl gallate)	200	
		3.6 แอสคอร์บิลพัลมิเตท	500	
		3.7 แอสคอร์บิลสเตียเรท	500	
		3.8 โทโคเฟอรอลส์ชนิดธรรมชาติและชนิดสังเคราะห์	500	
		3.9 ไดลอริล ไธโอไดโพรพิโอเนท	200	

อันดับ	ประเภทวัตถุเจือปนอาหาร	ชื่อวัตถุเจือปนอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่ให้ใช้ได้เป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	หมายเหตุ
3.	สารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืน	4.1 กรดซิตริคและโซเดียมซิเตรท	**ตาม GMP**	สารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืนตามข้อ 4.2, 4.3 และ 4.4 จะใช้อย่างใดอย่างหนึ่งหรือใช้รวมกันได้ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
		4.2 ไอโซโพรพิลซิเตรท	100	
		4.3 กรดฟอสฟอริค	100	
		4.4 โมโนกลีเซอไรด์ซิเตรท	100	
4.	วัตถุกันฟอง	ไดเมทิลโพลีซิลอกเซน อย่างเดียว หรือผสมกับซิลิคอนไดออกไซด์	10	
5.	วัตถุกันตกผลึก	ออกซีสเตียริน (oxystearin)	1,250	

ภาคผนวก ง
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์

(มอก. 375-2524)

3.1 ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ประเภท คุณลักษณะที่ต้องการ วัตถุเจือปนในอาหาร การบรรจุ น้ำหนัก การทำเครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และวิธีวิเคราะห์ และทดสอบแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์

3.2 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

3.2.1 เมล็ดข้าวสาลี (Wheat Kernel) หมายถึง เมล็ดที่ได้จากต้นข้าวสาลีชนิดคอมมอน (Common Wheat) ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ ว่า ตริติคัม อิสติวัม (*Triticum aestivum*) หรือต้นข้าวสาลีชนิดคลับ (Club Wheat) ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ตริติคัม คอมแพกตัม (*Triticum compactum*) หรือต้นข้าวสาลีชนิดดูรัม(Durum Wheat) ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ตริติคัม ดูรัม (*Triticum durum*) ที่เอาเปลือกหุ้มเมล็ดออกแล้ว

3.2.2 สิ่งแปลกปลอม (Foreign Material) หมายถึง ส่วนต่างๆ ของพืชที่ไม่ใช่เมล็ดข้าวสาลี ทราย ชิ้นส่วนของแมลง สิ่งสกปรกอื่น ๆ

3.2.3 แป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์ หมายถึง แป้งสาลีที่ได้จากการสีและบดเมล็ดข้าวสาลีชนิดคอมมอนหรือข้าวสาลีชนิดคอมมอนผสมกับคลับ หรือดูรัมซึ่งปราศจากสิ่งแปลกปลอม

3.3 ประเภท

3.3.1 แป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

3.3.1.2 ประเภทไม่เสริมคุณค่าทางอาหาร (Plained Wheat Flour)

3.3.1.3 ประเภทเสริมคุณค่าทางอาหาร (Enriched Wheat Flour) ต้องประกอบด้วยสารชนิดต่างๆ ไม่น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ดังนี้

1) สารชนิดที่จำเป็นต้องมี

สารเสริมคุณค่าทางอาหาร	มิลลิกรัมต่อ 100.00 กรัม
ไทอะมีน (Thiamine, B_1)	0.55

ไรโบฟลาวิน (Riboflavin)	0.33
ไนอะซิน (Niacin)	4.40
สารเสริมคุณค่าทางอาหาร	มิลลิกรัมต่อ 100.00 กรัม
เหล็ก	8.80
คัลเซียม	211.20
2) สารที่อาจเพิ่มเติมได้	
ไลซีน (Lysine)	180.00

3.4 คุณลักษณะที่ต้องการ

3.4.1 ลักษณะทั่วไป

เป็นผงละเอียดไม่จับตัวเป็นก้อน มีสีขาวนวล กลิ่นและรสตามธรรมชาติของแป้งสาลี ไม่มีรสขม ไม่มีกลิ่นอับ ไม่เหม็นเปรี้ยว หรือมีกลิ่นไม่พึงประสงค์อื่นๆ และปราศจากสิ่งแปลกปลอม

3.4.2 ความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 วิธีวิเคราะห์ให้เป็นไปตามข้อ 3.4.1

3.4.3 คุณสมบัติอื่นๆ เมื่อวิเคราะห์และตรวจสอบโดยวิธีการให้คะแนน ดังแสดงในตารางที่ 1 แล้ว ต้องได้คะแนนรวมไม่น้อยกว่า 80 คะแนน โดยต้องไม่มีคุณสมบัติใดได้คะแนน 0

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์ (ข้อ 4.3)

ลำดับที่	คุณลักษณะที่ต้องการ	คะแนนเต็ม	คุณสมบัติที่ตรวจ	คะแนนที่ได้	วิธีวิเคราะห์ตาม
1	การขึ้นฟู คิดเป็นปริมาตรจำเพาะลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม				
	1.1 เมื่อใช้ทดสอบทำขนมปัง	35	ไม่น้อยกว่า 4.5	35	AACC 10 - 11 และข้อ 10.2.1
			4.3 ถึง 4.4	30	
			4.0 ถึง 4.2	25	
			น้อยกว่า 4.0	0	
	1.2 เมื่อใช้ทดสอบทำเค้ก	35	ไม่น้อยกว่า 2.7 และไม่มีโพรงอากาศ*	35	

			2.2 ถึง 2.6 หรือมีโพรงอากาศ* ไม่เกิน 6 โพรง 2.2 ถึง 2.6 หรือมีโพรงอากาศ* เกินกว่า 6โพรง	30 25	AACC 10-90 ข้อ 10.2.1 และข้อ 10.2.2
			น้อยกว่า 2.2 หรือไม่ผ่านการทดสอบ	0	
2	โปรตีน ร้อยละ (สำหรับแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 14)	10	ตามข้อ 10.2.2 ไม่น้อยกว่า 11.0 10.0 ถึง 10.9 9.0 ถึง 9.9	11 6 3 0	ข้อ 10.1.2
3	การดูดซึมน้ำ ร้อยละ	5	น้อยกว่า 9.0 ไม่น้อยกว่า 60.0 59.1 ถึง 59.9	5 3 2	AACC 54 - 21
4	เวลาที่ใช้ในการผสมนาที	5	57.0 ถึง 59.0 น้อยกว่า 57.0	0 5	
5	ปฏิกิริยาของเอนไซม์ไดแอสเตส	5	ไม่น้อยกว่า 5 ไม่น้อยกว่า 4 ไม่น้อยกว่า 3.5 น้อยกว่า 3.5	3 2 0 5	AACC 54 - 21
6	เถ้า ร้อยละ (สำหรับแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 14)	5	มากกว่า 650 แต่ไม่เกิน 700 หรือน้อยกว่า 550 แต่ ไม่น้อยกว่า 500 น้อยกว่า 500 หรือมากกว่า 700 ไม่เกิน 0.44 0.47 ถึง 0.52	3 0 5 3 2	AACC 22 - 10

3.5 วัตถุเจือปนในอาหาร

ให้ใช้วัตถุเจือปนในอาหารได้ตามชนิดและปริมาณไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดดังนี้

เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ ปริมาณไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อคำนวณอยู่ในรูปของกรดเบนซีนคาร์บอซีลิก (กรดเบนโซอิก)

3.6 การบรรจุ

แป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์ต้องบรรจุในภาชนะที่เหมาะสม สะอาดปิดผนึกเรียบร้อย และไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ

3.7 น้ำหนัก

น้ำหนักสุทธิต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

3.8 การทำเครื่องหมายและฉลาก

3.8.1 ที่ฉลากของภาชนะบรรจุแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์ทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลขหรืออักษรหรือเครื่องหมายแสดงข้อความต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่ายและชัดเจน

3.8.1.1 ชื่อผลิตภัณฑ์ซึ่งแสดงว่าเป็นแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์ ถ้าเป็นประเภทเสริมคุณค่าทางอาหาร ให้ระบุชนิดและปริมาณของสารที่เติม

3.8.1.2 วัตถุเจือปนในอาหาร

3.8.1.3 น้ำหนักสุทธิ เป็นกรัม กิโลกรัม หรือตัน

3.8.1.4 รหัสแสดงครั้งที่ทำ

3.8.1.5 ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้า หรือชื่อผู้บรรจุ หรือผู้จัดจำหน่าย

3.8.2 ประเทศที่ทำ

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

ภาคผนวก จ

แบบตอบรับผลงานการเผยแพร่วิจัย

ที่ ศธ 0522.14(04)/ 1026

สำนักบัณฑิตศึกษา
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด
จังหวัดนนทบุรี 11120

26 กันยายน 2559

เรื่อง ตอบรับการนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มสธ. ครั้งที่ 6

เรียน นางสาวกมลวรรณ สุขสวัสดิ์

ตามที่ท่านได้สมัครเข้าร่วมการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มสธ. ครั้งที่ 6 ในวันที่ 25 พฤศจิกายน 2559 ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช โดยส่งผลงาน **เรื่อง ผลของวิธีการสกัดไขมันวิธีแบบเย็นต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะ** นั้น คณะกรรมการจัดการประชุมฯ ได้พิจารณาบทความของท่านเรียบร้อยแล้ว ขอแจ้งผลการพิจารณา ดังนี้

*ผลงานของท่าน ได้รับการตอบรับให้นำเสนอผลงานวิจัยในรูปแบบ**โปสเตอร์** (Poster Presentation) หมายเลขโปสเตอร์ของท่านคือ P-ST 004 กรุณาอ้างอิงหมายเลขโปสเตอร์ทุกครั้งที่ติดต่อกับคณะกรรมการฯ* และส่งแบบตอบรับการนำเสนอผลงานเพื่อยืนยันการเข้าร่วมเสนอผลงานภายในวันที่ 7 ตุลาคม 2559 เพื่อคณะกรรมการจะได้ดำเนินการจัดตารางการนำเสนอ

ทั้งนี้ท่านสามารถตรวจสอบกำหนดการประชุมได้ที่ http://grad-research.stou.ac.th และหากท่านต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อที่นางสุพัตรา ทีนาคะ โทร 0 2504 7568-9

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และดำเนินการต่อไป

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลภา สบายยิ่ง)
ผู้อำนวยการสำนักบัณฑิตศึกษา

หมายเหตุ คำอธิบายสำหรับผู้นำเสนอแบบโปสเตอร์ (Poster Presentation)

1. ให้ผู้นำเสนอจัดเตรียมโปสเตอร์ขนาด กว้าง 90 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร โดยติดโปสเตอร์ในวันนำเสนอผลงานตามหมายเลขบอร์ดที่กำหนด
2. ในวันนำเสนอขอให้ผู้นำเสนอลงนามที่โต๊ะลงทะเบียนฝ่ายวิชาการเพื่อยืนยันการนำเสนอ สามารถตรวจสอบวันและเวลาที่นำเสนอผลงานได้ทาง http://grad-research.stou.ac.th
3. การนำเสนอผลงานต้องยืนประจำที่โปสเตอร์ในเวลาที่กำหนด 1 ชั่วโมง

วารสารแก่นเกษตร
KHON KAEN AGRICULTURE JOURNAL

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002
โทรศัพท์ 043-202360, 083-3435926
Email: agkasetkaj@gmail.com
http://ag2.kku.ac.th/kaj

23 มีนาคม 2560

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณา
เลขทะเบียนเรื่อง : 126/59
ชื่อเรื่อง : ผลของวิธีการสกัดต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งเมล็ดเงาะ

เรียน นางสาวกมลวรรณ เสุขลวัลดี์

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารแก่นเกษตรนั้น บัดนี้เรื่องของท่านได้ถูกพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและจากทางกองบรรณาธิการเรียบร้อยแล้ว กองบรรณาธิการมีความยินดีที่จะแจ้งให้ทราบว่าเรื่องของท่าน มีความเหมาะสมที่จะตีพิมพ์ได้ โดยทางวารสารแก่นเกษตรจะตีพิมพ์บทความของท่านในฉบับ/ปีตามที่ระบุด้านล่าง

ปีที่ : 45
ฉบับที่ : 3 (ก.ค.-ก.ย.2560)

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

รศ.ดร.วิโรจน์ ภัทรจินดา
บรรณาธิการ

กองบรรณาธิการวารสารแก่นเกษตร ขอสงวนสิทธิ์ในการตีพิมพ์ หากเจ้าของบทความไม่ดำเนินการครบตามกระบวนการประเมินคุณภาพบทความ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวกมลวรรณ สุขสวัสดิ์

วัน เดือน ปีเกิด 16 กันยายน 2534

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 125 ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

การศึกษา ปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาอาหารและโภชนาการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช (ทุ่งใหญ่)
เมื่อ พ.ศ. 2557

เบอร์โทรศัพท์ 085 - 0805409

อีเมล์ kamolwan_s@mail.rmutt.ac.th