



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สมบัติทางเคมี-กายภาพ และฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำมัน รวมทั้งสมบัติ
ของแป้งหลังการสกัดน้ำมันจากเมล็ดเงาะที่เป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม

Physico-Chemical and Bioactivity Properties of Oil including
Properties of Starch after Oil Extraction in Rambutan Seed
obtained from Manufacturing Waste

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร.พิชญอร ไหมสุทธิสกุล

ผู้ร่วมวิจัย

ผศ.ดร.เหมือนหมาย อภินทนาพงศ์

ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๘

มหาวิทยาลัยบูรพา

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สมบัติทางเคมี-กายภาพ และฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำมันรวมทั้งสมบัติ
ของแป้งหลังการสกัดน้ำมันจากเมล็ดเงาะที่เป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม

Physico-Chemical and Bioactivity Properties of Oil including
Properties of Starch after Oil Extraction in Rambutan Seed
obtained from Manufacturing Waste

ผศ.ดร.วิชฌณี ยืนยงพุทธกาล¹

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร.พิชญอร ไหมสุทธิสกุล²

ผู้ร่วมวิจัย

ผศ.ดร.เหมื่อนหมาย อภินทนาพงศ์²

ผู้ร่วมวิจัย

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 54/2558 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพ สมบัติการป้องกันแสงแดด สมบัติต้านออกซิเดชัน สมบัติด้านการอักเสบและความเป็นพิษของไขมันจากเมล็ดเงาะ และ 2) ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพ สมบัติด้านความหนืด และสมบัติด้านหน้าที่ของแปงฟลาวาร์ที่ได้หลังการสกัดน้ำมันแล้ว

สัดส่วนของน้ำหนักของผลเงาะพันธุ์โรงเรียนที่นำมาทำการวิจัยเป็นส่วนเนื้อผลร้อยละ 44.0 เปลือกเงาะร้อยละ 44.0 และเมล็ดของเงาะร้อยละ 12 ของน้ำหนักเงาะสด ปริมาณน้ำมันของเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็น (28.01%) มีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำมันจากการสกัดด้วย Soxhlet (46.74%) อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ค่าเปอร์ออกไซด์ ของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีค่า 0.25 ± 0.05 meq peroxide/Kg oil ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet ด้วยเฮกเซน ที่มีค่า 2.51 ± 0.52 meq peroxide/Kg oil ค่าซาฟอนิฟิเคชัน Unsaponifiable matter ค่าไอโอดีน และจุดหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีค่าสูงกว่าค่าของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet ด้วยเฮกเซน ค่า refractive index ของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นและ น้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet ด้วยเฮกเซน มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของไขมันเมล็ดเงาะ พบว่าองค์ประกอบหลักของไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดแบบเย็นคือ ไตรกลีเซอไรด์ (52.9%) ของไขมันทั้งหมด ซึ่งแตกต่างจากไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดแบบ soxhlet ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากถึง 71.8% ปริมาณกรดไขมันแบบอิ่มตัวทั้งหมดของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีค่าต่ำกว่าไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet ด้วยเฮกเซน กรดไขมันที่พบในไขมันเมล็ดเงาะจากการทดลองนี้ประกอบด้วย กรดไขมันอิ่มตัว (SFA) ได้แก่ palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), และ arachidic acid (C20:0) Docosanoic acid (C22:0) Tetracosanoic acid (C24:0) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (UFA) ประกอบด้วย กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) ได้แก่ กรดไขมัน palmitoleic acid (C16:1), oleic acid (C18:1 n-9t), eicosenoic acid (C20:1), erucic acid (C22:1n-9) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) ได้แก่ กรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 6 (n-6 PUFA) ประกอบด้วย linoleic acid (C18:2 n-6), gamma linoleic acid (C18:3 n-6)

ประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดดรังสี UVB ของไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดเย็นมีความสามารถในการป้องกันแสงแดดได้ดีกว่าไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดแบบ Soxhlet ความแตกต่างของค่าการเกิดออกซิเดชันของไขมันเมล็ดเงาะภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 56 ชั่วโมง พบว่า ค่า PV และ TBARS ของตัวอย่างของไขมันเงาะที่สกัดด้วย hexane มีค่าสูงกว่าไขมันเมล็ดเงาะสกัดเย็น ปริมาณฟีนอลิกในไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดเย็นมีค่ามากกว่าไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดแบบ

Soxhlet อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และปริมาณฟีนอลิกในไขมันเมล็ดเงาะสกัดเย็นมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณฟีนอลิกของ α -tocopherol ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH และ chelating activity ไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดแบบเย็นมีความสามารถในการยับยั้ง proteinase ได้สูงกว่าไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดด้วย Soxhlet อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการก่อความระคายเคืองเบื้องต้นต่อผิวหนัง

จากผลการทดลองพบว่าแป้งดิบจากเมล็ดเงาะมีคาร์โบไฮเดรตสูง 58.73% (คำนวณจากผลต่าง) และไขมันสูงถึง 30.08% โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำไปสกัดน้ำมันพบว่าการสกัดเย็นสามารถสกัดน้ำมันออกได้น้อยกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลาย หลังการสกัดน้ำมันพบว่าแป้งฟลาวร์สกัดเย็นมีปริมาณอะไมโลสสูงกว่า (13.52%) แบบสกัดด้วยตัวทำละลาย (10.28%) จากการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา เม็ดแป้งของแป้งฟลาวร์จากเมล็ดเงาะมีลักษณะค่อนข้างกลมรี เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-12 μm เมื่อนำไปศึกษาด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) พบว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาทีไนเซชันคือ 70.35-82.65 $^{\circ}\text{C}$ และมีค่าพลังงานในการเกิดเจลาทีไนเซชันอยู่ (ΔH) ระหว่าง 4.11-9.06 J/g เมื่อนำสารละลายแป้งฟลาวร์ที่ผ่านการเจลาทีไนเซชันแล้วมาเก็บที่อุณหภูมิ 5-10 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 7 วัน ไม่พบว่ามีเกิดการเกิดรีโทรกราเดชันในแป้งที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้ว ในขณะที่แป้งดิบมีอัตราการเกิดรีโทรกราเดชันเท่ากับ 205.03% ผลจากการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดด้วย Rapid Visco Analyser (RVA) พบว่า ความหนืดของแป้งดิบนั้นมีค่าต่ำมากเมื่อให้ความร้อน แต่เมื่อผ่านการสกัดน้ำมันแล้วค่าความหนืดเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบพบว่าแป้งฟลาวร์ที่ผ่านการสกัดเย็นมีค่า peak viscosity, holding strength, และ final viscosity สูงกว่าแป้งฟลาวร์ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย ยกเว้นค่า breakdown และ setback จะมีค่าต่ำกว่า ($P \leq 0.05$)

ในการวิเคราะห์สมบัติด้านหน้าที่ แป้งฟลาวร์ที่ผ่านการสกัดน้ำมันทั้งสองวิธี มีค่าดัชนีการอุ้มน้ำและความสามารถในการดูดซับน้ำมันไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ส่วนแป้งฟลาวร์ที่ผ่านการสกัดเย็นมีค่าดัชนีการละลายน้ำและการรักษาความคงตัวของอิมัลชันสูงกว่าแป้งฟลาวร์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย แต่ความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการเกิดอิมัลชันของแป้งฟลาวร์ที่ผ่านการสกัดเย็นต่ำกว่าแป้งฟลาวร์ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย ($P \leq 0.05$) แป้งฟลาวร์สกัดน้ำมันทั้งสองวิธีมีกำลังการพองตัวไม่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 85-95 $^{\circ}\text{C}$ และแป้งฟลาวร์ที่ได้จากการสกัดน้ำมันแบบสกัดเย็นจะมีค่าการละลายที่สูงกว่าแป้งฟลาวร์ที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลายในช่วง 90-95 $^{\circ}\text{C}$ ($P \leq 0.05$)

Abstract

The objectives of this research were 1) to study the physic-chemical properties, sun protection capacity, Antioxidant activity and toxicity of rambutan seed kernel fat and 2) to study the physic-chemical, viscosity, functional properties of rambutan seed kernel flour.

The proportion of rambutan fruit variety Rongrean in this study was the fruit pulp 44.0%, peel 44.0% and seed 12% (wet weight). The rambutan seed fat yield using cold pressed extraction (28.01%) was less than that extracted by Soxhlet (46.74%) significantly ($P \leq 0.05$). Peroxide value of cold-pressed rambutan seed fat equaled 0.25 ± 0.05 meq peroxide / Kg oil, which was lower than the peroxide value of the soxhlet extraction fat (2.51 ± 0.52 meq. peroxide / Kg oil). Saponification number, unsaponifiable matter, iodine value and melting point of the cold-pressed rambutan seed fat were higher than the values of the fat from the soxhlet extraction with hexane. The refractive indexes of both fat samples were similar values. Considering the fatty acid composition of rambutan kernel fat, the main component of cold-pressed rambutan seed fat was triglycerides (52.9%), whereas soxhlet extraction fat composed of free fatty acid content up to 71.8%. Saturated fatty acid of cold-pressed rambutan seed fat was lower than that of soxhlet extraction fat. Fatty acid profile of rambutan kernel fat composed of saturated fatty acids (SFA), which were palmitic acid (C16: 0), stearic acid (C18: 0), and arachidic acid (C20: 0) Docosanoic acid (C22: 0) Tetracosanoic acid (C24: 0), unsaturated fatty acid (UFA), contained monounsaturated (MUFA) and polyunsaturated (PUFA). MUFA were palmitoleic acid (C16: 1), oleic acid (C18: 1 n-9t), eicosenoic acid (C20: 1), erucic acid. (C22: 1n-9) and PUFA were the omega-6 (n-6 PUFA) containing linoleic acid (C18: 2 n-6) and gamma linoleic acid (C18: 3 n-6).

Sun protection factor for UVB rays of rambutan seed fat by cold extracted showed the ability to block the sun better than Soxhlet fat. The oxidative stability of rambutan kernel fat after incubated at 50 °c for 56 hours was found that the PV and TBARS of fat extracted with hexane exhibited higher than cold pressed fat. Total phenolic content of cold pressed rambutan seed fat was greater than that of Soxhlet

fat significantly ($P \leq 0.05$) and the amount of phenolic in cold pressed rambutan seed fat was closed to the amount of phenolic of α -tocopherol, which is consistent with the ability to eliminate free radicals DPPH and chelating activity of both rambutan fat samples. Moreover, cold pressed seed fat had the ability to inhibit the proteinase higher than Soxhlet rambutan seed fat significantly ($P \leq 0.05$), consistent with the results of the skin irritation.

The flour obtained from rambutan seeds contained high amount of carbohydrate (58.73% dry weight, calculated from difference) and fat (30.08% dry weight). Cold pressed method had lower efficiency in oil removal than the solvent extraction method. After oil removal, the amylose content in defatted flour obtained from cold pressed method (13.52%) was higher than the one obtained from solvent extraction method (10.28%). The morphological characteristics of flour and defatted flour presented round or oval granules with 5-12 μm in diameter. Results from differential scanning calorimeter (DSC) showed that gelatinization temperature of flour was found in the range of 70.35-82.65 $^{\circ}\text{C}$ with enthalpy (ΔH) value between 4.11-9.06 J/g. After 7 days storage at 5-10 $^{\circ}\text{C}$, degree of retrogradation was not found in defatted flour, while the raw flour was at 205.03 %. Pasting properties of raw flour and defatted flour were compared using a Rapid Visco Analyser (RVA). The raw flour gave low viscosity profile. After oil removal, defatted flour gave higher viscosity profile. Defatted flour using cold pressed gave higher peak viscosity, holding strength, and final viscosity characteristics compared to defatted flour using solvent extraction, however breakdown and setback values were observed to be lower ($P \leq 0.05$).

Functional properties were determined in defatted flour obtained from two methods of oil extraction, there were no significant differences in water absorption index and oil absorption capacity ($P > 0.05$). Water solubility index and emulsion stability were higher in defatted flour from solvent extraction method, while water absorption capacity and emulsion capacity were lower ($P \leq 0.05$). The defatted flour from both methods had no significant difference in swelling power during heating at 85-95 $^{\circ}\text{C}$ but solubility was found to be higher in defatted flour from cold pressed method at 90-95 $^{\circ}\text{C}$ ($P \leq 0.05$).

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. ตรวจสอบเอกสาร	5
3. วิธีดำเนินการวิจัย	41
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	63
5. สรุปผลการวิจัย	96
เอกสารอ้างอิง	98

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	น้ำหนักและร้อยละของสัดส่วนของผลเงาะ	5
2.2	คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดเงาะ	6
2.3	องค์ประกอบของกรดอะมิโนในเมล็ดเงาะเปรียบเทียบกับ FAO reference protein	7
2.4	ผลจากการสกัดไขมันเมล็ดเงาะ (ร้อยละของน้ำหนัก)	8
2.5	ค่าซาฟอนนิฟิเคชันของน้ำมันพืชที่ใช้บริโภคบางชนิด	10
2.6	ค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชที่ใช้บริโภคบางชนิด	12
2.7	จุดหลอมเหลวและค่า Odor Threshold ของกรดไขมันชนิดต่างๆ	13
2.8	จุดหลอมเหลวของไตรเอซิลกลีเซอรอลบางชนิด	15
2.9	สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันบางชนิด	16
2.10	ปริมาณกรดไขมันที่พบในเมล็ดเงาะ	27
3.1	ค่า $EE (\lambda) \times I (\lambda)$	51
4.1	น้ำหนักและร้อยละของสัดส่วนของผลเงาะ	63
4.2	สมบัติทางเคมี-กายภาพของไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นและ Soxhlet	65
4.3	Free fatty acid profile ของไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นและ Soxhlet	70
4.4	Sun protection factor ของไขมันเงาะที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นและ Soxhlet	71
4.5	Antioxidant properties ของไขมันเงาะที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นและ Soxhlet	73
4.6	สมบัติด้านการอักเสบของไขมันเงาะที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นและ Soxhlet	73

ตารางที่	หน้า
4.7 สมบัติการก่อความระคายเคืองเบื้องต้นต่อผิวหนังของไขมันเงาะที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็น และ Soxhlet	74
4.8 องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมีกายภาพ และปริมาณผลผลิตที่ได้หลังการสกัด น้ำมัน ของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะแบบไม่สกัดน้ำมัน แบบสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น และแบบสกัดน้ำมันโดยการใช้ตัวทำละลาย	78
4.9 สมบัติทาง Thermodynamic ของแป้งดิบจากเมล็ดเงาะ แป้งฟลาวัวร์แบบสกัดน้ำมัน โดยการสกัดเย็น และแบบสกัดน้ำมันโดยการใช้ตัวทำละลาย ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter	84
4.10 สมบัติด้านความหนืดของแป้งดิบจากเมล็ดเงาะ แป้งฟลาวัวร์แบบสกัดน้ำมันโดยการ สกัดเย็น และแบบสกัดน้ำมันโดยการใช้ตัวทำละลาย ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)	89
4.11 สมบัติด้านหน้าที่ของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะที่ผ่านการสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น และแบบสกัดน้ำมันโดยการใช้ตัวทำละลาย	91
4.12 สมบัติด้านหน้าที่ของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะที่ผ่านการสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น และแบบสกัดน้ำมันโดยการใช้ตัวทำละลาย	94

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	4
2.1	กรดไขมันอิสระที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของเซลล์เมมเบรน	24
2.2	กรดไขมันที่มีหมู่ไฮดรอกซี (Hydroxy Fatty Acids)	26
2.3	กรดไขมันTuberculostearic Acid	26
2.4	การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)	37
2.5	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งชนิดต่างๆ ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA	38
3.1	เมล็ดเงาะ (ก) ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปและ (ข) ที่ลอกเปลือกออก	43
3.2	เครื่อง (ก) บีบไขมันแบบเย็น และ (ข) การไหลออกของไขมันเมล็ดเงาะ	44
3.3	ไขมันเมล็ดเงาะสกัดเย็น	44
3.4	เครื่อง rotary evaporator	45
3.5	ไขมันเมล็ดเงาะสกัดแบบ Soxhlet	45
3.6	Standard curve for calculate malonaldehyde content by use Malonaldehy bis (dimethyl acetal)	52
3.7	ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA	59
4.1	ปริมาณ triglyceride, diglyceride และ free fatty acid ของไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดด้วย (ก) วิธีบีบเย็นและ (ข) Soxhlet	66
4.2	ค่าการดูดกลืนแสงของไขมันจากเมล็ดเงาะที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นและ Soxhlet ที่ความยาวคลื่นช่วง 290 ถึง 320 nm	71
4.3	Oxidative stability ของไขมันจากเมล็ดเงาะที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นและ Soxhlet	72

รูปที่	หน้า
4.4 เนื้อในของเมล็ดงาหลังการกะเทาะเปลือกออก	77
4.5 แป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงา (1) แบบไม่สกัดน้ำมัน (แป้งดิบ) (2) แบบสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็นและ (3) แบบสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย	77
4.6 ลักษณะของเม็ดแป้งของแป้งดิบจากเมล็ดงาแบบไม่ผ่านการสกัดน้ำมัน และผ่านการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย (1) 100 เท่า (2) 500 เท่า (3)1500 เท่า และ (4)3000 เท่า	80
4.7 ลักษณะของเม็ดแป้งของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงาแบบผ่านการสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น และผ่านการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย (1) 100 เท่า (2) 500 เท่า (3)1500 เท่า และ (4)3000 เท่า	81
4.8 ลักษณะของเม็ดแป้งของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงาแบบผ่านการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย และผ่านการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย (1) 100 เท่า (2) 500 เท่า (3)1500 เท่า และ (4)3000 เท่า	82
4.9 Differential Scanning Calorimetry Thermograms ของการเกิดเจลลาที่โนเซชันในแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงา ดังนี้(1) แบบไม่สกัดน้ำมัน(แป้งดิบ)(2) แบบสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น(3) แบบสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย	85
4.10 Differential Scanning Calorimetry Thermograms ของการเกิดรีโทรกราเดชันในแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงา ดังนี้(1) แบบไม่สกัดน้ำมัน(แป้งดิบ)(2) แบบสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น(3) แบบสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย	86
4.11 ลักษณะ pasting curve แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืด ของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงา จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA (1) แบบสกัดเย็น (2) แบบสกัดด้วยตัวทำละลาย	89
4.12 กำลังการพองตัวของแป้งฟลาวัวร์สกัดเย็นและสกัดด้วยตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 80-95°C	95

รูปที่		หน้า
4.13	ค่าการละลายของแป้งฟลาวัวร์สกัดเย็นและสกัดด้วยตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 80-95°C	95

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

เงาะ (*Nephelium lappaceum* Linn.) เป็นไม้ผลเมืองร้อน นิยมปลูกในบริเวณภาคตะวันออกและภาคใต้ของไทย พันธุ์เงาะที่นิยมปลูกเป็นการค้า มีแค่ 3 พันธุ์ คือ พันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีทอง และพันธุ์สีชมพู ประเทศไทย มาเลเซีย และอินโดนีเซียเป็นผู้ผลิตและส่งออกเงาะรายใหญ่ของโลก สำหรับประเทศไทยมีการส่งออกเงาะและผลิตภัณฑ์เงาะในปี 2554 รวมเป็นมูลค่าถึง 234.03 ล้านบาท (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2556) เงาะสามารถรับประทานสดหรือนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้เช่น เงาะกระป๋อง ทั้งนี้การแปรรูปจะใช้เฉพาะส่วนเนื้อของเงาะเท่านั้น ส่วนที่เหลือเป็นของเสีย (waste) ของโรงงานคือเปลือกและเมล็ดของเงาะที่มีมากกว่าร้อยละ 60 ของน้ำหนักเงาะสด ประเทศไทยมีโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์เงาะอยู่เป็นจำนวนมาก จึงมีของเสียจากโรงงานแปรรูปเงาะจำนวนมาก ซึ่งของเสียดังกล่าวก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัด และเป็นแหล่งของสัตว์พาหะ ก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขลักษณะของโรงงาน ดังนั้นหากมีการนำส่วนนี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ หรือทำการวิจัยอย่างจริงจังเพื่อนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจะเป็นการแก้ปัญหาและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเงาะอีกทางหนึ่ง

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าเมล็ดเงาะมีองค์ประกอบทางเคมีคือความชื้น 34.4% ไขมัน 33.4% ลิกนิน 13.7% โปรตีน 7.8% เถ้า 1.22% และใยอาหาร 11.6% (Solis-Fuentes et al., 2010) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมล็ดเงาะมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบสูงนอกจากนี้ Harahap et al. (2012) รายงานว่าเมล็ดเงาะ (*Nephelium lappaceum* L.) มีปริมาณไขมันสูงเช่นกันโดยมีปริมาณสูงถึง 38.9% นอกจากนี้ยังมีปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรตและความชื้นเท่ากับ 12.4 48.1 และ 3.31% ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีปริมาณที่สูงด้วยเช่นกัน ดังนั้นปริมาณน้ำมันและแป้งจึงเป็นองค์ประกอบที่ควรพิจารณาในการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์

Solis-Fuentes et al (2010) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดเงาะในประเทศเม็กซิโกเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) สูงถึงร้อยละ 50.7 และเป็นกรดไขมันเชิงเดี่ยว (monounsaturated fatty acid) สูงถึงร้อยละ 48.1 โดยเป็นกรดโอเลอิกอยู่ 40.3% กรดอะราซิโดอิก 34.5% มีรายงานการนำไขมันจากเมล็ดเงาะมาทดแทนเนยโกโก้ (cocoa butter) ได้อีกด้วย (Isara et al., 2014) นอกจากนี้ยังพบว่าไขมันจากเมล็ดเงาะมีสารฟีนอลิกชนิดไม่มีขี้ผึ้ง ทำให้น้ำมันเมล็ดเงาะมีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Mei et al., 2014)

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2555) ได้ศึกษาเนื้อในของเมล็ดเงาะและแปรรูปเป็นแป้ง จากนั้นนำไปแปรรูปเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ โดยทีมวิจัย วิมลศรี และคณะ (2555) พบว่า ผงแป้งจากเมล็ดเงาะหลังสกัดไขมัน มีสีเหลืองอ่อนมีโปรตีนประมาณ 10-12% ความชื้นเฉลี่ย 3-5% ค่า water activity 0.2-0.3 ร้อยละการละลาย 30-35 ค่ากำลังการพองตัวเฉลี่ย 10-15 และเมื่อทดสอบตรวจสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันทางปากกับสัตว์ทดลองพบว่ามีความปลอดภัย เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดได้นำแป้งจากเมล็ดเงาะไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ “น้ำสลัดแป้งเงาะไขมัน” ต่ำ โดยใช้แป้งเงาะเป็นสารเพิ่มความข้นหนืด (Thickening agent) แทนไข่แดงและน้ำมันพืชซึ่งใช้ในสูตรปกติ และเมื่อแปรรูปเป็นน้ำสลัดเราซันต์ไอส์แลนด์สูตรแป้งเงาะ พบว่ากลุ่มตัวอย่าง 200 คน พึงพอใจน้ำสลัดสูตรนี้มากกว่าน้ำสลัดสูตรปกติถึงกว่า 63%

งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีแนวคิดในการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำน้ำมันและแป้งจากเงาะมาใช้ประโยชน์ โดยทำการศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพ การต้านออกซิเดชันและการป้องกันแสงแดดของน้ำมันจากเมล็ดเงาะ รวมทั้ง ดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ และสมบัติด้านความหนืดของแป้งที่ได้จากเมล็ดเงาะ ทำให้ทราบแนวทางในการนำน้ำมันและแป้งจากเมล็ดเงาะไปประยุกต์ใช้ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเงาะ นอกจากนี้ยังเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเงาะมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติ ถือเป็นการเพิ่มศักยภาพของพืชไทยและลดการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศอีกด้วย และเป็นการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของท้องถิ่น ทำให้ชุมชนมีความเข้มแข็งมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเมล็ดเงาะมาใช้ประโยชน์ด้วยการสกัดน้ำมันและแป้ง โดยแบ่งเป็นวัตถุประสงค์ย่อยตามการทดลองดังนี้

- 1) การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพ สมบัติการป้องกันแสงแดด สมบัติต้านออกซิเดชันสมบัติด้านการอึกเสบและความเป็นพิษของไขมันจากเมล็ดเงาะ
- 2) การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพ สมบัติด้านความหนืด และสมบัติด้านหน้าที่ของแป้งฟลาวาร์ที่ได้หลังการสกัดน้ำมันแล้ว

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

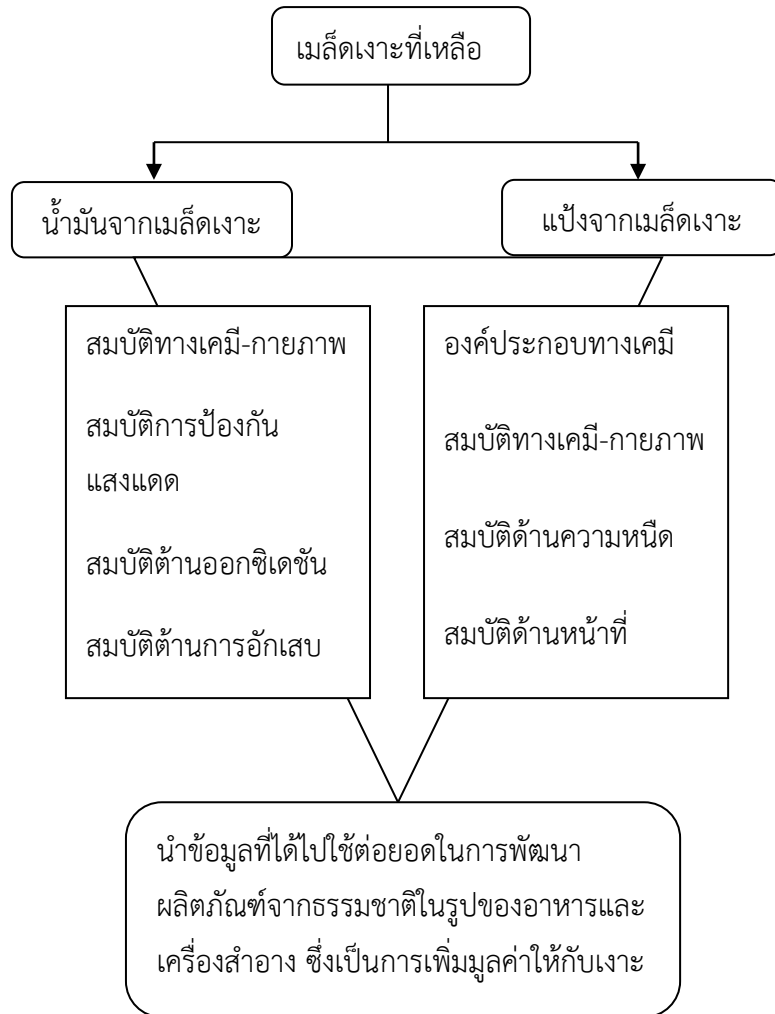
โครงการวิจัยนี้มีแนวคิดศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเมล็ดงามาใช้ประโยชน์ด้วยการสกัดน้ำมันและแป้ง โดยแบ่งงานเป็น 2 ตอน ดังนี้คือ

ตอนที่ 1 การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพ การต้านออกซิเดชันและการป้องกันแสงแดดของน้ำมันจากเมล็ดงาเนื่องจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องทราบสมบัติพื้นฐานของตัวอย่าง ก่อนที่จะนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม โดยศึกษาความเป็นไปได้ของไขมันจากงาที่จะนำไปพัฒนาต่อเป็นผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอาง

ตอนที่ 2 การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพ สมบัติด้านความหนืด และสมบัติด้านหน้าที่ของแป้งที่ได้หลังการสกัดน้ำมันแล้ว ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีค่าสี ค่า pH ปริมาณอะไมโลส สมบัติด้านความหนืด และสมบัติด้านหน้าที่ เนื่องจากแป้งจากเมล็ดพืชแต่ละชนิด มีความแตกต่างกันทั้งด้านคุณค่าทางโภชนาการ สมบัติทางเคมี-กายภาพ ความหนืด และสมบัติทางหน้าที่ จึงต้องมีการศึกษาสมบัติต่างๆ ของแป้งพลาร์จากเมล็ดงาก่อนการนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสม

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

เนื่องจากปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ ทั้งในรูปอาหารสุขภาพและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร รวมทั้งเครื่องสำอาง มีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด ดังนั้นเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับการเติบโตของธุรกิจอาหาร รวมทั้งเป็นการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ เพิ่มมูลค่าให้แก่สินค้าเกษตร โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ กลุ่มผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันและแป้งพลาร์จากเมล็ดงามาใช้ประโยชน์ โดยการศึกษาข้อมูลพื้นฐานในด้านสมบัติทางเคมี กายภาพ สมบัติด้านความหนืด และสมบัติด้านหน้าที่ ดังนั้นกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 เมล็ดเงาะ

เงาะมีถิ่นกำเนิดในคาบสมุทรมลายูทางเขตที่ราบตะวันตก จากนั้นจึงแพร่ขยายไปในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศเขตร้อนอื่นๆ เช่น ศรีลังกา และไปไกลถึงเกาะซานชิบาร์ ทวีปแอฟริกา ชาวมลายูเรียกผลไม้ชนิดนี้ว่า “Rambut” ซึ่งหมายถึง “ผมหรือขน” ต่อมามีการเรียกเพี้ยนไปเป็น “Rambutan”

ลักษณะของเมล็ดเงาะ มีลักษณะแตกต่างกันตามช่วงระยะเวลาในการเจริญเติบโต โดยช่วง 2 สัปดาห์แรกของการเจริญเติบโตเมล็ดเงาะจะมีลักษณะเป็นสีขาว บาง นุ่ม และมีความยืดหยุ่น จากนั้นในช่วง 6 สัปดาห์เมล็ดเงาะจะเริ่มมีขนาดใหญ่และแข็งขึ้น น้ำหนักของเมล็ดเงาะจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง สัปดาห์ที่ 7 - 13 ขณะที่ความยาวของเมล็ดเงาะจะเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 9 เปลือกหุ้มเมล็ดเงาะจะมีการพัฒนาเป็นชั้นสีขาวบางและกลายเป็นชั้นสีน้ำตาลซึ่งแยกอิสระจากส่วนเนื้อภายในสัปดาห์ที่ 14 เมล็ดเงาะที่สมบูรณ์และอยู่ในผลเงาะที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่จะมีลักษณะเป็นวงรีหรือรูปไข่แบน มีความยาวและความหนาประมาณ 20 - 35 และ 12 - 22 มิลลิเมตร ตามลำดับ (วรรณรดา ศิริสมพงษ์, 2553) Issara et al (2014) ได้รายงานส่วนประกอบของผลเงาะไว้ดังตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 น้ำหนักและร้อยละของสัดส่วนของผลเงาะ

สัดส่วนของผลเงาะ	น้ำหนัก (กรัม)	ร้อยละ
ทั้งผลเงาะ	27.4	100
เปลือกผล	13.2	45.7
ส่วนเนื้อผล	11.7	44.8
เมล็ด	2.53	9.5
embryo	1.60	6.1

ที่มา Issara et al (2014)

ส่วนที่รับประทานได้ในผลเงาะคิดเป็นสัดส่วนเพียง 44.8% ส่วนที่เหลือทั้งได้แก่ เปลือกผล เมล็ด และ embryo มีศักยภาพนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยเมล็ดมีสัดส่วนประมาณ 9.5%

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดเงาะใน Porto Rico (ตารางที่ 2.2) ซึ่งเมล็ดเงาะในแต่ละพื้นที่จะมีคุณค่าทางโภชนาการที่ต่างกันขึ้นกับ ดิน ภูมิอากาศ ปุ๋ย ปริมาณน้ำ ความชื้น ปริมาณแสงแดด (Morgan, 1987) Augustin and Chua (1988) ได้รายงานว่าเมล็ดเงาะมีความชื้น 34.1-34.6% ปริมาณเถ้า 2.6-2.9% ปริมาณโปรตีน 11.9-14.1% ปริมาณไขมัน 37.1-38.9% ปริมาณเส้นใย 2.8-6.6% ยังมีรายงานอีกว่าเมล็ดเงาะมีกรดอะมิโนที่จำเป็นอยู่ ซึ่งปริมาณโปรตีนในเมล็ดเงาะสูงกว่าเมล็ดข้าวโพด(10.1%) เนื้อในเมล็ดปาล์ม (8.3%) และเมล็ดมะม่วง (6.1%)

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดเงาะ

Composition	Quantity
Calcium	9.58 mg/100 g
Iron	0.34 mg/100 g
Magnesium	12.3 mg/100 g
Manganese	1.06 mg/100 g
Potassium	84.1 mg/100 g
Sodium	20.8 mg/100 g
Zinc	0.17 mg/100 g
Phosphorus	16.6 mg/100 g
pH	4.66
Vitamin A	< 40 IU/100 g
Vitamin C	59.4 mg/100 g
SUGAR PROFILE	
Fructose	2.9 %
Glucose	2.9 %
Sucrose	11.4 %
Maltose	< 0.1 %
Lactose	< 0.1%
TOTAL SUGARS	17.2 %
Riboflavin	0.050 mg/100 g
Thiamin	< 0.010 mg/100 g
Fiber	0.05%

ที่มา Morgan (1987)

เมล็ดเงาะมีปริมาณโปแตสเซียมสูง และมีวิตามินซี รวมทั้งวิตามินบี น้ำตาลอีกด้วย นอกจากนี้มีรายงานองค์ประกอบของกรดอะมิโนในเมล็ดเงาะดังตารางที่ 2.3 ดังนั้นเมล็ดเงาะจึงมีศักยภาพนำมาเป็นแหล่งคุณค่าทางอาหาร

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของกรดอะมิโนในเมล็ดเงาะเปรียบเทียบกับ FAO reference protein

Amino acid	Rambutan seed (% recoveries)	FAO references protein
<i>Essential</i>		
Isoleucine	3.29-3.34	4.2
Leucine	5.48-5.78	4.8
Lysine	5.07-7.13	4.2
Methionine	1.35-1.63	2.2
Phenylalanine	2.49-3.32	2.8
Tryptophan	b	1.4
Valine	4.21-5.11	4.2
Histidine	1.29-1.68	-
<i>Non-essential</i>		
Alanine	4.65-4.83	
Arginine	4.63-5.75	
Aspartic acid	7.24-9.80	
Cysteine	1.45-1.82	
Glumatic acid	10.85-14.95	
Glycine	8.51-9.92	
Proline	1.96-2.93	
Serine	4.44-5.56	
Threonine	3.59-5.41	
Tyrosine	2.58-3.29	

ที่มา Augustin and Chua (1988)

2.2 ไขมันของเมล็ดเงาะ

ไขมันเมล็ดเงาะมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวขุ่นที่อุณหภูมิห้อง เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 40 - 42 องศาเซลเซียส จะหลอมเหลวเป็นน้ำมันสีเหลือง มีกลิ่นหอม และมีรายงานการวิจัย พบว่า เมล็ดเงาะมีส่วนประกอบทางเคมี คือ ค่าสaponification Value เท่ากับ 193 ค่าไอโอดีน Iodine Number เท่ากับ 43.8 จุดหลอมเหลว เท่ากับ 40 - 42 องศาเซลเซียส และค่ากรดไขมัน Acid Value เท่ากับ 4.8 และผลจากการทดลองจากการสกัดวิธีสกัดแบบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.4 (วรรณรดา ศิริสมพงษ์, 2553; Augustin and Chua ,1988; นัฐวี ตรีณานนท์, 2551)

ตารางที่ 2.4 ผลจากการสกัดไขมันเมล็ดเงาะ (ร้อยละของน้ำหนัก)

ชนิดการสกัด	ปริมาณของไขมัน
Screw Press	18.80
Hexane	30.33
Petroleum Ether	39.85

เมล็ดเงาะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิต Rambutan Tallow ซึ่งเป็นไขมันที่มีลักษณะเป็นของแข็งคล้ายเนยโกโก้ Cocoa Butter ไขมันนี้สามารถรับประทานได้และยังสามารถนำไปใช้ในการทำสบู่หรือเทียนไขได้อีกด้วย (วรรณรดา ศิริสมพงษ์, 2553)

2.2.1 คุณภาพและสมบัติของไขมันเมล็ดเงาะ

ไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดมีองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลแตกต่างกัน ทำให้มีสมบัติทางเคมีและการเกิดปฏิกิริยากับสารต่างๆ แตกต่างกัน

2.2.1.1 สี

ค่าสี ของไขมันเมล็ดเงาะ วัดในรูป $L^* a^* b^*$ Chromo และ Hue โดย ค่า L^* คือ ค่าของความสว่าง ถ้าค่ายิ่งสูงความสว่างยิ่งมาก a^* คือ ค่าของสีแดง (+) จนถึงสีเขียว (-) และ b^* คือ ค่าของสีเหลือง (+) จนถึงสีน้ำเงิน (-) วิธีคำนวณหาค่า Chroma (C^o) แสดงถึงค่าความเข้ม โดยคำนวณจาก $C^o = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ และหาค่า Hue (h^o) คำนวณจาก $h^o = \tan^{-1} (b^* / a^*)$ สีเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของไขมันหรือน้ำมัน แต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดไขมันหรือน้ำมัน และวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสีน้ำมันที่มีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

Lourith et al (2016) รายงานค่าสีที่วัดด้วย Munsell book มีค่า Chroma = 4

Hue = 2.5Y

2.2.1.2 Peroxide value

ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นการวัดค่าการหืนของไขมัน เป็นค่าที่ใช้การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา Lipid oxidation ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน (rancidity) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันและไขมันรวมทั้งอาหารที่มีไขมันสูง

Peroxide value คือ ปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมันและไขมัน หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.002 นอร์มัล ที่ใช้ในการไทเทรต ไขมัน หรือน้ำมัน 1 กรัม หรือหมายถึง จำนวนมิลลิกรัมสมมูลของเปอร์ออกไซด์ออกซิเจน ที่มีในไขมัน หรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม ถ้าค่า peroxide value สูง แสดงว่าไขมัน หรือน้ำมันเกิด lipid oxidation มาก มีกลิ่นหืนมาก เกิดปฏิกิริยา oxidative rancidity มาก

การหืนเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมัน ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติและสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพเปลี่ยนไป การหืนเกิดขึ้นได้ 3 แบบ ดังนี้ (1) ลิโพลิซิสเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อพันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรเอซิล-กลีเซอรอลเกิดการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ไลเปส ความร้อน กรด ต่าง หรือปฏิกิริยาทางเคมีใดๆ ก็ตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ลิโพลิซิส หรือ Lipolytic Rancidity หรือ Hydrolytic Rancidity (นิธิยา รัตนาปนนท์,2548) Hydrolytic Rancidity เป็นการหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสไขมันและน้ำมันด้วยเอนไซม์ไลเปสและความชื้น สาเหตุเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้น และจุลินทรีย์หลั่งเอนไซม์ไลเปสออกมา ทำให้ไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันและน้ำมันเกิดการสลายตัวได้เป็นไดเอซิลกลีเซอรอล โมโนเอซิลกลีเซอรอล กลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ โดยเฉพาะกรดไขมันอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีจำนวนคาร์บอน 4 - 12 อะตอม จะมีกลิ่นหืนมาก เช่น การหืนของน้ำมันมะพร้าว เนย และน้ำมันหมู เป็นต้น เมื่อเกิดการหืนจะทำให้ไขมันและน้ำมันมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป (2) Oxidative Rancidity เป็นการหืนที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน Autoxidation ที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเดชันในอากาศ เกิดพันธะเปอร์ออกไซด์ Peroxide Linkage ขึ้นที่หมู่ α -methylene (-CH=CH-) ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลา เมื่อไขมันและน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ การหืนด้วยปฏิกิริยานี้ยังเกิดขึ้นกับอาหารที่มีไขมันและน้ำมันผสมอยู่ด้วย โดยเฉพาะในไขมันและน้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารจะเกิดขึ้นมากที่สุด การมีโลหะ เช่น ทองแดงและตะกั่วจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้น นอกจากนั้นความร้อนและแสงก็มีผลช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นิธิยา รัตนาปนนท์,2548) (3) Ketonic Rancidity เป็นการเกิดปฏิกิริยา Enzymatic Oxidation ที่โมเลกุลของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว ได้เป็นสารประกอบจำพวกคีโตน ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย (นิธิยา รัตนาปนนท์,2548)

Lourith et al (2016) รายงานค่า PV จากเมล็ดงาที่สกัดด้วยเฮกเซน 1 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 1.00 ± 0.00 g /gfat

2.2.1.3 Saponification value

ไขมันหรือน้ำมันบางชนิดจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วย กรด ต่าง และเอนไซม์ การไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมันด้วยด่าง เรียกว่า Saponification ซึ่งจะได้เกลือของกรดไขมันที่เรียกว่า สบู่ ไขมันหรือน้ำมันที่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง เรียกว่า Saponifiable Mater เช่น ไตรเอซิลกลีเซอรอลฟอสโฟลิพิดและแว็กซ์ ส่วนไขมันหรือน้ำมันที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง เรียกว่า Unsaponifiable Matter หรือ Non-Saponifiable Mater เช่น ไฮโดรคาร์บอน และสเตอรอล

ค่าซาฟอนนิฟิเคชัน (Saponification number หรือ saponification value, S.V.) คือ จำนวนมิลลิกรัมของด่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ในไขมัน หรือน้ำมัน (เรียกว่า ปฏิกิริยา saponification) อย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่ ซึ่งเป็นเกลือของกรดไขมัน (fatty acid) 3 โมเลกุลและกลีเซอรอล

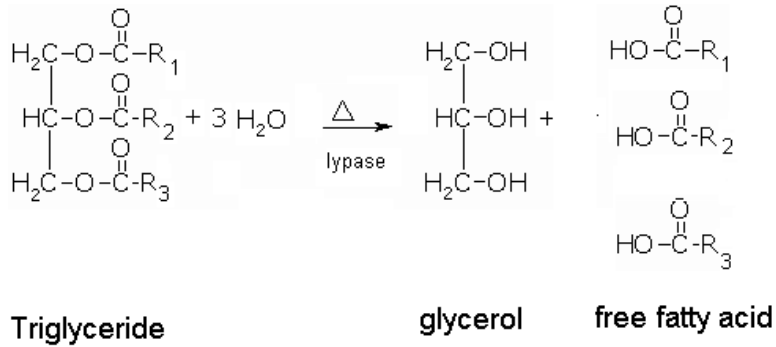
ค่าซาฟอนนิฟิเคชัน (saponification number) ใช้เป็นค่าที่ใช้ขนาดโมเลกุล หรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ หากน้ำมันที่มีค่าซาฟอนนิฟิเคชันสูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมาก จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก ดังนั้น จึงต้องใช้ด่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซ์ ทำนองเดียวกันถ้าค่าซาฟอนนิฟิเคชันต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลมาก จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย ทำให้ใช้ด่างน้อยในการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ 2.5 ค่าซาฟอนนิฟิเคชันของน้ำมันพืชที่ใช้บริโภคบางชนิด

ชนิดของน้ำมัน/ไขมัน	ค่าซาฟอนนิฟิเคชัน	References
น้ำมันมะพร้าว (coconut oil)	248-285	Tupufia et al (2013)
น้ำมันปาล์ม (palm oil)	190-209	Ali and Tay (2013)
น้ำมันข้าวโพด	191	Dost and Ideli (2012)
น้ำมันมะกอก	190	Dost and Ideli (2012)
น้ำมันถั่วเหลือง	190	Dost and Ideli (2012)
น้ำมันเมล็ดเงาะ	182.10 ± 0.16	Lourith et al (2016)

2.2.1.4 Acid value

ไขมันและน้ำมันมีไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) เป็นส่วนประกอบหลัก หากถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) โดยมีเอนไซม์ไลเปส (lipase) และความชื้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้ผลิตภัณฑ์ คือ กลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ ซึ่งทำให้น้ำมันและไขมันมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรด (acid value) จึงเป็นค่าที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำมันและไขมันได้



ค่าความเป็นกรดของไขมันหรือน้ำมัน คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ซึ่งค่าที่ได้สามารถนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระได้ตัวอย่างเช่น ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 57 (พ.ศ.2524) เรื่อง น้ำมันมะพร้าว กำหนดให้น้ำมันมะพร้าวที่ผลิตด้วยวิธีธรรมชาติมีค่าของกรด (acid value) ไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม และน้ำมันมะพร้าวที่ผลิตโดยวิธีผ่านกรรมวิธี มีค่าของกรดไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม

ค่า acid value เป็นค่าที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันและไขมัน สำหรับทอด (frying oil) ระหว่างการทอด (frying) และคุณภาพของอาหารที่มีปริมาณไขมันสูง ได้แก่ อาหารทอด เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูประหว่างการเก็บรักษาหากค่าความเป็นกรดสูง แสดงว่าน้ำมันเสื่อมคุณภาพ มีจุดเกิดควัน (smoke point) ต่ำลง และเป็นสาเหตุเริ่มต้นของการเกิดกลิ่นหืน (rancidity) นอกจากนี้ยังมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน (lipid oxidation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งทำให้เกิดการหืนอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว

Lourith et al (2016) รายงานค่า acid value ในน้ำมันเมล็ดเงาะ มีค่า $4.35 \pm 0.06 \text{ mg KOH/gfat}$

2.2.1.5 Iodine value

ค่าไอโอดีน Iodine value (I.V.) หรือ (Iodine number (I.N.) คือ จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาแฮโลจีเนชัน (halogenation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันจำนวน 100 กรัม

ตารางที่ 2.6 ค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชที่ใช้บริโภคบางชนิด

Fat/oil	Iodine Value	References
Olive oil	82.5	Martínez-Yusta and Guillén (2014)
Sunflower seed oil	132.7	Ajayi et al (2006)
Rambutan kernel oil	44.17 ± 0.30	Lourith et al (2016)

ค่าไอโอดีนเป็นตัวบ่งชี้ว่าไขมันหรือน้ำมัน มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้ามีค่า I.N. สูงแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบมาก และจะเกิดการหืน (rancidity) แบบ lipid oxidation ได้ง่ายการที่ไอโอดีนสามารถทำปฏิกิริยากับไขมันได้ก็เพราะในไขมันนั้นมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่จับคาร์บอนอะตอมอยู่ด้วย ดังนั้นถ้าไขมันมีค่าไอโอดีนน้อย เช่น น้ำมันมะพร้าว จะมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 6.2–10 แสดงว่าน้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่น้อย ส่วนค่าไอโอดีนของน้ำมันถั่วเหลืองจะค่อนข้างสูง เท่ากับ 122–134 แสดงว่ามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในน้ำมันถั่วเหลืองสูงมาก ค่าไอโอดีนเป็นค่าที่บอกความอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวของกรดไขมันโดยตรง ดังนั้นในกระบวนการไฮโดรจีเนชันซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัว เป็นกรดไขมันอิ่มตัว จึงสามารถใช้ค่าไอโอดีนเป็นมาตรการในการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการได้

2.2.1.6 Unsaturation matter

เป็นกลุ่มของสารที่จัดเป็นลิพิด มีสมบัติไม่ถูกซาฟอนิไฟด์ด้วยด่าง จึงเหลืออยู่ภายหลังการทำซาฟอนิฟิเคชันไขมันหรือน้ำมัน (ซึ่งจะได้เป็นกลีเซอรอลและสบู่) สารกลุ่มนี้ ได้แก่ สเตอรอลและไฮโดรคาร์บอน

Lourith et al (2016) รายงาน Unsaturation matter ในน้ำมันเมล็ดเงาะ มีค่า $0.10 \pm 0.00\%$

2.2.1.7 Melting point

จุดหลอมเหลวของไขมันเป็นอุณหภูมิที่ทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวทั้งหมด ไขมันส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงอุณหภูมิ อาจเป็นช่วงกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับชนิดของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นส่วนประกอบของไขมัน เช่น ไขมันที่ประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิดเดียวกันทั้งหมดจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน จุดหลอมเหลวของไขมันและน้ำมันจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุล จุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดต่างๆ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 จุดหลอมเหลวและค่า Odor Threshold ของกรดไขมันชนิดต่างๆ

ชนิดของกรดไขมัน	เขียนย่อ	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	ค่า odor threshold (ppm)
กรดไขมันชนิดอิ่มตัว			
กรดบิวทีริก	4 : 0	-7.9	0.5 – 10.0
กรดคาโปรอิก	6 : 0	-3.4	3.0
กรดคาไพโรลิก	8 : 0	16.7	3.0
กรดคาพริก	10 : 0	31.3 – 31.6	10.0
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว			
กรดปาล์มมีโตเลอิก	16 : 1	0 – 0.5	-
กรดโอเลอิก	18 : 1	10.5 – 16.0	-
กรดลิโนเลอิก	18 : 2	-5.0	-
แอลฟา-กรดลิโนเลนิก	18 : 3	-11.0	-
แกมมา-กรดลิโนเลนิก	18 : 3	-	-

ที่มา : Coultate (1999)

กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลน้อยกว่า 10 อะตอม จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เมื่อมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะเป็นของแข็งมากขึ้น ดังนั้นจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะลดลงเมื่อมี

จำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น จุดหลอมเหลวของไตรเอซิล-กลีเซอรอลบางชนิด แสดงดังตารางที่ 2.8 จะเห็นได้ว่า ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีกรดไขมันชนิดเดียวกันเป็นองค์ประกอบ แต่มีการเรียงตัวในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ก็มีผลทำให้จุดหลอมเหลวแตกต่างกัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

ตารางที่ 2.8 จุดหลอมเหลวของไตรเอซิลกลีเซอรอลบางชนิด

ไตรเอซิลกลีเซอรอล	จุดหลอมเหลว(องศาเซลเซียส)
Trisaturated	
ไตรสเตียรีน (S-S-S)	73
ไตรปาล์มิติน (P-P-P)	66
สเตียโรไดปาล์มิติน (S-P-P)	62
Disaturated	
ปาล์มิตโอเลโอปาล์มิติน (P-O-P)	37
ปาล์มิตโอเลโอสเตียรีน (P-O-S)	37
โอเลโอไดปาล์มิติน (O-P-P)	34
สเตียโรโอเลโอปาล์มิติน (S-O-P)	43
สเตียโรโอเลโอสเตียรีน (S-O-S)	43
สเตียโรปาล์มิตโอเลอิน (S-P-O)	39
ปาล์มิตสเตียโรโอเลอิน (P-S-O)	36
Diunsaturated	
ไดโอเลโอปาล์มิติน (O-O-P)	5
ไดโอเลโอสเตียรีน (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 : Stauffer (1996).

การนำเอาไขมันหรือกรดไขมันมาทำให้ร้อนโดยการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ ไขมันจะค่อยๆ หลอมตัวกลายเป็นของเหลว เมื่อทำให้เย็นลงจะกลับเป็นของแข็งตามเดิม และถ้าทำให้หลอมเหลวใหม่อีกครั้งหนึ่ง อุณหภูมิที่ทำให้หลอมเหลวจะสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ถ้าทำให้ไขมันเย็นลงอย่างรวดเร็วแล้วนำไป

หุลอมเหลวใหม่ ไชมันจะหุลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าครั้งแรก จุดหุลอมเหลวของไชมันและน้ำมันชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.6 กรดไชมันที่มีน้ำหนักรวมเลกูลต่ำเมื่อทำให้ร้อนและมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะระเหยได้และให้กลิ่น ซึ่งค่า Odor Threshold ของกรดไชมันแต่ละชนิดที่ระเหยได้แสดงดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 สมบัติทางกายภาพของไชมันและน้ำมันบางชนิด

	จุดหุลอมเหลว	Titer	ความถ่วง	การหักเห	References
ไชมันและน้ำมัน	(องศาเซลเซียส)	(องศาเซลเซียส)	จำเพาะที่ 25 องศาเซลเซียส	ของแสงที่ 25 องศาเซลเซียส	
น้ำมันมะพร้าว	23 - 26	20 - 24	0.917 - 0.919	1.448 - 1.450	Pike (1994)
น้ำมันข้าวโพด	- 10 ถึง - 12	14 - 20	0.922 - 0.926	1.465 - 1.468	Pike (1994)
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	- 2 ถึง 2	31 - 37	0.916 - 0.918	1.458 - 1.466	Pike (1994)
น้ำมันมะกอก	- 3 ถึง 0	17 - 26	0.909 - 0.915	1.466 - 1.468	Pike (1994)
น้ำมันปาล์ม	33 - 40	40 - 47	0.921 - 0.925	1.499 - 1.455	Pike (1994)
น้ำมันถั่วลิสง	- 2	20 - 35	0.917 - 0.921	1.460 - 1.465	Pike (1994)
น้ำมันงา	- 4 ถึง - 0	20 - 25	0.920 - 0.926	1.470 - 1.474	Pike (1994)
น้ำมันถั่วเหลือง	- 20 ถึง - 23	20 - 21	0.924 - 0.928	1.466 - 1.470	Pike (1994)
น้ำมันเมล็ดเงาะ	46.05 ± 0.05	-	-	-	Lourith et al (2016)

2.2.1.8 Antioxidant activity

สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) หรืออาจเรียกว่า สารต้านอนุมูลอิสระ คือสารที่สามารถยับยั้ง หรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) เช่น การเกิดออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) สารต้านออกซิเดชัน สามารถแบ่งตามกลไกการยับยั้งได้เป็น 3 ชนิด คือ

สิ้นสุดลง

- 1) Preventive antioxidant ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ
- 2) Scavenging antioxidant ทำลายหรือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น
- 3) Chain breaking antioxidant ทำให้ลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระ

สารต้านออกซิเดชันธรรมชาติ ได้แก่ สารเคมีจากพืช เช่น

- 1) phenolic compounds ได้แก่ polyphenol ในเครื่องเทศ (spices) สารสกัดจากเมล็ดองุ่น ชา ขมิ้น
- 2) แอสตาแซนทิน (astaxanthin)
- 3) ยูจีนอล (eugenol) ในกานพลู
- 4) วิตามินซี (vitamin C)
- 5) วิตามินอี (vitamin E)
- 6) แอนโทไซยานิน (anthocyanin)

Antioxidant activity จึงเป็นการวัดศักยภาพของตัวอย่างเพื่อประเมินศักยภาพการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ ในแต่ละประเภทจะมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีมีความจำเพาะแตกต่างกัน โดยปกติมักใช้หลายวิธีร่วมกันในการตรวจสอบและสรุปผล

- 1) วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพ

- a. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารโพลีฟีนอลชนิดต่าง ๆ โดยการทำให้เกิดสี (colorimetric assay) เป็นวิธีการนำสารเคมีชนิดต่าง ๆ มาทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง และดูสีที่เกิดขึ้นหลังจากการเกิดปฏิกิริยา ตัวอย่างของวิธีนี้ได้แก่ (1) วิธี Shinoda test เป็นการทดสอบปฏิกิริยากับไซยานิดินส์ (cyanidins reaction) โดยการทำให้ปฏิกิริยาของสารตัวอย่างกับผงแมกนีเซียมหรือวงแหวนแมกนีเซียม (magnesium ribbon) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น และออกทิลแอลกอฮอล์ (octyl alcohol) ซึ่งจะเกิดการแยกชั้น ถ้าเกิดสีแดงแสดงว่ามีสารจำพวกฟลาโวนอล (flavonol) ฟลาวาโนน (flavanone) ฟลาวาโนนอล (flavanonol) หรือแซนโทน (xanthone) หรือถ้าเกิดสีแดงแสดงว่ามีสารจำพวกฟลาโวน (flavones) ชาลโคน (chalcone) หรือ ออโรน (ourone) (2) วิธี Pew test หรือการทดสอบ

ของฟิวเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างสารตัวอย่างกับผงสังกะสี (zinc dust) และกรดไฮโดรคลอริก ถ้าเกิดสีแดงเข้มภายใน 2-5 นาทีแสดงว่ามีสารฟลาโวนอนอล (flavanonol) และฟลาโวนอล-3-ไกลโคไซด์(flavonol-3-glycoside) แต่ถ้าเป็นสีจาง ๆ แสดงว่ามีสารฟลาโวนอน (flavanone) และฟลาโวนอล (flavonol)วิธีการทั้งสองมีข้อดีคือ ทำได้หลายตัวอย่างพร้อมกัน ขั้นตอนไม่ยุ่งยากไม่ซับซ้อนและใช้ต้นทุนต่ำในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง แต่มีข้อเสียคือ มีความไว (sensitivity) และความแม่นยำ(precision) ต่ำ และเหมาะสมสำหรับวิเคราะห์สารตัวอย่างที่บริสุทธิ์เพราะสารหลาย ๆ ชนิดอยู่ด้วยกัน

b. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารโพลีฟีนอลด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบชั้นบาง (thin layer chromatography, TLC) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารและวิเคราะห์สารโพลีฟีนอลในเชิงคุณภาพ (qualitative analysis) โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของสารด้วยตัวทำละลายหรือตัวพา (mobile phase) กับการถูกดูดซับโดยตัวดูดซับ (adsorbent หรือ stationary phase) ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่ของสารตัวอย่างบนตัวดูดซับขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของสารตัวอย่างกับตัวทำละลาย และความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีต่อสารตัวอย่างในแต่ละชนิด สารตัวอย่างที่แตกต่างกันจะถูกละลายและถูกดูดซับได้ไม่เท่ากัน โดยสารที่ละลายในตัวทำละลายได้ดีและถูกดูดซับน้อยจะเคลื่อนที่เร็ว ค่า R_f เข้าใกล้ 1.0 ($R_f = \text{ระยะทางที่สารตัวอย่างเคลื่อนที่} / \text{ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่}$) ส่วนสารที่ละลายในตัวทำละลายได้น้อยและถูกดูดซับได้ดีจะเคลื่อนที่ช้าค่า R_f จะเข้าใกล้ 0 ซึ่งตัวดูดซับที่นิยมใช้คือ ซิลิกาเจลและตัวทำละลายหรือตัวพาที่นำมาใช้ในการแยกสารมีหลายชนิด ทั้งนี้อาจมีการใช้ตัวทำละลายเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดผสมกันเพื่อให้เกิดการแยกที่ดีที่สุด ตัวอย่างของตัวทำละลาย เช่น น้ำ เอทานอล เมทานอล เอทิลอะซิเตต กรดฟอร์มิก คลอโรฟอร์ม สารตัวอย่างบางชนิดสามารถแยกโดยใช้ TLC แล้วสามารถมองเห็นสีได้ด้วยตาเปล่าได้แก่ แอนโทไซยานิน (anthocyanin) ชาลโคน (chalcone) และออโรน (ourone) แต่บางชนิดต้องนำแผ่น TLC ไปทำปฏิกิริยาต่อกับไอของแอมโมเนีย หรือส่องด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) หรือนิตพันด้วยสารต่าง ๆ เช่น สารละลายฟอสฟอรัส สารละลายวานิลลินในกรดซัลฟูริก สารละลายวานิลลินในกรดไฮโดรคลอริก สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต สารละลายกิบบส์ (Gibbs reagent) และสารละลาย DPPH ข้อดีของวิธีนี้คือใช้สารตัวอย่างในปริมาณน้อย วิเคราะห์สารหลายชนิดได้พร้อมกัน ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น ขั้นตอนไม่ยุ่งยากซับซ้อน ใช้ต้นทุนต่ำในการวิเคราะห์ตัวอย่างสามารถแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ในสารตัวอย่างได้ทั้งที่มีสีและไม่มีสีแต่มีข้อเสียคือ มีความไวและความแม่นยำต่ำ และในกรณีที่ยังมีองค์ประกอบต่าง ๆ ในตัวอย่างมีค่า R_f ใกล้เคียงกันมาก จะไม่สามารถแยกองค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้ออกจากกันได้หรือแยกได้แต่ไม่บริสุทธิ์

c. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ โดยใช้เครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC) ใช้หลักการคล้ายกับเทคนิคของ TLC โดยเครื่อง HPLC มีส่วนของปั๊มมาช่วยให้วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณตัวทำละลายหรือเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) และตัวดูดซับหรือเฟสอยู่กับที่ (stationary phase) บรรจุเป็นทรงกลมเล็ก ๆ หรือเรียกว่า คอลัมน์ (column) โดยสารตัวอย่างแต่ละชนิดจะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์หรือ stationary phase ได้แตกต่าง

กัน คอลัมน์ต่างชนิดกันแยกสารได้แตกต่างกัน ซึ่งสารที่ถูกดูดซับได้น้อยจะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ออกมาก่อน ส่วนสารที่ถูกดูดซับได้ดีจะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ออกมาทีหลังองค์ประกอบอีกส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนตรวจวัดสัญญาณ (detector) มีหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณของสารตัวอย่างที่แยกออกมาแต่ละชนิด ซึ่งสัญญาณที่ตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นพีค (peak) เรียกว่าโครมาโตแกรม (chromatogram) โดยส่วนตรวจวัดสัญญาณสามารถตรวจวัดด้วย UV, fluorescence, IR เป็นต้นซึ่งแต่ละชนิดจะมีความจำเพาะเจาะจงกับสารแตกต่างกัน การแยกสารด้านอนุมูลอิสระโดยใช้เครื่อง HPLCสามารถตรวจหาสารได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณในเวลาเดียวกัน อีกทั้งสามารถหาสารหลายชนิดไปพร้อม ๆ กัน ทั้งนี้ต้องมีสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบ โดยสารชนิดเดียวกันจะมีพีคออกมาในระยะเวลา (retention time) เดียวกันเสมอข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์สารหลายชนิดได้พร้อมกัน และวิเคราะห์สารได้ในปริมาณต่ำ ๆ แต่มีข้อเสียคือ มีค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากเครื่อง HPLC มีราคาค่อนข้างแพง และ mobile phase ต้องใช้ประเภท HPLC grade

2) วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างประเภทต่าง ๆ วิธีที่นิยมได้แก่การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH•) วิธีการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS•+) และการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP assay) ซึ่งวิธีการดังกล่าวข้างต้นจะมีการสร้างอนุมูลอิสระที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนและวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งหรือกำจัดอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างที่สนใจ โดยวัดปริมาณอนุมูลอิสระที่ลดลงหรือที่เหลือจากการดูดกลืนแสง สารอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ เช่น ABTS•+ และ DPPH• การคำนวณหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระหาได้จากอัตราส่วนของการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน (เช่น trolox, vitamin C และ ferrous sulfate) หน่วยของการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณแสดงได้ 2 แบบ คือ (1) แบบปริมาณความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในตัวอย่าง ซึ่งค่าตัวเลขสูงก็แสดงว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง และ (2) แบบปริมาณความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ทำให้สารอนุมูลอิสระลดลง 50 % (IC_{50} , 50 % of inhibitory concentration) โดยค่าตัวเลขต่ำ แสดงว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง ทั้งสองแบบสามารถแสดงหน่วยได้หลากหลาย ได้แก่ $\mu\text{M}/\text{mg}$, mM/mg , $\mu\text{M}/\text{mL}$, mM/mL เป็นต้น

จากงานวิจัยของ Thitilertdechaet al (2008) พบว่า ค่า 50% inhibition concentrations (IC_{50}) for DPPH radical scavenging activity ของเมล็ดเงาะที่สกัดด้วย ether มีค่า $17.3 \pm 1.03 \mu\text{g}/\text{mL}$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่สกัดด้วยน้ำและเมธานอลตามลำดับ

2.2.1.9 Total phenolic content

สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound) เป็นสารที่พบได้ในพืช มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่หรือมากกว่านั้น ละลายน้ำได้ มักพบรวมกับโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (Glycosides) ในธรรมชาติพบสารประกอบฟีนอลิกได้หลายชนิด ที่พบมากที่สุดจะเป็นกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และโพลีฟีนอลิก เช่น ลิกนิน (Lignin) และแทนนิน (Tannin) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในอาหารและเครื่องดื่มที่มาจากพืชผักและผลไม้จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของพืช วิธีการปลูก ระดับความสุก กระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา การใช้ความร้อนในกระบวนการแปรรูป มีส่วนทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง สารประกอบฟีนอลิกประเภทโพลีฟีนอลมีประโยชน์หลายประการ เช่น มีส่วนช่วยป้องกันมะเร็ง ป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือดสมอง เนื่องจากช่วยลดโคเลสเตอรอลชนิดแอลดีแอลและไตรกลีเซอไรด์ และช่วยเพิ่มระดับโคเลสเตอรอลชนิดเอชดีแอล ลดความดันโลหิตและระดับน้ำตาลในเลือด

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลรวม (Total phenolic compounds) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent ซึ่งอาศัยการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของโมลิบโดทังสเตตไอออน (Molybdotungstate ion) รีเอเจนต์ประกอบด้วย โซเดียมทังสเตต (Sodium tungstate) โซเดียมโพลิบเดต (Sodium polybdate) กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) และ โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของไอออน Mo(VI) ซึ่งมีสีเหลือง เมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านอนุมูลอิสระจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูป Mo(V) ซึ่งมีสีน้ำเงิน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร และรายงานค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมในรูปของมิลลิกรัมของกรดแกลลิก (Gallic acid equivalent, mg/g GAE) (Tsai et al., 2005)

จากงานวิจัยของ Thitilertdechaet al (2008) พบว่า ค่า total phenolic content ของเมล็ดเงาะที่สกัดด้วย ether มีค่า 7.4 ± 1.8 mg catechin/1 g dry extract ซึ่งมีค่ามากกว่าที่สกัดด้วยน้ำ แต่น้อยกว่าสกัดด้วยเมทานอล

2.2.1.10 Anti-inflammation activity

ตามปกติการอักเสบของร่างกายมนุษย์เกิดจากการตอบสนองของร่างกายต่อการบาดเจ็บ (trauma), จากการที่เนื้อเยื่อได้รับความเสียหายแล้วเกิดการกระตุ้นเส้นประสาท nociceptor และจากการติดเชื้อ (infection) ซึ่งการอักเสบแบบเฉียบพลันจะมีการอักเสบเกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหลายวันถึงหลายอาทิตย์ และมีความสัมพันธ์กับการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน ส่วนการอักเสบแบบเรื้อรังเป็นการอักเสบที่เกิดขึ้นยาวนานกว่า 4 สัปดาห์ มีผลทำให้เนื้อเยื่อเสียหาย เช่น เกิดการเสื่อมของเส้นประสาทหรือสามารถทำให้เกิดโรคทางระบบหัวใจและหลอดเลือดได้ การอักเสบที่เนื่องมาจาก ระบบภูมิคุ้มกันเกิดขึ้น

จากระบบภูมิคุ้มกันที่ติดตัวแต่กำเนิด (innate immunity) ร่วมกับสารที่หลั่งจากเซลล์และสารจากพลาสมา เช่น cytokines, prostaglandins, leukotrienes, platelet activating factor (PAF), bradykinin, histamine, interferons (IFN) และ complement system ซึ่งขบวนการอักเสบชนิดนี้เกิดจากการต่อต้านการติดเชื้อไวรัสหรือแบคทีเรียของร่างกาย กล่าวคือเมื่อ macrophages, neutrophils และ dendritic cell กลืนกินไวรัสหรือแบคทีเรียแล้ว จะมีการปล่อยโปรตีนของไวรัสหรือผนังเซลล์ของแบคทีเรียบางส่วนออกมา ซึ่งโปรตีนเหล่านี้สามารถเหนี่ยวนำและกระตุ้นเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันให้ตอบสนองทำให้เกิดการอักเสบ ด้วยการหลั่งสารสื่อกลางทางเคมี (chemical mediators) เช่น histamine, nitric oxide (NO), prostaglandins E_2 (PGE₂) และ leukotrienes ออกมา สารสื่อกลางทางเคมีเหล่านี้จะมีผลให้ leukocytes เคลื่อนตัวออกจากหลอดเลือดไปรวมตัวบริเวณเนื้อเยื่อที่อักเสบ เช่นเดียวกันหากร่างกายได้รับบาดเจ็บหรืออักเสบ ความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นของเซลล์ที่บาดเจ็บรวมกับสาร bradykinin ที่ไหลเวียนในกระแสเลือด และรวมกับ macrophages และ dendritic cell สามารถกระตุ้นให้ leukocyte เคลื่อนตัวไปยังบริเวณที่บาดเจ็บ ณ ตำแหน่งที่ติดเชื้อหรือบาดเจ็บ leukocytes จะหลั่งสารกลุ่ม proinflammatorycytokines เช่น tumor necrosis factor- α (TNF- α), interleukin-1 (IL-1), interleukin-6 (IL-6), IFN และ colony stimulating factors (CSFs) และ chemokines เช่น macrophage inflammatory protein 1 α , interleukin-8 (IL-8), monocyte chemoattractant protein-1 และผลิตภัณฑ์ออกซิเจนอิสระ (reactive oxygen species, ROS) ขึ้น การหลั่งของ cytokines เมื่อเกิดการบาดเจ็บหรือติดเชื้อจะทำให้หลอดเลือดบริเวณนั้นขยายตัว เลือดจึงไหลเวียนมามากขึ้นทำให้เกิดอาการร้อนและแดง ในขณะที่เดียวกันก็ทำให้ระยะห่างระหว่าง endothelial cell ขยายตัว ซีรัมโปรตีนและของเหลวจึงรั่วออกจากหลอดเลือด ทำให้บริเวณที่อักเสบเกิดอาการบวม อีกทั้งยังมีผลกระตุ้น complement system, fibrinolytic system, clotting system และ kinin system

การเสียสภาพโปรตีนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเนื่องจากโปรตีนเสียสภาพในระดับโครงสร้างตติยภูมิ (tertiary structure) และทุติยภูมิ (secondary structure) จากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงภายนอก เช่น สภาพที่เป็นกรด สภาพที่มีเกลือ หรือความร้อน การเสียสภาพโปรตีนเกี่ยวข้องกับ การอักเสบโดยเฉพาะโรคไขข้ออักเสบ (rheumatoid arthritis) (Padmanabhan and Jangle, 2012) การสร้าง antigens ขึ้นเองในผู้ป่วยที่เป็นข้ออักเสบเกี่ยวข้องกับการเสียสภาพของโปรตีนในร่างกาย การทดสอบฤทธิ์การต้านอักเสบด้วยวิธีการยับยั้งการเสียสภาพของโปรตีน เป็นวิธีที่นิยมใช้ทดสอบเบื้องต้น สารทดสอบที่สามารถลดการเสียสภาพของโปรตีน แสดงถึงการมีฤทธิ์ต้านการอักเสบโดยเฉพาะอธิบายถึงกลไกของสารสกัดพืชสมุนไพรที่เกี่ยวข้องกับ antirheumatic activity

Neutrophils คือเซลล์ที่ตอบสนองในระยะแรกของการอักเสบแบบเฉียบพลัน Neutrophils ประกอบด้วย proteinase เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้มีรายงานว่า proteinase มีส่วนสำคัญในการทำลายเนื้อเยื่อเซลล์ในกระบวนการอักเสบ ดังนั้นการยับยั้งการทำงานของ proteinase จึงเป็นการศึกษาเบื้องต้นของกลไก

การต้านการอักเสบแบบหนึ่ง ที่เกิดการอักเสบเมื่อเซลล์ถูกทำลาย แล้ว proteinase เข้าทำลายเนื้อเยื่อ (Leelaprakash and Dass, 2011)

2.2.1.11 Skin irritation test

ผิวหนังของมนุษย์โดยทั่วไปมีความหนาประมาณ 1.5 - 4.0 มิลลิเมตร ประกอบด้วยเป็นพื้นที่โดยรวมประมาณ 1.8 ตารางเมตร คิดโดยน้ำหนักผิวหนังประมาณร้อยละ 16 ของน้ำหนักตัว (Gawkrodger, 2002) ผิวหนังประกอบด้วย 3 ชั้น คือ ชั้นหนังกำพร้า (epidermis) ชั้นหนังแท้ (dermis) และชั้นไขมันใต้ผิวหนัง (subcutaneous tissue)

หนังกำพร้า (Monteiro-Riviere, 2008) โดยทั่วไป มีความหนาประมาณ 0.1 มิลลิเมตร ยกเว้นในบางบริเวณเช่น ฝ่ามือ ฝ่าเท้า ร้อยละ 95 ของเซลล์ในชั้นนี้ประกอบด้วยเซลล์เคอราติน (keratinocyte) ซึ่งจะแบ่งตัวเริ่มจากชั้นล่างสู่ผิวด้านนอก นอกจากนี้ยังมีเซลล์สร้างเม็ดสี เซลล์เมอร์เคล (merkel cell) และเซลล์แลงเกอร์ฮานส์ (langerhans cell) แทรกปะปนอยู่ หนังกำพร้าแบ่งย่อยออกเป็นชั้นต่าง ๆ ดังนี้ ชั้นซีไคล หรือ สตราตัมคอร์เนียม (stratum corneum) เป็นชั้นนอกสุดของหนังกำพร้า ประกอบด้วยเซลล์คอร์นีโอไซต์ (corneocyte) ซึ่งเป็นเซลล์เคอราตินที่ตายแล้ว แต่ยังคงตัวกันแน่น ซ้อนเป็นชั้นๆ ภายในเซลล์ประกอบด้วยเส้นใยเคอราตินและสารช่วยยึด ได้แก่ ไฟแลกกริน (filaggrin) ชั้นต่อมาเป็นสตราตัม ลูซิเดียม (stratum lucidum) ชั้นนี้มีเฉพาะผิวหนังบริเวณฝ่ามือ ฝ่าเท้าอยู่ระหว่างชั้นซีไคลและแกรนูลา (granular) ส่วนแกรนูลา เลเยอร์ (granular layer) หรือ สตราตัม แกรนูโลซุม (stratum granulosum) เป็นชั้นของเซลล์เคอราตินที่มีชีวิต รูปร่างแบนยาว ภายในเซลล์มีแกรนูล (granule) เรียกว่า เคอราโทไฮยาลิน (keratohyaline) เป็นโปรตีนที่ช่วยสร้างความแข็งแรงหรือ เรียกว่าโปรตีนอะมอฟัส (amorphous protein) ชั้นสไปนัส (spinous layer) หรือสตราตัมสไปโนซุม (stratum spinosum) ประกอบด้วยเซลล์ เคอราติน รูปร่างหลายเหลี่ยม ยึดกันด้วยอินเตอร์เซลล์ลูลาร์ บริดจ์ (intercellular bridge) จุดเชื่อมดังกล่าวเรียกว่า เดสโมโซม (desmosome) ประกอบด้วยเส้นใยเล็กๆ (tonofilament) ให้ความแข็งแรงระหว่างเซลล์เคอราติน ภายในไซโตพลาสของเคอราติน มีลามลลา บอดี (lamella bodies) ซึ่งเป็นถุงเก็บไขมันสำหรับเคลือบผิวและจะขับไขมันนี้ออกสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์สารนี้มีความสำคัญในด้านการปกป้องผิว (barrier function) และช่วยยึดเซลล์ (cell adhesion) ในชั้นนี้มี เซลล์แลงเกอร์ ฮานส์ แทรกอยู่ทำหน้าที่รับรู้ คอยดักจับสิ่งแปลกปลอมหรือสารก่อภูมิแพ้และย่อยสิ่งแปลกปลอมจากนั้นจะเคลื่อนตัวไปสู่ต่อมน้ำเหลือง และนำข้อมูลของสาร หรือสิ่งแปลกปลอมให้ลิมโฟไซท์ชนิดที (T lymphocyte) ต่อไป เบซัล เลเยอร์ (basal layer) หรือ สตราตัม เบซัล (stratum basale) เป็นเซลล์ชั้นล่างสุดเรียงกันเป็นแถว รูปร่างเป็นลูกบาศก์ เซลล์มีนิวเคลียสใหญ่ สีเข้ม ไซโตพลาสประกอบด้วยเส้นโทโนฟิลาเมนต์ (tonofilament) และไรโบโซม (ribosome) เซลล์เรียงตัวชั้นเดียวอยู่บนเบสเมมเบรน (basement membrane) เซลล์ส่วนใหญ่มี

หน้าที่แบ่งตัวให้เซลล์ใหม่ และถูกดันขึ้นทดแทนเซลล์ด้านบน ในชั้นนี้ มีเซลล์สร้างเม็ดสีเมลานิน เรียกว่า เมลาโนไซต์ (melanocyte)

หนังแท้ (Monteiro-Riviere, 2008) ผิวหนังชั้นนี้ประกอบด้วยเส้นใยชนิดต่าง ๆ และสารกราวด์ซัสแตนซ์ (ground substance) ซึ่งประกอบด้วย สารโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) และโปรตีน โดยโปรตีนดังกล่าว ได้แก่ เส้นใยคอลลาเจน (collagen) และอีลาสติน (elastin) ซึ่งสร้างจาก เซลล์ไฟโบรบลาสต์ (fibroblast) เป็นโครงสร้างที่ให้ ความแข็งแรงและความยืดหยุ่นแก่ผิวหนัง นอกจากนี้ ยังเป็นที่ฝังตัวของหลอดเลือดซึ่งนำสารอาหารและออกซิเจนมาเลี้ยงผิวหนัง เส้นประสาทรับความรู้สึกสัมผัส ร้อนเย็น เจ็บปวดและยังเป็นที่ ฝังตัวของเส้นผม ขน ต่อมไขมัน ต่อมเหงื่อ เซลล์ที่เป็นองค์ประกอบชั้นนี้ได้แก่ ไฟโบรบลาสต์เซลล์มาสต์ (mast cell) และฮิสไทโอไซต์ (histiocytes)

ต่อมไขมัน (Sebaceous gland) มีหน้าที่สร้างสารไขมันเพื่อเคลือบผิวหนัง ภายใต้อิทธิพลของฮอร์โมนเพศ โดยส่งผ่านออกมาทางเดียวกับรูขุมขน ต่อมไขมันกระจายตัวมากบริเวณผิวหนังที่ เรียกว่า ซีบาเซียสแอเรีย (sebaceous area) เช่น หน้า หน้าอก หลัง หนังศีรษะ (Ro and Dawson, 2005)

ผิวหนัง นอกจากทำหน้าที่กั้นกลางระหว่างสิ่งแวดล้อมภายในและภายนอกแล้ว ยังมีบทบาทเป็นตัวกลางในการสื่อสารระหว่างสิ่งแวดล้อมภายในและภายนอกอีกด้วย (Monteiro-Riviere, 2008) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่อื่นๆอีกหลายอย่าง เช่น ป้องกันอวัยวะภายในจากสิ่งแวดล้อม (Gawkrödger, 2002) ป้องกันการแพร่ของน้ำออกจากร่างกาย (Elias, 1983) ซับของเสียออกจากร่างกายในรูปของเหงื่อ มีส่วนช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย โดยการหดตัวและขยายตัวของหลอดเลือด ขนในมนุษย์ และในสัตว์ยังเป็นฉนวนกันความร้อนให้แก่ร่างกาย (Elias, 1991) นอกจากนี้ผิวหนังยังสามารถทำหน้าที่ เป็นต่อมไร้ท่อซึ่งมีส่วนช่วยในการสังเคราะห์วิตามินเอ และเป็นเป้าหมายสำหรับแอนโดรเจน ควบคุมการผลิตความมันและเป้าหมายของอินซูลิน และควบคุมการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตและไขมัน (Gawkrödger, 1997)

การระคายเคืองต่อผิวหนัง เป็นการแสดงการเกิดอันตรายต่อผิวหนังชนิดที่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้หลังจากได้รับการทดสอบกับสารทดสอบเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ความสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ของรอยโรคที่ผิวหนังเป็นข้อพิจารณาอีกข้อหนึ่งในการประเมินผลของสารระคายเคือง ดังนั้นสารที่ใช้ทดสอบจะถูกจัดให้เป็นสารระคายเคือง การตอบสนองต่อการระคายเคืองของสัตว์ทดลองมีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องให้ความสำคัญต่อเกณฑ์ของการระคายเคือง ซึ่งต้องมีการตอบสนองที่เห็นอย่างเด่นชัด มากกว่าจำนวนหลักฐานที่พบผลบวก เช่น สารทดสอบสามารถจัดให้อยู่ในกลุ่มของสารระคายเคืองได้ แม้พบผลบวกจากสัตว์ ทดลองเพียง 1 ตัวจาก 3 ตัวตลอดการทดลอง พร้อมกับพบรอยโรคตลอดระยะเวลาการสังเกต และยังพบการตอบสนองอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ที่กำหนด กลุ่มของสารระคายเคือง บางหน่วยงานอาจทำการจำแนกเพิ่มเป็นประเภทระคายเคืองอ่อนๆ เช่น สารปราบศัตรูพืช สารระคายเคืองอาจแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ตามความรุนแรงของปฏิกิริยาทางผิวหนังที่แตกต่างกัน ได้แก่ กลุ่มระคายเคืองอย่างอ่อน และกลุ่มระคายเคือง (OECD, 1992; 2002)

2.2.1.12 Sun protection factor

แสงที่ส่งมายังพื้นโลกประกอบด้วยรังสี UVA ที่มีความยาวคลื่น 320-400 นาโนเมตร ในขณะที่รังสี UVB ที่มีความยาวคลื่น 290-320 นาโนเมตร ซึ่งสามารถก่อให้เกิดอันตรายกับผิวหนัง โดยรังสี UVA จะทะลุชั้นหนังแท้ทำให้เกิดสีผิวคล้ำขึ้น และดูแก่ก่อนวัย ในขณะที่รังสี UVB มีพลังงานสูงจึงทำลายเซลล์ผิวหนังมาก โดยเฉพาะชั้นหนังกำพร้า เพราะไม่สามารถทะลุถึงชั้นหนังแท้ได้ ทำให้เกิดอาการบวมแดง แดงเผา ดังนั้นจึงต้องมีการปกป้องผิวหนังจากแสงแดด เช่น สวมเสื้อผ้ามิดชิด และสวมหมวกปีกกว้างหรือกางร่ม ตลอดจนใช้ผลิตภัณฑ์ป้องกันแดด ซึ่งควรป้องกันได้ทั้ง UVA และ UVB การประเมินประสิทธิภาพของสารป้องกันแสงแดดหรือผลิตภัณฑ์ นิยมใช้การวัดค่า SPF หรือ Sun Protection Factor ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณพลังงานของรังสี UV น้อยที่สุดที่ทำให้ผิวหนังเกิดอาการแดง (Minimum erythema dose หรือ MED) ค่า SPF จึงเป็นค่าที่แสดงว่าสารกันแดดหรือผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการป้องกันแสงแดดเป็นกี่เท่าเมื่อเทียบกับไม่ได้ใช้ผลิตภัณฑ์ สมการที่ใช้คำนวณเป็นดังนี้ (Dutra, Oliveira, Kedor-Hackmann & Santoro, 2004)

$$\text{SPF} = \frac{\text{minimum erythema dose เมื่อทาผลิตภัณฑ์}}{\text{minimum erythema dose เมื่อไม่ทาผลิตภัณฑ์}}$$

2.2.1.13 ปริมาณกรดไขมัน

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



รูปที่ 2.1 กรดไขมันอิสระที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของเซลล์เมมเบรน

ที่มา: นิธิยา รัตนาปนนท์ (2548)

ในธรรมชาติพบกรดไขมันเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่อยู่ในไขมัน น้ำมัน และฟอสโฟกลีเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่ ที่พบในรูปของกรดไขมันอิสระมีน้อยมาก การสังเคราะห์กรดไขมันในร่างกายมีสารเริ่มต้นเป็นหมู่อะซิติล ซึ่งคาร์บอกในโมเลกุล 2 อะตอม มาต่อกันเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น จึงทำให้จำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเป็นเลขคู่เสมอ พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมัน มีทั้งที่เป็นพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ กรดไขมันที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมด เรียกว่า กรดไขมันชนิดอิ่มตัว Saturated fatty Acids ส่วนกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 อัน หรือมากกว่า 1 อัน เรียกว่า กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว Unsaturated Fatty Acids (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

1) กรดไขมันชนิดอิ่มตัว

กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีสูตรทั่วไปเป็น $C_nH_{2n}O_2$ เป็นกรดไขมันที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด จึงไม่สามารถรับไฮโดรเจนอะตอมได้อีก กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุด คือ กรดบิวทริก(คาร์บอน 4 อะตอม) เป็นกรดไขมันที่ละลายได้ดีในน้ำและระเหยได้ง่าย กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 6 - 10 อะตอม ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อยและยังระเหยได้ ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 อะตอม ขึ้นไปไม่ละลายน้ำ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลต่ำกว่า 10 อะตอม จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 อะตอม ขึ้นไปจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง (นิธิยา รัตนาปนนท์ ,2548)

2) กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล บางตำแหน่งและมีการเรียงตัวเป็น *Cis-configuration* การที่พันธะคู่ในโมเลกุลทำให้สามารถเติมไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้อีก กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตามจำนวนของพันธะคู่ได้ดังนี้

a) Monounsaturated (Monoethenoid) Fatty Acids (MUFA)

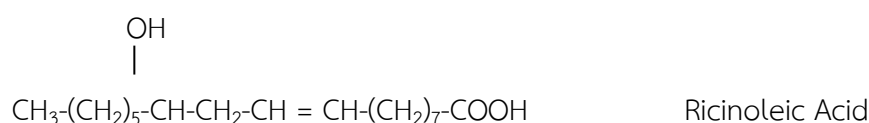
เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเพียง 1 อัน มีสูตรทางเคมีทั่วไปเป็น $C_nH_{2n-1}COOH$ ตัวอย่างเช่น กรดโอเลอิก (Oleic Acid, $CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$) กรดปาล์มิโตเลอิก (Palmitoleic Acid, $CH_3-(CH_2)_5-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$) กรดไขมันทั้ง 2 ชนิดนี้พบได้ในไขมันและน้ำมันทั่วไป (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

b) Polyunsaturated (Polyethenoid) Fatty Acids (PUFA)

เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 อัน ส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 18 - 22 อะตอม และมีพันธะคู่ 2 - 6 อัน พบมากในน้ำมันพืชและน้ำมันปลา (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548).

3) กรดไขมันที่มีหมู่ไฮดรอกซี Hydroxy Fatty Acids

เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะอยู่ที่สายแอลคิล Alkyl Chain พบเป็นส่วนประกอบอยู่ในระบบประสาทส่วนกลาง แสดงดังรูปที่ 2.2 ตัวอย่างเช่น กรดเซรีโบรนิค Cerebronic Acid และมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีหมู่ไฮดรอกซิล ได้แก่ กรดริซิโนเลอิก Ricinoleic Acid ซึ่งเป็นกรดไขมันที่พบมากในน้ำมันละหุ่ง (Castor Bean Oil) มีอยู่ประมาณร้อยละ 90 ของกรดไขมันทั้งหมด (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)



รูปที่ 2.2 กรดไขมันที่มีหมู่ไฮดรอกซี (Hydroxy Fatty Acids)

ที่มา : นธิยา รัตนาปนนท์ (2548)

4) กรดไขมันชนิดอื่นๆ

กรดไขมันบางชนิดมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายแขนงและบางชนิดมีหมู่วงแหวนอยู่ในโมเลกุลด้วย แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กรดไขมัน Tuberculostearic Acid

ที่มา : นธิยา รัตนาปนนท์ (2548)

จากรายงานการวิจัย พบว่า กรดไขมันที่พบในเมล็ดงา มีค่าดังตารางที่ 2.10 ซึ่ง Oleic acid เป็นกรดไขมันที่พบมากที่สุด กรดโอเลอิกเพิ่มการดูดซึมลงสู่ผิวได้ดีในเครื่องสำอางและเพิ่ม lipophilic ให้กับผิว (Alvarez และ Rodriguez, 2000) นอกจากนี้กรดโอเลอิกมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ และยังมีฤทธิ์ลดการเกิดรังแคและการรักษาผดผื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพิ่มศักยภาพในการเจริญเติบโตของเส้นผม และยังใช้สำหรับการรักษาสิว (Kanlayavattanukul และ Lourith 2011) ที่สำคัญยังมีรายงานว่า กรดโอเลอิกสามารถยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ tyrosinase (Ando et al., 1999) จึงลดการเกิดสีน้ำตาล หรือทำให้ผิวขาวกระจ่างใส เน้นการใช้งานรักษารอยดำผิว

ตารางที่ 2.10 ปริมาณกรดไขมันที่พบในเมล็ดเงาะ

Fatty acid	Content (%)							
	Lourith et al. (2016)	Augustin and Chua (1988)	Manaf et al. (2013)	Romain et al. (2013)	Sirisompong et al. (2011)	Solis-Fuentes et al. (2010)	Sonwai and Ponprachanuvut (2012)	Winayanuwattakun et al. (2008)
Palmitic acid (C16:0)	5.84 ± 0.12	4.61 ± 0.25	4.60	4.20 ± 0.10	4.69 ± 0.15	6.1	3.39 ± 0.11	8.77
Palmitoleic acid (C16:1)	0.86 ± 0.02	1.08 ± 0.19	0.72	–	0.49 ± 0.04	1.5	–	0.96
Stearic acid (C18:0)	4.54 ± 1.86	6.53 ± 0.84	7.88	7.20 ± 0.19	7.03 ± 0.08	7.1	8.70 ± 0.11	7.25
Oleic acid (C18:1)	31.08 ± 0.75	39.08 ± 1.12	43.09	36.60 ± 0.95	36.79 ± 0.16	40.3	33.13 ± 0.58	55.25
Linoleic acid (C18:2)	2.40 ± 0.07	1.39 ± 0.17	3.22	1.80 ± 0.05	1.37 ± 0.02	–	0.03 ± 0.00	3.72
Arachidic acid (C20:0)	28.65 ± 0.72	36.46 ± 0.32	31.53	38.10 ± 1.00	34.32 ± 0.01	34.5	42.51 ± 0.60	22.05
Behenic acid (C22:0)	3.04 ± 0.10	2.60 ± 0.095	2.10	3.60 ± 0.09	3.10 ± 0.04	2.9	2.63 ± 0.0	

2.2.2 วิธีการสกัดแยกไขมันพืช

2.2.2.1 การบีบPressing หรือ Expelling

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

1) การบีบเย็นนิยมใช้กับเมล็ดพืชที่มีปริมาณน้ำมันสูง เช่น งา ถั่วลิสง ถั่วเหลือง มะกอก และมะพร้าว เป็นต้น แรงกดที่กระทำต่อเนื้อเยื่อของเมล็ดพืชจะทำให้ผนังเซลล์แตกและบีบเอาน้ำมันแยกออกมา น้ำมันที่ได้สามารถนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ น้ำมันที่ได้จะมีคุณภาพดีและคงสภาพเช่นเดียวกับเมื่ออยู่ในเมล็ด และไม่มีปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นกับไขมันและน้ำมัน ตัวอย่าง เช่น น้ำมันงาและน้ำมันถั่วลิสงที่สกัดแยกโดยวิธีนี้จะมิกลิ่นหอม Nutty Flavour ส่วนน้ำมันมะกอกจะมีกลิ่นแรง แต่เป็นกลิ่นที่คนยอมรับ อย่างไรก็ตามการทำ Cold Pressing มีประสิทธิภาพต่ำ เพราะในกากยังมีน้ำมันเหลืออยู่อีกมาก

2) การบีบร้อน มีประสิทธิภาพดีกว่าการบีบเย็นกากที่เหลือจากการบีบเย็นจะนำมากระทำขั้นตอนต่อไปโดยใช้การบีบร้อนซึ่งอาจเป็นเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกหรือ เครื่องอัดแบบสกรู Continuous Screw Press หรือ Expeller การสกัดแยกน้ำมันโดยวิธีเหล่านี้ใช้ความดันประมาณ 1 - 15 ตันต่อตารางนิ้ว และจะยังคงมีน้ำมันเหลืออยู่ในกากเพียงร้อยละ 2 - 4 เท่านั้น

ขั้นตอนที่ควรกระทำในกระบวนการบีบไขมันและน้ำมันออกจากเมล็ดพืช ดังนี้

(1) การคัดเลือกและทำความสะอาด ก่อนนำเมล็ดพืชเข้าเครื่องบีบ ต้องคัดเลือกเอาเมล็ดอ่อนแตกหัก เสียหาย หรือถูกทำลายทางกลออกไปเสียก่อน เพราะไขมันหรือน้ำมันในเมล็ดเหล่านี้ อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือไฮโดรไลซิสแล้ว หลังจากคัดเลือกเอาแต่เฉพาะเมล็ดที่ดีแล้ว นำมาทำความสะอาดเพื่อแยกเอาสิ่งปนปลอมอื่นๆ เช่น เศษดิน ฝุ่น ก้อนอิฐ หรือก้อนหินเล็กๆ และส่วนของพืชที่ไม่ให้น้ำมัน เช่น เศษเปลือก หรือเศษไม้ ออกเสียงก่อนโดยใช้ตะแกรงร่อนเอาสิ่งที่ใหญ่และเล็กกว่าเมล็ดพืชออกไป จะได้เมล็ดพืชที่สะอาด

(2) การอบแห้งและเก็บรักษา เมล็ดพืชที่สะอาดแล้วหากต้องการเก็บรักษาไว้ระยะหนึ่งก่อนนำไปสกัดไขมันหรือน้ำมัน ควรนำไปอบแห้งเพื่อลดความชื้น เพราะเมล็ดที่มีความชื้นสูงจะทำให้ไขมันหรือน้ำมันเกิดการหืนได้เร็วขึ้น

(3) การเอาเปลือกออกและบด เมล็ดพืชที่สะอาดและแห้งแล้วจะถูกนำไปบด หรือ ทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ เพราะการบดทำให้ผนังเซลล์ของเมล็ดแตกออกและเพิ่มพื้นที่ผิว จะทำให้บีบ

เอาไขมันหรือน้ำมันออกได้ง่าย การบดยิ่งละเอียดเท่าไรก็ยิ่งบีบน้ำมันออกได้ง่าย แต่ต้องรีบกระทำโดยเร็ว หากปล่อยทิ้งไว้ให้สัมผัสกับอากาศเป็นเวลานาน จะทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและไฮโดรไลซิสได้อย่างรวดเร็ว การบดที่ละเอียดอาจไม่เหมาะถ้าใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย เพราะการบดที่ละเอียดเกินไปจะทำให้เป็นผง และไปอุดตันทางเดินของสารละลายได้ง่าย ทำให้อายุการใช้งานของเครื่องสกัดสั้นลง จึงควรบดให้ละเอียดพอประมาณ หรืออัดเป็นแผ่นบางๆ

(4) การทำให้สุก เมล็ดพืชบางชนิดหลังจากบดให้ละเอียดแล้ว จะนำไปนึ่งให้ร้อนเพื่อทำลายโปรตีนที่ผนังเซลล์ ทำลายเอนไซม์ไลพอกซิจีเนสและไลเพสที่ถูกปล่อยออกมาจากเซลล์ที่แตกระหว่างการบด ช่วยป้องกันไม่ให้ไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและไฮโดรไลซิสความร้อนยังช่วยลดความหนืดของน้ำมัน ทำให้น้ำมันไหลออกมาได้ง่าย การนึ่งจะขึ้นอยู่กับเวลา อุณหภูมิ ความชื้นของเมล็ดพืช และเครื่องมือที่ใช้บีบน้ำมัน การนึ่งโดยใช้ไอน้ำภายใต้ความดันต่ำ จะให้ผลดีกว่าในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซิจีเนสในเมล็ดถั่วเหลือง นอกจากนี้ความร้อนยังช่วยทำลายเชื้อราและแบคทีเรีย ซึ่งอาจทำให้น้ำมันเกิดหืนได้ อย่างไรก็ตาม การใช้ความร้อนต้องควบคุมให้เหมาะสม เพราะหากใช้ความร้อนสูงเกินไปจะเร่งให้เกิดออกซิเดชันได้

(5) การบีบไขมันหรือน้ำมัน เครื่องมือที่ใช้บีบไขมันหรือน้ำมันชนิดเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกจะให้ผลดีที่สุด โดยเฉพาะเมื่อใช้กับเมล็ดฝ้ายที่มีความชื้น ร้อยละ 5 - 6 ถ้าเป็นเครื่องอัดแบบสกรูหากเป็นเมล็ดถั่วเหลืองควรมีความชื้นประมาณร้อยละ 3 มะพร้าวและเมล็ดงาควรมีความชื้นประมาณร้อยละ 2 ถ้าเมล็ดพืชมีความชื้นสูงจะทำให้มีไขมันหรือน้ำมันเหลืออยู่ในกากมาก กากที่ได้จากเครื่องอัดแบบสกรูจะมีไขมันหรือน้ำมันอยู่ประมาณร้อยละ 3 - 9 ขึ้นอยู่กับความเร็วของการหมุนสกรู สกรูที่หมุนเร็วมากจะอัดเมล็ดพืชและบีบไขมันหรือน้ำมันออกมาเร็ว ทำให้มีไขมันหรือน้ำมันเหลือในกากมาก กากที่เหลือจากการบีบด้วยเครื่องอัดซึ่งมีไขมันหรือน้ำมันเหลืออยู่นี้ จะถูกนำไปสกัดแยกเอาไขมันหรือน้ำมันที่เหลือออกอีกครั้งหนึ่งโดยใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย หรืออาจส่งกากขายให้กับโรงงานทำอาหารสัตว์

2.2.2.2 การสกัดไขมันหรือน้ำมันด้วยตัวทำละลาย

การสกัดไขมันหรือน้ำมันออกจากวัตถุดิบด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก และใช้สกัดน้ำมันออกจากเมล็ดพืชที่มีปริมาณไขมันหรือน้ำมันต่ำ หรือสกัดไขมันหรือน้ำมันออกจากกากที่เหลือจากการบีบด้วยเครื่องอัด ตัวทำละลายที่ใช้จะต้องไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ได้แก่ เฮกเซน คาร์บอนไดซัลไฟด์ และไดเอทิลอีเทอร์ เป็นต้น ตัวทำละลายที่นิยมใช้มากที่สุด คือ เฮกเซน

วิธีการสกัดทำได้โดยให้ตัวทำละลายไหลซึมผ่านเมล็ดที่บดละเอียด ที่อยู่ในเมล็ดจะละลายออกมาในตัวทำละลาย เมื่อน้ำมันละลายออกมาหมดแล้ว นำไปกลั่นแยกเอาตัวทำละลายออก สารละลายของน้ำในตัวทำละลายบางที่เรียกว่า Miscella ซึ่งประกอบด้วย ตัวทำละลาย น้ำหรือความชื้น น้ำมัน และกาก ซึ่งกากจะแยกออกจากน้ำมันโดยการกรอง ส่วนเฮกเซนและน้ำแยกออกโดยการระเหย Evaporation ที่ความดันต่ำ และได้น้ำมันออกมาประมาณร้อยละ 98 และมีความชื้นเหลืออยู่น้อยกว่าร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนัก ขั้นตอนการระเหยเอาตัวทำละลายออกต้องใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำที่สุด เพราะหากใช้ อุณหภูมิสูงเกินไป จะเร่งให้เกิดออกซิเดชัน ทำลายสารต้านออกซิเดชันและทำให้น้ำมันที่ได้มีสีเข้ม

การใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายจะได้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าอื่น เมล็ดพืชบางชนิดใช้วิธีการบีบร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย อย่างไรก็ตาม การสกัดด้วยตัวทำละลายจะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธี อื่นๆ เพราะตัวทำละลายมีราคาแพง ถึงแม้จะกลั่นแยกเอาตัวทำละลายกลับมาใช้ได้อีกก็ตาม แต่ก็มีบางส่วนที่ ระเหยหายไปด้วย น้ำมันที่ได้ออกมาเป็นน้ำมันที่ไม่บริสุทธิ์ เรียกว่า Crude Oil มักมีสารประกอบต่างๆ ปน อยู่มากมาย ต้องนำไปผ่านกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดไขมัน ได้แก่

(1) ปริมาณของตัวทำละลาย ถ้าใช้ปริมาณตัวทำละลายในการสกัดมาก จะทำให้สกัดไขมันออกมาได้มากและมีไขมันเหลืออยู่ในกากน้อย แต่ถ้าใช้ตัวทำละลายมากก็ต้องใช้เวลาใน การระเหยแยกเอาตัวทำละลายออกทำให้สูญเสียตัวทำละลายที่ระเหยออกไปมากขึ้นด้วย ดังนั้นตัวทำละลาย ที่ใช้ควรมีปริมาณที่เหมาะสม โดยปกติการสกัดไขมันจากเมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดนุ่น และเมล็ดฝ้าย จะใช้ตัวทำ ละลายต่อน้ำหนักของเมล็ดพืชที่สกัดในอัตราส่วนหนึ่งต่อหนึ่ง

(2) ชนิดของตัวทำละลาย ตัวทำละลายหลายชนิดใช้สกัดไขมันได้ และตัว ทำละลายแต่ละชนิด จะมีสมบัติเฉพาะแตกต่างกันออกไป ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของเมล็ดพืช และ ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ตัวทำละลายที่นิยมใช้มากที่สุด คือ เฮกเซน

(3) อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดการสกัดไขมันด้วยตัวทำละลายต้องใช้อุณหภูมิสูง ประมาณ 60 องศาเซลเซียส เพื่อช่วยทำให้ไขมันละลายออกมาจากเมล็ดพืชได้ง่าย

(4) ความหนาของเมล็ดพืชเมล็ดพืชก่อนนำมาสกัด จะถูกบดให้แตกเป็น ชิ้นเล็กๆและอัดให้เป็นแผ่น แล้วปล่อยให้ตัวทำละลายไหลซึมเข้าไปสัมผัสกับแผ่นเมล็ดพืช ถ้าเมล็ดพืชถูกบด ให้ละเอียดเกินไปจะอัดกันแน่น ตัวทำละลายจะซึมผ่านเข้าไปได้ยาก ความหนาของแผ่นเมล็ดถั่วเหลืองที่ เหมาะสมประมาณ 0.014 นิ้ว

(5) ความชื้นของเมล็ดพืชเมล็ดพืชที่นำมาสกัดไขมันควรมีความชื้นไม่เกิน ร้อยละ 10 และตัวทำละลายจะต้องไม่มีน้ำหรือความชื้นปนอยู่ เพราะจะทำให้สกัดไขมันออกได้ยาก

2.3 แป้งจากเมล็ดพืช

เม็ดแป้ง (starch granule) เป็นแหล่งสะสมอาหารประเภทสตาร์ช (starch) ซึ่งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตของพืชที่ถูกเก็บไว้ในส่วนต่างๆ ของเนื้อเยื่อสะสมอาหารของพืช แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรทางเคมี คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 4 นอกจากคาร์โบไฮเดรตแล้ว แป้งยังมีสิ่งเจือปนอื่นๆ เช่น โปรตีน ไขมัน และเกลือแร่ซึ่งน้อยมาก แป้งที่ผลิตโดยยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มาก ถูกเรียกว่า ฟลาวัวร์ (flour) เช่น ฟลาวัวร์ข้าวโพด (corn flour), ฟลาวัวร์ข้าวสาลี (wheat flour), และฟลาวัวร์ข้าว (rice flour) เป็นต้น

ภายในเม็ดแป้งจะประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ อะไมโลสและอะไมโลเพกติน ซึ่งแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินแตกต่างกัน ทำให้แป้งมีคุณสมบัติแตกต่างกันด้วย (Whistler and Bemiller, 1997) แป้งจากเมล็ดพืชแต่ละชนิดจึงมีสมบัติด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้ประโยชน์ต่างกัน เช่น การเกิดเจลาตีไนเซชัน (gelatinization) การเกิดรีโทรกราเดชัน และความหนืด (viscosity) เป็นต้น

เมื่อพิจารณาการใช้ประโยชน์ของแป้งในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ ทั่วโลก พบว่าใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปมากที่สุด (30%) รองลงมาคือผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำเป็นผง (25%) สำหรับอาหาร เด็กอ่อน ขนมอบและขนมหวานมีปริมาณเท่ากัน คือ 10% ทั้ง 3 ชนิด ส่วนที่เหลือเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร ประเภทที่ผลิตโดยเครื่องเอกซ์ทรูดและผลิตภัณฑ์นมอีกอย่างละ 5% แนวโน้มในการใช้แป้ง และแป้งดัดแปรในอนาคตจะเพิ่มมากขึ้น โดยผู้บริโภคมุ่งคำนึงถึงประโยชน์ทางสุขภาพ และลักษณะปรากฏมากขึ้น ดังนั้นผู้ผลิตจึงต้องพยายามปรับปรุงคุณลักษณะของแป้ง ทางด้านคุณค่าทางโภชนาการ และคุณสมบัติทางหน้าที่ เช่น การปรับปรุงคุณภาพแป้งโดยใช้ความร้อนชนิด UHT (ultra high temperature) คืออุณหภูมิสูงมากที่ 140-142°C และใช้เวลาสั้นเพียง 5-6 วินาที เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งดัดแปรในส่วนผสมคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสและคุณค่าทางอาหารไว้ได้ การใช้แป้งในอุตสาหกรรมอาหารมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยทั่วไปแป้งที่เติมลงในอาหารอาจทำหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

- เพื่อเป็นตัวเพิ่มความข้นหนืดให้กับผลิตภัณฑ์ (thickening agent) เช่น การใช้แป้งในซอส ชูครีม ไส้พาย เป็นต้น
- เพื่อเพิ่มความคงตัวของคอลลอยด์ (colloid stabilizer) เช่น ในน้ำสลัด
- เพื่อรักษาความชื้นของผลิตภัณฑ์ (moisture retention)
- เพื่อให้เกิดลักษณะที่เป็นเจล (gel-forming agent)
- เพื่อเป็นตัวเชื่อมส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ (binder)

- เพื่อเป็นสารเคลือบและให้ความเป็นมันเงา (coating and glazing agent)

นอกจากการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว แป้งยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ โดยใช้แป้งเป็นตัวประสานและเคลือบ อุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้ในการเคลือบเส้นใยของผ้า อุตสาหกรรมไม้อัดและกาว โดใช้ผสมกับสารเคมีต่างๆ ในการผลิตกาว เป็นต้น การนำแป้งจากเมล็ดพืชแต่ละชนิดจึงจำเป็นต้องศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งดังกล่าว เพื่อสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ต่อไป

2.3.1 สมบัติของแป้ง

2.3.1.1 โครงสร้างของแป้ง

แป้งเป็นโครงสร้างที่พบในธัญพืช พืชหัว เมล็ดพืชและส่วนอื่นๆ ของพืช อยู่ในรูปเม็ดแป้ง (discrete granules) ซึ่งมีลักษณะแข็ง ใส แสงทะลุผ่านได้มีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของแป้งดังกล่าวว่ามาจากพืชประเภทใด เม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline) โดยโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) (Jenkins and Donald, 1995)

แป้งถูกสร้างขึ้นจากพืชที่ส่วนใหญ่มีใบสีเขียว โดยแป้งมีการสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ในเมล็ดของธัญพืชต่างๆ ในรากและหัวของมันสำปะหลังและมันฝรั่ง เนื้อเยื่อส่วนกลางลำต้น (stem pith) ของพวก sago และส่วนของผลของกล้วย เป็นต้น หากตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ แป้งจะประกอบด้วยแกรนูล (granule) หรือเม็ดแป้งจำนวนมากมาย เม็ดแป้งที่พบในพืชแต่ละสายพันธุ์จะแตกต่างกันในด้านขนาด รูปร่าง และสมบัติในด้านต่างๆ (Pomeranz, 1991)

เม็ดแป้งที่พบในมันฝรั่งมีลักษณะรี ขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลาง 15-100 μm มีลักษณะคล้ายเปลือกหอยนางรม เม็ดแป้งในข้าวโพดมีขนาดปานกลาง เส้นผ่านศูนย์กลาง 10-25 μm ลักษณะเป็นทรงกลมหรือ polygonal เม็ดแป้งในข้าวมีขนาดเล็ก เป็น polygonal เส้นผ่านศูนย์กลาง 3-8 μm สำหรับเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กมากพบในส่วนรากของเผือกโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 μm ซึ่งขนาดแตกต่างอย่างมากกับรากของ *Phaius grandifolius* (Australia) ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ถึง 80-100 μm สำหรับเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กมากนั้นมักไม่ค่อยพบ แต่แป้งที่มีเม็ดแป้งขนาดเล็กมากๆ นี้มีศักยภาพในการนำมาผลิตแป้งที่มีขนาดละเอียด ซึ่งเป็นที่ต้องการในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและขนมหวาน และใช้เป็น rubber-tire mold releasing agents เป็นต้น (Pomeranz, 1991)

2.3.1.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้ง (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

(1) ชนิดของแป้ง

แป้งที่ได้จากส่วนต่างๆ ของพืชจะมีสมบัติด้านการพองตัวและละลายแตกต่างกัน แป้งจากธัญพืชมีรูปแบบการพองตัวและการละลาย 2 ชั้น เนื่องจากแรงของพันธะภายในเม็ดแป้งที่ต่างกัน 2 ชนิด คือ พันธะบริเวณผลึกและบริเวณอสัณฐาน แป้งประเภทนี้มีจำนวนพันธะมากที่สุด แต่มีลักษณะการพองตัวและการละลายต่ำมากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสสูง ทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้น จึงพองตัวได้ต่ำ

แป้งจากราก เช่น แป้งมันสำปะหลัง มีการพองตัวชั้นเดียว กำลังการพองตัวและการละลายสูงกว่าแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่า และเกิดเจลลาทีนในเซชันที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช ส่วนแป้งจากส่วนหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง จะมีการพองตัวสูงเนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ นอกจากนี้หมู่ฟอสเฟตภายในแป้งมันฝรั่งทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้น เนื่องจากสามารถก่อให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้าได้ การพองตัวจะเกิดเพียงชั้นเดียวและเกิดที่อุณหภูมิต่ำ

(2) ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง

ความแข็งแรงและลักษณะร่างแหภายในเม็ดแป้ง คือจำนวนและชนิดของพันธะภายในเม็ดแป้ง ในระดับโมเลกุลมีหลายปัจจัยที่กระทบจำนวนของพันธะ ได้แก่ ขนาด รูปร่าง ส่วนประกอบและการกระจายตัวของร่างแหภายในเม็ดแป้ง อัตราส่วนปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคติน น้ำหนักโมเลกุล การกระจายตัวของโมเลกุล จำนวนกิ่งก้านสาขา การจัดเรียงตัว ความยาวของสาขาในอะไมโลเพคติน

(3) สิ่งเจือปนในเม็ดแป้ง

สิ่งเจือปนในเม็ดแป้ง ได้แก่ โปรตีน ไขมันและเกลือแร่ ซึ่งสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะไมโลสได้ จึงมีผลการทับกับสมบัติต่างๆ ทั้งด้านความหนืดและด้านหน้าที่

(4) ปริมาณน้ำ

สารละลายที่มีปริมาณแป้งต่ำกว่า 20 % จะมีความสามารถในการละลายสูงกว่าเมื่อมีปริมาณแป้งสูงกว่า 20 % การพองตัวอย่างอิสระและการละลายที่สูงขึ้นจะถูกยับยั้งถ้าในสภาวะดังกล่าวมีน้ำน้อย

2.3.1.3 การเกิดเจลาทีโนเซชัน (กลั่นรงค์ และเก็กุล, 2546)

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นจำนวนมาก โดยยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) และอยู่ในรูปร่างแอมัลเซล (micelle) การจัดเรียงตัวลักษณะนี้ทำให้เม็ดแป้งละลายได้ต่ำในน้ำเย็น แต่จะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Eliasson and Gudmundsson, 1996) เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายแป้ง จะทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลแป้งคลายตัวลง ทำให้เม็ดแป้งสามารถดูดซึมน้ำและพองตัวได้ดีขึ้น ทำให้สารละลายมีความหนืดมากขึ้นและใสมากขึ้น โดยอุณหภูมิที่สารละลายแป้งเริ่มหนืด เรียกว่า อุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลาทีโนเซชัน ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปในแป้งแต่ละชนิดกำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรและน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ (Schoch, 1964)

การเกิดเจลาทีโนเซชันมี 3 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1: เม็ดแป้งดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างโมเลกุลยึดเหนี่ยวได้จำกัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบ birefringence ได้

ระยะที่ 2: เมื่อมีการเริ่มให้ความร้อน อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลาทีโนเซชัน เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้าไปมากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่าเกิดเจลาทีโนเซชัน (gelatinization) เม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนรูปร่างและโครงสร้าง birefringence ความหนืดของสารละลายแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา โดยในช่วงนี้ หากนำมาเหวี่ยงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใส จะเกิดสีน้ำเงินขึ้น

ระยะที่ 3: เมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่อไป รูปร่างของเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อลดอุณหภูมิลง ทำให้น้ำเย็นจะเกิดลักษณะเป็นเจลขึ้น การเกิดเจลเกิดจากการทำปฏิกิริยาของหมู่ไฮดรอกซิลกับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น

การเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้ง ทำให้แป้งสูญเสียความเป็นผลึก โดยโมเลกุลของแป้งเปลี่ยนเป็นของเหลว จนเมื่อหยุดให้ความร้อน โมเลกุลแป้งจะเริ่มแข็งตัว เนื่องจากสายอะไมโลสอาจจะยังอยู่ใกล้กันจึงเกิดการเชื่อมต่อกันอย่างแข็งแรง ถ้าทำให้แป้งเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วอาจเกิดเป็นส่วนอสัณฐานขึ้นมากกว่าผลึก เมื่อเวลาผ่านไป น้ำที่ถูกดูดซับโดยอะไมโอเพคตินในเม็ดแป้งจะถูกปล่อยออกมา ทำให้โมเลกุลแป้งเป็นระเบียบมากขึ้น แป้งจะเกิดเป็นผลึกเกือบทั้งหมด อย่างไรก็ตามน้ำจะไม่ถูกดูดซับหากยังไม่ถึงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชัน

2.3.1.4 การเกิดรีโทรกราเดชัน (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องจนอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีโนเซชันแล้ว จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลง โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก (Whistler and Bemiller, 1997) ความหนืดจะคงตัวมากขึ้น และเกิดเป็นเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึกปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดรีโทรกราเดชัน หรือ การคืนตัวของแป้ง (Atwell et al., 1988) และเมื่อลดอุณหภูมิต่ำลงอีก จะทำให้การเรียงตัวของโครงสร้างแน่นมากขึ้น โมเลกุลของน้ำอิสระที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล เรียกว่าเกิด syneresis ทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่น (Hermanson and Svegmak, 1996)

การคืนตัวของแป้งขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของสารละลายแป้ง การระบวนการให้ความร้อน การระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณและขนาดของอะไมโลส อะไมโลเพคติน และองค์ประกอบอื่นๆ ภายในแป้ง

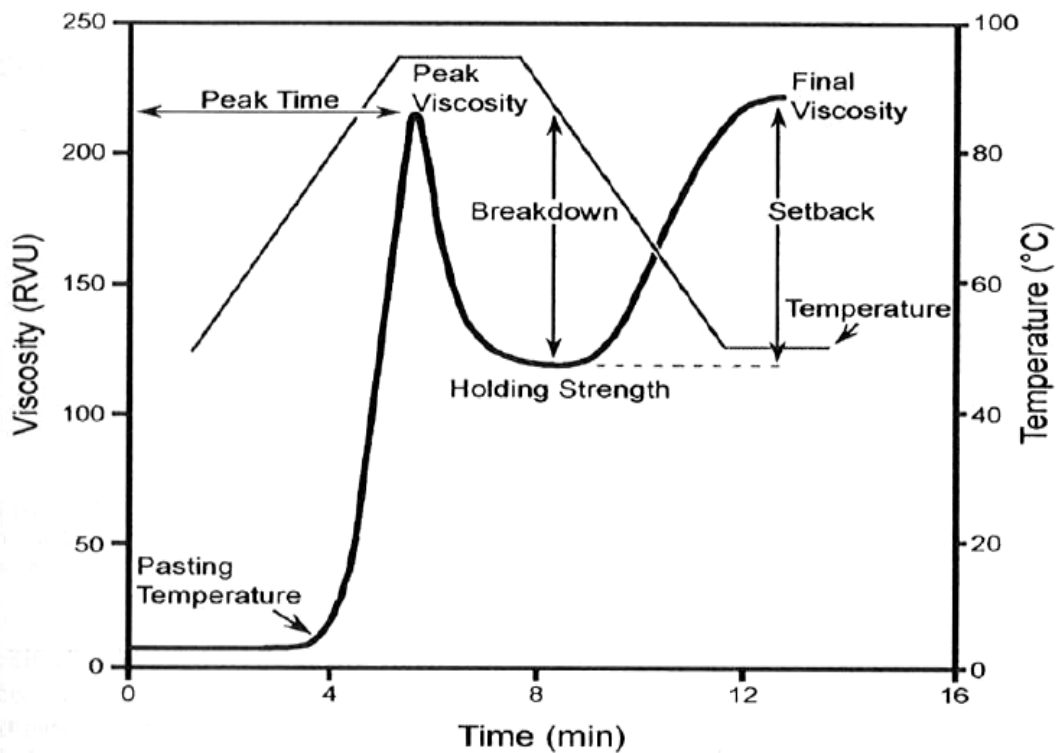
ที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งจะคืนตัวได้ดี ในช่วง pH 5-7 แป้งสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุด หากมีปริมาณอะไมโลสสูง จะเกิดการคืนตัวได้เร็วมากและเร็วกว่าแป้งที่มีอะไมโลเพคตินสูง อัตราการคืนตัวจะสูงสุดที่หน่วยของอะไมโลสเท่ากับ 100-200 การทำให้อะไมโลสที่คืนตัวกลับมาละลายอีกครั้งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100-160°C ส่วนอะไมโลเพคตินมีผลต่อการคืนตัวน้อยมาก

2.3.1.5 สมบัติด้านความหนืด

ในมุมมองของผู้บริโภค สมบัติด้านความหนืดเป็นสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญต่อความยอมรับของผู้บริโภค ในการศึกษาสมบัติด้านความหนืดมักศึกษากระบวนการเจลลาทีโนเซชัน ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ pasting apparatus การตรวจสอบด้วย microscopic examinations เพื่อตรวจสอบ granule swelling และ loss of birefringence การวิเคราะห์ด้วย light transmittance และ DSC (Collison 1968,

Biliaderis et al 1986) การใช้ DSC เป็นวิธีการหนึ่งที่ยิยมใช้ ผลการวิเคราะห์ด้วย DSC คือ DSC thermograms โดยค่าที่ได้คือ enthalpy of gelatinization และอุณหภูมิต่างๆ ที่จะแสดงถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลาทีในเซชัน ได้แก่ onset (To), peak (Tp), และ conclusion (Tc) gelatinization temperatures (Tester and Karkalas 1996)

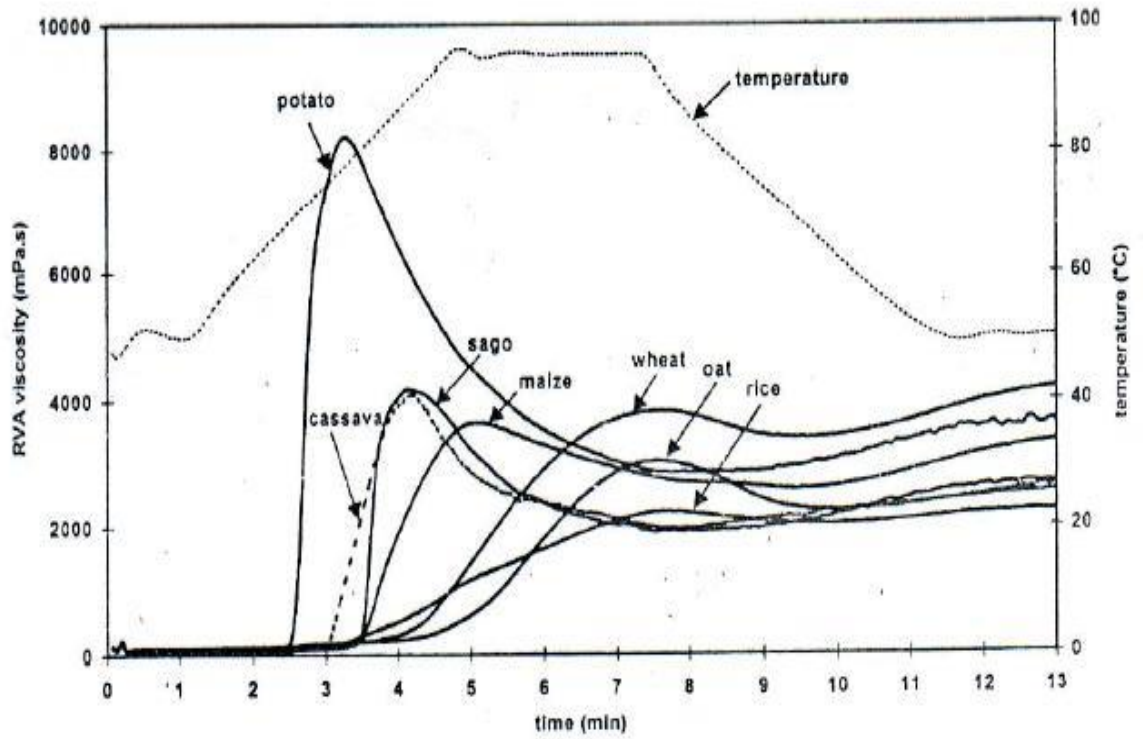
นอกจากนี้การศึกษาสมบัติด้านความหนืดหรือ pasting characteristics นั้น ยังนิยมศึกษาโดยใช้ Brabender Visco Amylograph และ Rapid Visco Amylograph ซึ่งปัจจุบันการใช้ Rapid Visco Analyzer (RVA) มีความนิยมมากขึ้น Rapid visco amylograph (ภาพที่ 2.1) เรียกว่า RVA เป็นเครื่องวัดความหนืดของพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) เช่น น้ำแป้ง (flour) สตาร์ช (starch) และสารให้ความหนืด (thickening agent) โดยจำลองอุณหภูมิและเวลาการทำให้น้ำแป้งร้อนและเย็น การเกิดเจลของแป้ง (gelatinization) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งระหว่างการหุงต้มจากการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA พบว่าสารละลายแป้งจะมีการเจลลาทีในซ้บางส่วนหรืออย่างสมบูรณ์เมื่อมีการให้ความร้อน โดยแป้งแต่ละชนิดจะมีลักษณะกราฟการเปลี่ยนแปลงของความหนืดความแตกต่างกันไป ภาพที่ 2.1 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของความหนืดของสารละลายแป้งด้วยเครื่อง RVA ซึ่งสามารถตรวจสอบและติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดในระหว่างการเกิดเจลลาทีในเซชันของแป้ง โดยให้ความร้อนกับแป้งที่มีน้ำในปริมาณที่มากเกินพอในช่วงอุณหภูมิ 50-95°C และทำให้เย็นลงจาก 95 เป็น 50°C (Newport Scientific, 1995)



รูปที่ 2.4 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

ที่มา : Newport Scientific (1995)

แป้งจากแหล่งต่างกันจะมีกราฟความหนืดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง พันธุ์พืช กระบวนการแปรรูป และการดัดแปรสตาร์ช (modified starch) ด้วยกรรมวิธีต่างๆ กราฟในภาพที่ 2.2 เปรียบเทียบความหนืดจาก RVA ของสตาร์ชธรรมชาติ หรือสตาร์ชดิบ (native starch) เช่น จากมันสำปะหลัง (cassava) ข้าวสาลี (wheat) ข้าว (rice) ข้าวโพด (maize) สาคุ (sagu) และ ข้าวโอ๊ต (oat) จะเห็นได้ว่าแป้งมันฝรั่งมีความหนืดเด่นชัด เนื่องจากมีหมู่ฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบมาก ทำให้มีความหนืดสูงสุด โดยแป้งมันฝรั่งจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและเกิดการพองตัวไม่จำกัดที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากแป้งจากพืชตระกูลหัวมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลต่ำ ทำให้เกิดเจลลาที่ในเซชันได้ง่ายและให้ความหนืดสูง แต่ความหนืดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับแรงเฉือน เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคุพบว่า มีลักษณะเริ่มต้นของการพองตัวคล้ายกันกับแป้งมันฝรั่ง แต่หลังจากนั้นจะเกิดการพองตัวลดลงอย่างมาก (Sriburi et al., 1999)



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งชนิดต่างๆ ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

ที่มา: Sriburi et al.(1999)

2.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแป้งจากเมล็ดเงาะ

Burkill et al. (1966) รายงานว่าในส่วน pericarp ของเมล็ดเงาะประกอบไปด้วยสารประเภท tannins และ saponins จากรายงานของ Ragasa et al. (2005) พบว่าในส่วนสกัดที่ได้จากการสกัดเมล็ด (*Naphelium lappaceum*) ด้วย Dichloromethane ประกอบไปด้วย diastereomeric monoterpene lactones และ butenolide siphonodin รวมทั้ง kaempferol 3-O-beta-D-glucopyranoside-7-O-alpha-L-rhamnopyranoside

Harahap et al. (2012) รายงานว่าเมล็ดเงาะ (*Naphelium lappaceum* L.) มีปริมาณไขมันสูงถึง 38.9% นอกจากนี้ยังมีปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรตและความชื้นเท่ากับ 12.4, 48.1 และ 3.31% ตามลำดับ แสดงให้เห็นปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่สูงเมื่อเทียบกับเมล็ดของพืชประเภทอื่น

เช่น เมล็ดฟักทองและเมล็ดแตงโมสำหรับปริมาณเถ้าและค่า water activity เท่ากับ 2.26% และ 0.73 ตามลำดับ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2555) ได้ศึกษาเนื้อในของเมล็ดเงาะและแปรรูปเป็นแป้ง จากนั้นนำไปแปรรูปเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ โดยเมื่อทดสอบความเป็นพิษแบบฉับพลันในปากของสัตว์ทดลองแล้วพบว่า “ปลอดภัย” ต่อการบริโภค

ทีมวิจัย โดย วิมลศรี และคณะ (2555) นำเมล็ดเงาะที่สกัดแยกไขมันออกแล้วมาศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี พบว่า ผงแป้งมีสีเหลืองอ่อนค่าความสว่าง (L) มีค่าเฉลี่ย 76.76 ค่าสีแดง (a) - 1.35 และค่าสีเหลือง (b) +17.49 มีโปรตีนประมาณ 10-12% ความชื้นเฉลี่ย 3-5% ค่า water activity 0.2-0.3 ร้อยละการละลาย 30-35 ค่ากำลังการพองตัวเฉลี่ย 10-15 และเมื่อทดสอบตรวจสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันทางปากกับสัตว์ทดลองพบว่าค่า LD₅₀ มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมและเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดได้นำแป้งจากเมล็ดเงาะไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ “น้ำสลัดแป้งเงาะไขมัน” ต่ำ โดยใช้แป้งเงาะเป็นสารเพิ่มความข้นหนืด (Thickening agent) แทนไข่แดงและน้ำมันพืชซึ่งใช้ในสูตรปกติ และเมื่อแปรรูปเป็นน้ำสลัดเฮาซันต์ไอส์แลนด์สูตรแป้งเงาะ พบว่ากลุ่มตัวอย่าง 200 คน พึงพอใจน้ำสลัดสูตรนี้มากกว่าน้ำสลัดสูตรปกติถึงกว่า 63%

Eiamwat et al.(2015) เตรียมแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะที่ผ่านการสกัดไขมันออกด้วยวิธี supercritical carbon dioxide extraction(SC-CO₂) พบว่าแป้งฟลาวัวร์ที่สกัดไขมันแล้วมีโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูงเหมือนกับแป้งสาลีเอนกประสงค์ การสกัดแป้งด้วยวิธีการดังกล่าวทำให้ได้แป้งที่มีความหนืดสูงขึ้นเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA (Rapid Visco Analyzer) อย่างไรก็ตามค่าความหนืดก็ยังคงต่ำกว่าแป้งฟลาวัวร์จากข้าวและจากข้าวสาลีเมื่อทดสอบตรวจสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันทางปากพบว่ามีความปลอดภัยต่อการบริโภค จากผลการวิเคราะห์ผู้วิจัยพบว่าแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะที่ผ่านการสกัดไขมันด้วยวิธีการนี้มีศักยภาพในการนำไปเป็นส่วนผสมของอาหารประเภทขนมหวาน

นอกจากนี้ในด้านการแปรรูปพบว่ายังมีการแปรรูปเมล็ดเงาะให้บริโภคได้โดยตรงในรูปแบบ “เมล็ดเงาะเคลือบปรุงรส” โดยได้พัฒนากระบวนการผลิตให้ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและปราศจากสารพิษ และทีมวิจัยพบว่าเมล็ดเงาะเป็นแหล่งของสาร “ทริปโตฟาน” (Tryptophan) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ช่วยให้หลับสบาย แต่ยังคงต้องวิจัยต่อเพื่อตัดสินใจว่าจะสนับสนุนให้มีการบริโภคเมล็ดเงาะหรือไม่ เนื่องจากสารที่พบนี้ไม่เป็นอันตรายต่อผู้มีความดันโลหิตสูงและผู้ขยายบางประเภท

นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ จากเงาะ อาทิ น้ำส้มสายชูหมักและน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มเพื่อสุขภาพจากน้ำเงาะ โยอาหารจากเปลือกเงาะซึ่งใช้ผสมในอาหารหลายประเภท เช่น ลูกชิ้น ไส้กรอก ไอศกรีม เบเกอรี่ (ใช้แทนแป้งสาลีได้ 30%) เงาะเชื่อมอบแห้งในน้ำเสาวรส และเนื้อเงาะแผ่นกรอบซึ่งให้รสชาติคล้ายมันฝรั่ง เป็นต้น

ในด้านการใช้บำบัดอาการจากโรคต่างๆ เงาะมีคุณสมบัติในการแก้อาการท้องร่วงชนิดรุนแรงโดยให้ผลดีเมื่อรับประทานผลสด นอกจากนี้ผลเงาะเมื่อนำมาต้ม น้ำที่ได้มีสรรพคุณเป็นยาแก้ไอเสบ ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย รักษาอาการอักเสบในช่องปากและโรคบิดท้องร่วง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 เมล็ดเงาะพันธุ์โรงเรียน บริษัทเอราวัณ ฟู้ดส์ จังหวัดสมุทรสาคร

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 ตู้แช่แข็ง -20 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Thermo ประเทศไทย

3.2.2 ตู้แช่เย็น 4 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Thermo ประเทศไทย

3.2.3 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อกล้วยน้ำไทเตาอบ ประเทศไทย

3.2.4 เครื่องโม่แห้ง Rotor Beater Mill ยี่ห้อ Retsch GmbH ประเทศเยอรมนี

3.2.5 เครื่องเขย่าตะแกรง และตะแกรงร่อน ยี่ห้อ Retsch รุ่น AS 200 ประเทศเยอรมนี

3.2.6 เครื่องสกรูเพรส ยี่ห้อ ไทยนต์ รุ่น TP-5 ประเทศไทย

3.2.7 อ่างน้ำร้อน Water Bath ยี่ห้อ Memert ประเทศเยอรมนี

3.2.8 ชุดระเหยตัวทำละลาย ยี่ห้อ Buchi ประเทศ สวิสเซอร์แลนด์

3.2.9 เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ HunterLab รุ่น MiniScan EZ ประเทศเยอรมนี

3.2.10 เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius ประเทศเยอรมนี

3.2.11 เครื่องเซ็นติฟิวส์ ยี่ห้อ Hettich Zentaifugen ประเทศเยอรมนี

3.2.12 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่างยี่ห้อ Hanna ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.13 เครื่องดูดกลืนแสง ยี่ห้อ Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น

3.2.14 เครื่องผสม Vortex ยี่ห้อ Scientific Industries ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3 สารเคมี

- 3.3.1 เฮกเซน Hexane ยี่ห้อ Flukaบริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3.3.2 α -Tocopherol ยี่ห้อ Merck บริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3.3.3 3.3.3 ISO-Octanol ยี่ห้อ Merck บริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3.3.4 2,2-Diphenyl -1-picrylhydrazyl (DPPH) ยี่ห้อ Merck บริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3.3.5 Ethanol 99.99% ยี่ห้อ Fluka บริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3.3.6 Linoleic Acid ยี่ห้อ Merck บริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3.3.7 Potassium Dihydrogen Phosphate ยี่ห้อ Flukaบริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3.3.8 Ferrous Chloride ($\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ยี่ห้อ Fluka บริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3.3.9 Ammonium Thiocyanate ($\text{NH}_4 \text{SCN}$) ยี่ห้อ Flukaบริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3.3.10 Hydrochloric Acid (HCL) ยี่ห้อ Flukaบริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3.3.11 Sodium Hydroxide (NaOH) ยี่ห้อ Flukaบริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3.3.12 Ferric Chloride ยี่ห้อ Fluka บริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3.3.13 Ferrozine ยี่ห้อ Merck บริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3.3.14 Folin & Ciocalteu's reagent ยี่ห้อ Merck บริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3.3.15 Gallic Acid Monohydrateยี่ห้อ Merck บริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3.3.16 Sodium Carbonate (Na_2CO_3) ยี่ห้อ Flukaบริษัท อิตัลมาร์ จำกัด

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพ สมบัติการป้องกันแสงแดดสมบัติต้านออกซิเดชันสมบัติด้านการอักเสบและความเป็นพิษของไขมันจากเมล็ดเงาะ

3.4.1.1 การเตรียมตัวอย่างไขมันจากเมล็ดเงาะ

1) การเตรียมเมล็ดเงาะ

นำเมล็ดเงาะพันธุ์โรงเรียนที่เหลือทิ้งจากบริษัท เอร่าวิมฟู้ดส์ จำกัด จังหวัด สมุทรสาคร ในระหว่างเดือน กันยายน พ.ศ. 2558 (รูปที่3.1ก) โดยทำการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออก แยกเมล็ดเงาะที่สมบูรณ์ นำมาทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด แช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อลอกเอาเยื่อใยและเปลือกที่ติดเมล็ดออกให้หมด (รูปที่3.1ข) นำเมล็ดเงาะที่ได้วางให้สะเด็ดน้ำ นาน 15 นาที ชั่งน้ำหนักเมล็ดเงาะแล้วนำไปใส่ถาดอลูมิเนียมอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างเมล็ดเงาะมีความชื้นประมาณร้อยละ 8 โดยน้ำหนักตามวิธีของนิธิยา รัตนาปนนท์ (2548) แล้วจึงนำไปทำการสกัดไขมัน



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.1 เมล็ดเงาะ (ก) ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปและ (ข) ที่ลอกเปลือกออก

2) การเตรียมไขมันด้วยวิธีการบีบเย็น

นำเมล็ดเงาะที่ได้จากข้อ 3.1.1.1 มาสกัดไขมันโดยนำเมล็ดเงาะใส่ลงกรวยของเครื่องสกรูเพรส ยี่ห้อไทยนัต รุ่น TP-5 (รูปที่3.2 ก) ซึ่งการบีบอัดแบบใช้เกลียวอัดนี้วัสดุจะถูกคั้นด้วยแรงผ่านเกลียวที่จะเป็นตัวบดอัด เพื่อบีบเอาของเหลวออก ทั้งนี้การส่งกำลังจากเพลาสู่เกลียวเป็นวิธีที่ทำให้เกิดการอัดสูง โดยที่เกลียวมีความห่างของเกลียวเท่ากับ 15 มิลลิเมตร การอัดจะเกิดขึ้นระหว่างเกลียวกับผนังกระบอกจึงทำให้มีความเสียดทานสูงระหว่างการบีบคั้นเป็นผลให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งความร้อนนี้จะช่วยลดความหนืดของน้ำมัน ความจุในการทำงานของเครื่องอยู่ในระดับ 15-20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราความเร็ว 25 รอบ/นาที กำลังที่ใช้ 220 โวลต์ และมีความลึกของกรวย 30 เซนติเมตรในการทำงานของเครื่อง เมื่อใส่เมล็ดเงาะแล้ว เมล็ดเงาะถูกส่งเข้าไปยังเครื่องอัดบีบเกลียวคู่ ทำการอัดและบีบเมล็ดเงาะทำให้ของเหลวหรือไขมันและ

ของแข็งหรือกากแยกออกจากกัน (รูปที่ 3.2ข) โดยเส้นของเกลียวทั้งสองหุ้มด้วยโครงตะแกรง ที่เป็นตะแกรง หยาบด้านนอกและมีตะแกรงละเอียดด้านในเพื่อแยกกาก กากจะออกทางปลายเกลียวด้านตรงกันข้ามด้านเข้า ส่วนของไขมันจะไหลออกมาตลอดแนวโครงตะแกรงจนเมล็ดงาหมดและ ได้ไขมันเมล็ดงา จากนั้นจึงนำมา กรอง จึงได้น้ำมันเมล็ดงา (รูปที่ 3.3) จากนั้นจึงเก็บไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -40°C เพื่อนำไปวิเคราะห์ และ เก็บรักษาไว้ไม่เกิน 2 เดือน

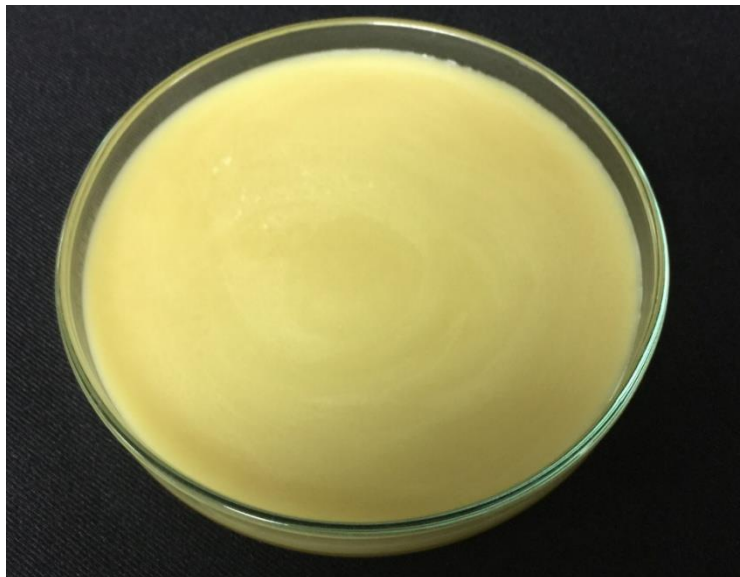


(ก)



(ข)

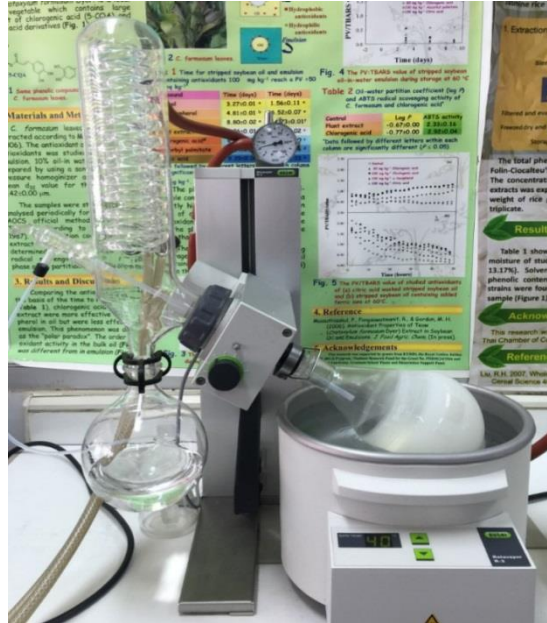
รูปที่ 3.2 เครื่อง (ก) ปีบไขมันแบบเย็น และ (ข) การไหลออกของไขมันเมล็ดงา



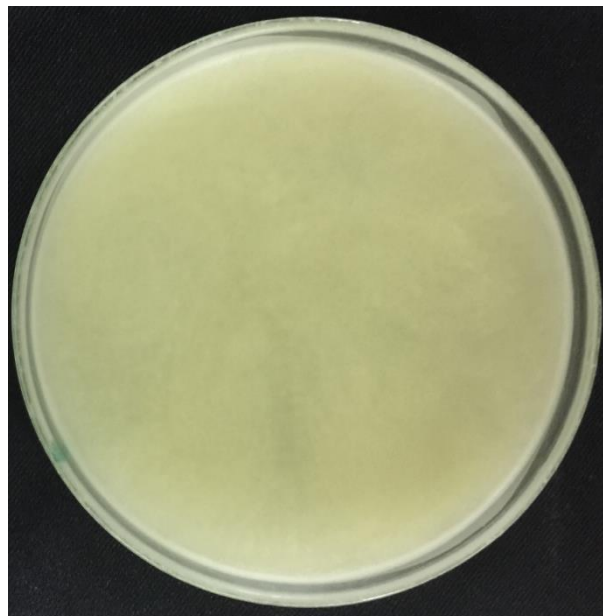
รูปที่ 3.3 ไขมันเมล็ดงาสกัดเย็น

3) การเตรียมไขมันด้วยวิธีการสกัดแบบ Soxhlet

นำเมล็ดงาที่ได้จากข้อ 3.1.1.1 มาสกัดไขมันแบบ Soxhlet extraction โดยนำเมล็ดงา 500 กรัมสกัดด้วยเฮกเซน 2500 กรัม ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไประเหยด้วยเครื่อง Rotary evaporator (รูปที่ 3.4) จนตัวทำละลายระเหยหมดได้ตัวอย่างน้ำมันดังรูปที่ 3.5 จากนั้นจึงเก็บไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -40°C เพื่อนำไปวิเคราะห์ และเก็บรักษาไว้ไม่เกิน 2 เดือน



รูปที่ 3.4 เครื่อง rotary evaporator



รูปที่ 3.5 ไขมันเมล็ดงาสกัดแบบ Soxhlet

3.4.1.2 การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของไขมันเมล็ดเงาะ

นำไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดทั้ง 2 วิธีมาทำการวิเคราะห์ค่า ผลผลิตที่ได้ สี Peroxide value (PV) Saponification value (SV) Acid value (AV) Iodine value (IV) Unsaponifiable matter (SM) Refractive index (RI) Melting point Fatty acid profile Triglyceride diglyceride และ free fatty acid

1) ผลผลิตที่ได้

คำนวณปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ (Yield) จากการสกัดไขมันเมล็ดเงาะโดยการชั่งน้ำหนักไขมันเมล็ดเงาะที่ได้ และน้ำหนักเมล็ดเงาะเริ่มต้นที่อบแห้งแล้ว โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้} = (W1 / W2) \times 100$$

$$W1 = \text{น้ำหนักไขมันเมล็ดเงาะที่ได้สูงสุด}$$

$$W2 = \text{น้ำหนักเมล็ดเงาะอบแห้ง}$$

2) สี

ทำการวัดค่าสี L^* a^* b^* ของไขมันเมล็ดเงาะด้วยเครื่อง HunterLab รุ่น MiniScan EZ โดยนำตัวอย่างไขมันเมล็ดเงาะที่อุณหภูมิห้อง ไปวัดค่าสี โดยค่าสีที่อ่านได้มีดังนี้

L^* คือ ค่าของความสว่าง ถ้าค่ายิ่งสูงความสว่างยิ่งมาก

a^* คือ ค่าของสีแดง (+) จนถึงสีเขียว (-)

b^* คือ ค่าของสีเหลือง (+) จนถึงสีน้ำเงิน (-)

3) Peroxide value (PV)

ทำการวัดค่าเปอร์ออกไซด์ Peroxide Value ด้วยวิธี AOCS (2003) โดยชั่งไขมันตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 0.05 กรัม ลงขวดชมพูปริมาตร 250 มิลลิลิตร ทำ Blank ไปพร้อมกันโดยไม่ต้องใส่ไขมัน เติมตัวทำละลายผสม (กรดอะซีติก 3 ส่วน และคลอโรฟอร์ม 2 ส่วน โดยปริมาตรต่อปริมาตร) 30 มิลลิลิตร เขย่านาน 1 นาที เติมสารละลายอิมัลชันของโพแทสเซียมไอโอไดด์ 0.5 มิลลิลิตร เก็บในที่มืดนาน 1 นาที เติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 มิลลิลิตร และเขย่า ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจนสารละลายเกือบไม่มีสี เติมสารละลายน้ำแป้งปริมาตร 1 มิลลิลิตร ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจนถึงจุดยุติ คือจนกระทั่งสารละลายสีน้ำเงินฟ้าหมดและสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียม-ไทโอซัลเฟตที่ใช้กับไขมันตัวอย่าง (A มิลลิลิตร) และที่ใช้กับ Blank (B มิลลิลิตร) จากนั้นทำการคำนวณจากสูตร

$$\text{ค่าเปอร์ออกไซด์} = ((S-B) \times \text{ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต}) / (\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)})$$

เมื่อ S = Sample Titration (ปริมาตรโซเดียมไทโอซัลเฟต)

B = Blank Titration

4) Saponification value (SV)

ทำการวิเคราะห์ค่าสaponification (Saponification Number) ด้วยวิธี AOCS (2009) โดยนำไขมันไปละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปกรอง แล้วชั่งไขมันซึ่งผ่านการกรองแล้วประมาณ 1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 0.5 นอร์มัล 50 มิลลิลิตร รีฟลักซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 1 มิลลิลิตร ไตเตรตด้วยสารละลายกรดไฮโดร-คลอริกเข้มข้น 0.5 นอร์มัล จนสีชมพูจางหายไป บันทึกปริมาณสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรต ทำการวิเคราะห์แบลงค์ควบคู่กับตัวอย่าง คำนวณค่าสaponification แล้วทำการคำนวณจากสูตร

$$\text{ค่าสaponification} = ((B-A) \times N) / M \times 56.1$$

เมื่อ B คือ ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

A คือ ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มัล)

M คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

5) Acid value (AV)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรด (Acid Value) ด้วยวิธี AOCS (2009) โดยชั่งไขมันตัวอย่างประมาณ 10 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask เติม Solvent Mixture ปริมาตร 125 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง หยด Phenolphthalein ลงไปในสารละลาย นำไปไทเตรตกับ KOH 0.1 นอร์มัล จนถึงจุดยุติ (จุดยุติเป็นสีชมพูนาน 30 วินาที) นำสารละลาย Blank มาไตเตรตกับ KOH 0.1 นอร์มัล จนถึงจุดยุติ คำนวณหาค่าปริมาณกรด จากนั้นคำนวณผลจากสูตร

$$\text{mg KOH/g of sample} = ((A-B) \times N \times 56.1) / W$$

เมื่อ A = ปริมาตรของ KOH 0.1 N ที่ใช้ในการไตเตรตกับตัวอย่าง (mL)

B = ปริมาตรของ KOH 0.1 N ที่ใช้ในการไตเตรตกับสารละลาย Blank (mL)

N = ความเข้มข้นของ KOH (Normality)

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

56.1 = มวลโมเลกุลของ KOH

6) Iodine value (IV)

ทำการวิเคราะห์ค่าไอโอดีน (Iodine Number) ด้วยวิธี AOCS (2012) โดยนำไขมันไปละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปกรอง แล้วชั่งไขมันซึ่งผ่านการกรองแล้วประมาณ 1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน เติมโซโคลเฮกเซน : กรดแอสติค (1 : 1 โดยปริมาตร) 15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายวิจส์ 25 มิลลิลิตร ผสมตัวอย่างไขมันเมล็ดเงาะและสารละลายให้เข้ากันดี ตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลาเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 10 โดย

น้ำหนัก 20 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ไตรเตทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนกระทั่ง สีเหลืองเริ่มจางลง เติมสารละลายน้ำแข็งเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก 2 มิลลิลิตร ไตรเตทต่อจนสีน้ำเงินหมดไป บันทึกปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตรเตท ทำการวิเคราะห์แบลงค์ควบคู่กับตัวอย่าง คำนวณค่าไอโอดีนจากนั้นทำการคำนวณโดยใช้สูตร

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

- เมื่อ B คือ ปริมาณไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตรเตทกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)
 A คือ ปริมาณไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตรเตทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
 N คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)
 M คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

7) Unsaponifiable matter (SM)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารที่สaponifyไม่ได้ (Unsaponifiable Matter) ด้วยวิธี AOCs (2009) โดยชั่งไขมันประมาณ 2 กรัม ให้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในขวดทรงกลม เติมเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ปริมาณ 25 มิลลิลิตร และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก 1.5 มิลลิลิตร รีฟลักซ์เป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วถ่ายของเหลวใส่ลงในกรวยแยก ล้างขวดทรงกลมด้วยน้ำร้อน 50 มิลลิลิตร รวมลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมไดเอทิลอีเทอร์ 50 มิลลิลิตร ปิดจุกแล้วเขย่าอย่างแรง ตั้งกรวยแยกให้ตรงจนของเหลวแยกออกเป็น 2 ชั้นเห็นได้ชัดเจน แยกของเหลวส่วนล่างออก (สารที่ทำปฏิกิริยากับต่าง) แล้วเทส่วนบนที่เป็นสารละลายไดเอทิลอีเทอร์ออกจากปากขวด ใส่ลงในกรวยแยกที่สองที่มีน้ำกลั่นอยู่ 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ของเหลวแยกเป็นสองชั้น แยกส่วนที่เป็นน้ำชั้นล่างออกทิ้ง ล้างสารละลายอีเทอร์อีกสองครั้งด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 20 มิลลิลิตร แล้วล้างด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มัล 20 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ทำเช่นนี้สลับกัน 2 ครั้งสุดท้ายล้างด้วยน้ำกลั่นจนน้ำที่ล้างไม่เกิดสีชมพูกับสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ เทสารละลายอีเทอร์ออกจากขวดกรวยแยกใส่ลงในขวดแก้วที่ชั่งน้ำหนักแล้ว ล้างกรวยแยกด้วย ไดเอทิลอีเทอร์ใส่รวมในขวดแก้ว ระเหยไดเอทิลอีเทอร์จนเหลือเล็กน้อย เติมอะซิโตน 2 - 3 มิลลิลิตร ไล่สารที่ระเหยได้ออกไปให้หมด นำขวดแก้วไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนสารที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับต่างมีน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนัก คำนวณค่าปริมาณสารที่สaponifyไม่ได้จากนั้นทำการคำนวณจากสูตร

$$\text{ร้อยละปริมาณสารที่สaponifyไม่ได้} = (100 \times A) / M$$

- เมื่อ A คือ น้ำหนักที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับต่าง (กรัม)
 M คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

8) Refractive index (RI)

ทำการวัดค่าการหักเหแสง (Refractive Index) ด้วยวิธี AOCS (2009) โดยนำไขมันไปละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง จากนั้นหยดตัวอย่างลงบนปริซึมของรีแฟรกโตมิเตอร์ให้ตัวอย่างกระจายทั่วปริซึม ปิดฝาครอบ แล้วอ่านค่าการหักเหแสง

9) Melting point

ทำการวัดหาค่าจุดหลอมเหลวโดยชั่งตัวอย่างใส่ Liquid Aluminum Pan สำหรับ DSC ประมาณ 2-3 มิลลิกรัม ปิดฝา Pan ให้สนิท จากนั้นตัวอย่าง และ Pan เปร่านำไปใส่เครื่อง DSC ตั้งค่า Temperature Program สำหรับการวิเคราะห์ ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจากอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ไปจนถึง 80 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 30 องศาเซลเซียสต่อนาที คงไว้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที นำโครมาโตแกรมที่ได้มาหาค่าเอาทาลปี อุณหภูมิจุดหลอม

10) Fatty acid profile

ทำการชั่งน้ำมันประมาณ 0.5 กรัม ใส่ในหลอดทดลองฝาเกลียว (Screw cap test tube) ขนาด 10 มิลลิตร จากนั้นเติมโทลูอีน 2 ml และ 1% โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ในเมทานอล 2 ml ปิดฝาเกลียวให้แน่น เขย่าให้เข้ากัน นำไปใส่ในเตาไมโครเวฟใช้กำลังไฟ 1000 วัตต์ เป็นเวลา 10 วินาที ตั้งทิ้งไว้สักครู่ หลังจากนั้นเติมกรดอะซิติกเพื่อหยุดปฏิกิริยา และเติมน้ำกลั่นเพื่อให้เกิดการแยกชั้น ดูดส่วนบนเก็บไว้ล้างด้วยน้ำกลั่น 2-3 ครั้ง แล้วจึงเติม Na_2SO_4 (Anhydrous) เพื่อจับน้ำที่ค้างอยู่

หลังจากที่เตรียมอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์จากตัวอย่างน้ำมันแล้ว นำมาวิเคราะห์กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี โดยใช้คอลัมน์ Rtx-Wax 30m x 0.32mm x 0.25 μm (Ceosbond Carbowax polyethylene glycol) ใช้ตัวตรวจวัดแบบเฟลมไอออไนเซชันสถานะที่ใช้ในการทดลอง

- แก๊สตัวพา (Carrier gas): แก๊สไนโตรเจน
- ความดันแก๊ส: แก๊สไนโตรเจน 75 KPa
- : แก๊สไฮโดรเจน 60 KPa
- : แก๊สออกซิเจน 5 KPa
- อุณหภูมิ: อินเจคเตอร์ (Injector port) 230 องศาเซลเซียส
- : เครื่องตรวจวัด (Detector) 230 องศาเซลเซียส
- : เตาอบ (Oven) แบบสภาวะโปรแกรมอุณหภูมิ (Temperature Program) อุณหภูมิเริ่มต้น 40 เพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียสต่อ นาที จนถึงอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส
- ปริมาณสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าไป: 0.2 ไมโครลิตร split less 100: 1

11) Triglyceride, diglyceride, free fatty acid

ทำการวิเคราะห์ Triglyceride, diglyceride, free fatty acid ด้วย High-performance size-exclusion chromatography ตามวิธีของ Kittirattanapiboon and Krishangkura (2008)

3.4.1.3 การศึกษาสมบัติการป้องกันแสงแดดของไขมันเมลิตงะ

a) ชั่งไขมันเมลิตงะที่ได้จากการสกัด 0.5 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย ISO-Octanol จะได้สารละลายของสารสกัดหยาบที่มีความเข้มข้น 5000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

b) ปิเปตสารละลายของไขมันเมลิตงะที่มีความเข้มข้น 5000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 0.50, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย ISO-Octanol จะได้สารละลายของไขมันเมลิตงะที่มีความเข้มข้น 100, 200, 300, 400 และ 500 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ปิเปตสารละลายของไขมันเมลิตงะที่มีความเข้มข้นต่างๆ มา 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง เติม 95 % Ethanol 2 มิลลิลิตรลงไปทุกหลอดทดลองผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (Vortex) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 290 - 320 นาโนเมตร

c) ปิเปตสารละลายสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 0.50, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย ISO-Octanol จะได้สารละลายของไขมันเมลิตงะที่มีความเข้มข้น 100, 200, 300, 400 และ 500 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ปิเปตสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่างๆ มา 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง เติม 95 % Ethanol 2 มิลลิลิตรลงไปทุกหลอดทดลองผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (Vortex) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 290 - 320 นาโนเมตรจากนั้นทำการคำนวณจากสูตร

$$SPF_{spectrophotometric} = CF \times \sum_{290}^{320} EE(\lambda) \times I(\lambda) \times Abs(\lambda)$$

โดย CF มีค่าเท่ากับ 10 เป็นค่า correction factor

$EE(\lambda) \times I(\lambda)$ คือค่า erythermal effect spectrum กับ solar intensity spectrum มีค่าดังตารางที่ 3.1

$ABS(\lambda)$ คือ ค่า การดูดกลืนแสงตัวอย่าง ที่ความยาวคลื่นนั้นๆ

ตารางที่ 3.1 ค่า EE (λ) x I (λ)

Wavelength (λ nm)	EE x I (normalized)
290	0.0150
295	0.0817
300	0.2874
305	0.3278
310	0.1864
315	0.0839
320	0.0180
Total	1

EE – erythema effect spectrum; I – solar intensity spectrum

3.4.1.4 การศึกษาสมบัติต้านออกซิเดชันของไขมันเมล็ดเงาะ

1) Oxidative stability test

ชั่งตัวอย่าง 5 กรัมใส่ใน vial เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 56 ชั่วโมงทำการสุ่มตัวอย่างทุก 8 ชั่วโมงเพื่อนำมาวัด peroxide value (PV) และ Thiobarbituric acid and reactive substances (TBARs) value

การวิเคราะห์ PV ทำเช่นเดียวกับข้อ 3) ใน 3.4.1.2

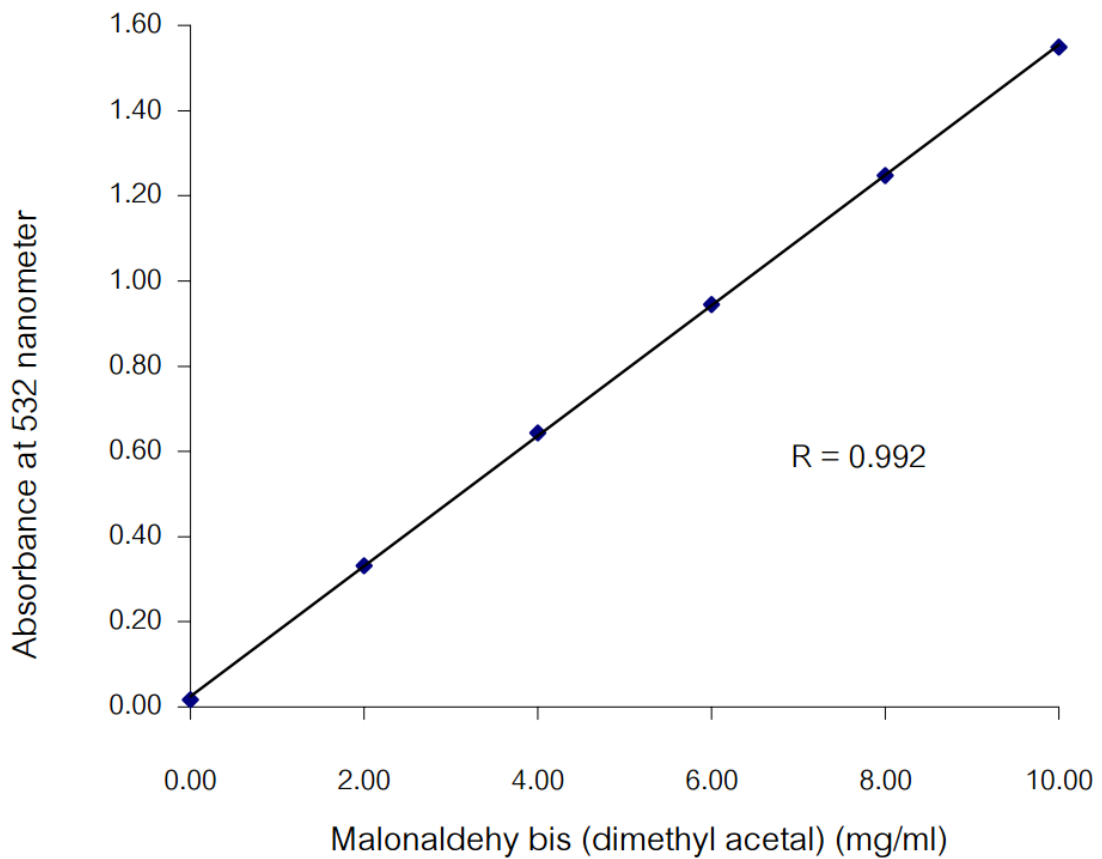
การวิเคราะห์ TBARs ตามวิธีของ Buege and Aust (1978) โดยการเตรียมสารละลาย TBARs ดังนี้

ผสมกรดไทโอบาปีทริก 0.0375 กรัม กรดไตรคลอโรอะซีติก 15 กรัม และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.25 โมลาร์ 0.875 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตร จนได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

จากนั้นทำการทดลองดังต่อไปนี้

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 15 มิลลิลิตร แล้วผสมกับสารละลาย TBARS 2.5 มิลลิลิตร และไฮโมจิเนสเป็นเวลา 2 นาที
2. เทตัวอย่างลงในหลอดทดลอง แล้วนำไปวางลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที

3. ทำให้เย็นโดยนำหลอดทดลองไปไหลผ่านน้ำเป็นเวลา 2 นาที
4. นำตัวอย่างไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็วรอบ 3600xg นาน 20 นาที
5. นำสารละลายใส่ที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ 532 นาโนเมตร
6. เตรียมกราฟมาตรฐาน โดยใช้ malonaldehy bis (dimethyl acetal) (MDA) ที่ความเข้มข้นจาก 0 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และแสดงผลค่า TBARS ในรูปของมาโลอัลดีไฮด์ต่อกรัมของตัวอย่าง



รูปที่ 3.6 Standard curve for calculate malonaldehyde content by use Malonaldehy bis (dimethyl acetal)

2) Total phenolic content

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic) โดยชั่ง Sodium Chloride 1.875 กรัม ละลายปรับปริมาตรด้วยน้ำให้ได้ 25 มิลลิลิตร จากนั้นชั่งไขมันเมล็ดเงาะ 0.1 กรัม ละลายปรับปริมาตรด้วย ISO-Octanol ให้ได้ 10 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง นำไปเขย่าให้สารผสมกันด้วยเครื่องผสม (Vortex) ดูดสารละลายไขมันเมล็ดเงาะ 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสาร Folin 2 มิลลิลิตร ดูดสารละลาย Sodium Chloride 0.8 มิลลิลิตร นำไปเขย่าให้สารผสมกันด้วยเครื่องผสม (Vortex) ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มืด นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร และนำค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้ มาเทียบคำนวณเป็น mM alpha-tocopherol equivalent per gram oil

3) Antioxidant activity

a) 2, 2- diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radical assay

ชั่งสารมาตรฐาน α -Tocopherol 0.1 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย ISO-Octanol จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐาน ที่มีความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 0.125, 0.25, 1.25, 2.50, 3.75, 5.00 และ 6.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย ISO-Octanol จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.5, 1.0, 5.0, 10, 15, 20 และ 25 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ

ชั่งไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัด 0.1 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย ISO-Octanol จะได้สารละลายของสารสกัดหยาบที่มีความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายของไขมันเงาะที่มีความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 0.0125, 0.125, 0.625, 0.50, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย ISO-Octanol จะได้สารละลายของสารสกัดหยาบที่มีความเข้มข้น 0.01, 0.1, 0.5, 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ

ปิเปตสารละลายมาตรฐานและตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติม 0.2 mM DPPH ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงไปทุกหลอดทดลองผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (Vortex) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำคำนวณหา % Inhibition จากสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = \frac{\text{ADPPH} - (\text{A1} - \text{AS}) \times 100}{\text{ADPPH}}$$

ADPPH = ค่าดูดกลืนแสงของ DPPH

A1 = ค่าดูดกลืนแสงของ DPPH + Sample

As = ค่าดูดกลืนแสงของ Sample
ทำการพล็อตกราฟหาค่า IC₅₀

3) Metal chelating activity

ทำการทดลองโดยการเตรียมสารและตัวอย่าง Ferric Chloride 5.0 มิลลิกรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำให้ได้ 25 มิลลิกรัม จากนั้นเตรียมสารละลาย Ferrozine 12.5 มิลลิกรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำให้ได้ 25 มิลลิกรัม แล้วทำการชั่ง α -Tocopherol 0.01 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิกรัม ปรับปริมาตรด้วย Absolute Ethanol จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม

ปิเปตสารละลายมาตรฐาน ที่มีความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ปริมาตร 5.00 มิลลิกรัม ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิกรัม ปรับปริมาตรด้วย Ethanol Absolute จะได้สารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 5.0, 10, 15, 20 และ 25 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ

ทำการชั่งไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัด 0.01 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิกรัม ปรับปริมาตรด้วย ISO-Octanol จะได้สารละลายของสารสกัดหยาบที่มีความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม แล้วปิเปตสารละลายของไขมันเมล็ดเงาะที่มีความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ปริมาตร 5.0 มิลลิกรัม ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิกรัม ปรับปริมาตรด้วย Ethanol Absolute

จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐาน ปริมาตร 3 มิลลิกรัม ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลาย Ferric Chloride 80 ไมโครกรัม และสารละลาย Ferrozine 160 ไมโครกรัม ลงไปทุกหลอดทดลองผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (Vortex) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 562 นาโนเมตร และทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

ปิเปตสารละลายของสารสกัดหยาบ ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลาย Ferric Chloride 80 ไมโครกรัม และสารละลาย Ferrozine 160 ไมโครกรัม ลงไปทุกหลอดทดลองผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (Vortex) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 562 นาโนเมตร และทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำทำการคำนวณโดยใช้สูตร

$$\% \text{ Metal chelating activity} = ((\text{Absorbance}_{\text{control}} - \text{Absorbance}_{\text{test}}) / \text{Absorbance}_{\text{control}}) * 100$$

3.4.1.5 การศึกษาสมบัติด้านการอักเสบของไขมันเมล็ดเงาะด้วยวิธี Antiproteinase Action

ชั่ง Tris 6.06 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำให้ได้ 1,000 มิลลิกรัม Hydrochloric acid 4.2 มิลลิกรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำให้ได้ 1,000 มิลลิกรัม ดูด Tris 50 มิลลิกรัม + Hydrochloric acid 40.3 มิลลิกรัม ดูด Tris HCL 10 มิลลิกรัม ปรับ pH เท่ากับ 7.4 ปรับปริมาตรด้วยน้ำให้ได้ 500 มิลลิกรัม ดูด Tris HCL 10 มิลลิกรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำให้ได้ 500 มิลลิกรัม เตรียมสารละลายตัวอย่างไขมันเมล็ดเงาะ ชั่งไขมันเมล็ดเงาะ 0.01 มิลลิกรัม ละลายกับ ISO-Octanol ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิกรัม ชั่ง Trypsin 0.003 กรัม ละลายใน Tris HCL 50 มิลลิกรัม + สารละลายไขมันเมล็ดเงาะ 1 มิลลิกรัม บ่มในอ่างควบคุม

อุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ซึ่ง Potassium Dihydrogenphosphate (KH_2PO_4) 68.045 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำให้ได้ 500 มิลลิลิตร ซึ่ง Potassium Hydrogen Phosphate Anhydrous (K_2HPO_4) 87.09 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำให้ได้ 500 มิลลิลิตร ซึ่ง Casin 0.01 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำ ให้ได้ 100 มิลลิลิตร ผสม KH_2PO_4 9.4 มิลลิลิตร + K_2HPO_4 40.6 มิลลิลิตร + Casin 1 มิลลิลิตร บ่มที่ อุณหภูมิห้อง นาน 20 นาที เติม 70% Perchloric Acid 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 3000 rpm นาน 10 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 210 นาโนเมตรจากนั้นนำค่าที่ได้ไปหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง การเสียดสภาพของโปรตีนจากสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = (\text{AbsControl} - \text{AbsSample}) \times 100 / \text{AbsControl}$$

3.4.1.6 การศึกษาความระคายเคืองทางผิวหนังของไขมันเมล็ดเงาะ

ดำเนินการทดสอบตามวิธีการทดสอบหมายเลข 404 : Acute dermal irritation/ corrosion ของ OECD guidelines for testing of chemicals (2002) โดยห้องปฏิบัติการของสถาบัน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว)

3.4.2 การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพ สมบัติด้านความหนืด และสมบัติด้านหน้าที่ของแป้งหลังการสกัดน้ำมันแล้ว

3.4.2.1 การเตรียมตัวอย่างแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะ

3.4.2.1.1 การเตรียมแป้งดิบ

แป้งดิบ เตรียมจากการนำเมล็ดเงาะกะเทาะแยกเปลือกด้านนอกออกนำเนื้อด้านใน (seed kernel) อบแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช นำแป้งที่ร่อนได้ไปเก็บใส่ถุงพลาสติก ซิลปากถุง เก็บที่ 4°C แล้วนำแป้งที่ได้ไปศึกษาสมบัติต่างๆ ดังแสดงในขั้นตอนต่อไป

3.4.2.1.2 การเตรียมแป้งฟลาวัวร์ที่ผ่านการสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น

แป้งดิบที่ผ่านการสกัดแยกน้ำมันโดยวิธีการสกัดเย็น เตรียมจากเมล็ดเงาะกะเทาะแยกเปลือกด้านนอกออกนำเนื้อด้านใน (seed kernel) อบแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วนำไปสกัดน้ำมันออกโดยการสกัดเย็น ตามวิธีการในขั้นตอนการสกัดน้ำมันแป้งฟลาวัวร์ที่เหลือหลังการสกัดเย็น จะถูกนำมาอบแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช นำแป้งที่ร่อนได้ไปเก็บใส่ถุงพลาสติก ซิลปากถุง เก็บที่ 4°C แล้วนำแป้งที่ได้ไปศึกษาสมบัติต่างๆ ดังแสดงในขั้นตอนต่อไป

3.4.2.1.3 การเตรียมแป้งฟลาวัวร์ที่ผ่านการสกัดน้ำมันโดยการใช้ตัวทำละลาย

แป้งดิบที่ผ่านการสกัดแยกน้ำมันโดยการใช้ตัวทำละลาย เตรียมจากการนำแป้งดิบมาผ่านขั้นตอนการสกัดน้ำมันออกโดยโดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย ตามวิธีการในขั้นตอนการสกัดน้ำมัน แป้ง ฟลาวัวร์ที่เหลือหลังการสกัด จะถูกนำมาแผ่ในตะแกรงและผึ่งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไประเหยตัวทำละลายออกด้วยการอบแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช นำแป้งที่ร่อนได้ไปเก็บใส่ถุงพลาสติก ซิลปากถุง เก็บที่ 4°C แล้วนำแป้งที่ได้ไปศึกษาสมบัติต่างๆ ดังแสดงในขั้นตอนต่อไป

3.4.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งฟลาวัวร์ (Proximate Analysis)

แป้งดิบจากเมล็ดเงาะและแป้งฟลาวัวร์ที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกโดยสกัดเย็นและสกัดด้วยตัวทำละลาย ถูกนำวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย (crude fiber) เถ้า และพลังงาน (gross energy) ตามวิธีของ AOAC (2012)

3.4.2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี-กายภาพของแป้งฟลาวัวร์

นำแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะ ทั้ง 3 ชนิด คือ แป้งดิบ แป้งฟลาวัวร์สกัดเย็น และแป้งฟลาวัวร์สกัดด้วยตัวทำละลาย มาทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพดังนี้

3.4.2.3.1 ค่าสี

วัดค่าสีของแป้งฟลาวัวร์ โดยใช้ เครื่องวัดสี (HunterLab MiniScan EZ) โดยค่าสีที่อ่านได้ดังนี้

ค่า L^* คือ ค่าของความสว่าง ถ้าค่ายิ่งสูงความสว่างยิ่งมาก

ค่า a^* คือ ค่าของสีแดง (+) จนถึงสีเขียว (-)

ค่า b^* คือ ค่าของสีเหลือง (+) จนถึงสีน้ำเงิน (-)

3.4.2.3.2 ค่า pH

หาค่า pH ด้วยการนำแป้งฟลาวัวร์ 5 กรัมมาละลายน้ำ 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 30 นาที กรองแล้วนำส่วนใสมาวัดค่า pH ด้วย pH meter ตามวิธี มอก.274-2521

3.4.2.3.3 ปริมาณอะไมโลส

นำแป้งฟลาวัวร์ที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วทั้งสองวิธี มาวัดปริมาณอะไมโลสโดยการวัดด้วย colorimetric method การวัดใช้เครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงคลื่นแสง 610-620 นาโนเมตรและเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานอะไมโลส (Amylose Type III from Potato, Sigma-Aldrich) ที่แปรปริมาณอะไมโลสที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ (Juliano, 1984)

3.4.2.3.4 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

การศึกษาขนาดและลักษณะของเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM; JSM-6400 Jeol, Co., Ltd., Japan) โดยนำตัวอย่างโรยบน stub จากนั้นทำการเคลือบทองบน stub ที่มีตัวอย่างด้วยเครื่อง Ion sputterin device (JFC -110E, Jeol, Co., Ltd., Japan) และทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM ที่ค่าความต่างศักย์ 20 กิโลโวลต์

3.4.2.3.5 ศึกษาสมบัติทาง Thermodynamic

ศึกษาสมบัติทาง Thermodynamic ของแป้งฟลาวัวร์ด้วยวิธี Differential Scanning Calorimetry ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC 204 F1 Phoenix, NETZSCH, Germany) ตามวิธีของ เกือพันธ์ (2552)

a) การวัดอุณหภูมิและพลังงานในการเกิดเจลลาทีไนเซชัน (Gelatinization)

เตรียมตัวอย่างสารละลายแป้งฟลาวัวร์ที่ต้องการวัดกับน้ำกลั่น 70% โดยชั่งตัวอย่างแป้งฟลาวัวร์ 3.5 มิลลิกรัม น้ำหนักแห้ง ลงใน aluminium pan จากนั้นเติมน้ำกลั่นปิดด้วย cover ให้สนิท ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดสมดุลที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมงใส่ pan ตัวอย่างลงในช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง DSC และใช้ empty pan เป็น reference ให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 25-100°C ด้วยอัตรา 10°C ต่อนาที ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature) อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (peak temperature) และอุณหภูมิสุดท้าย (conclusion temperature) รวมทั้งค่าเอนทัลปีของการเกิดเจลลาทีไนเซชัน (enthalpy of gelatinization) จากนั้นนำตัวอย่างที่วัดค่าแล้วและยังคงปิดฝาสนิทไปเก็บที่ 5-10°C เป็นเวลา 7 วัน แล้วนำมาวัดการเกิดรีโทรกราเดชันต่อไป

b) การวัดอุณหภูมิและพลังงานในการเกิดรีโทรกราเดชัน (Retrogradation)

ใช้ตัวอย่างที่เก็บแช่เย็นและยังคงปิดฝาสนิท มาทำการวัดค่าอุณหภูมิการเกิดรีโทรกราเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) ให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 25-100 °C ด้วยอัตรา 10°C ต่อ นาที ทำการบันทึกค่า อุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature) อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (peak temperature) และอุณหภูมิสุดท้าย (conclusion temperature) รวมทั้งค่าเอนทัลปีของการเกิดรีโทรกราเดชัน (enthalpy of retrogradation)

คำนวณหาค่า degree of retrogradation จากสูตรดังนี้

$$\text{degree of retrogradation (\%)} = \frac{\text{enthalpy of retrogradation} \times 100}{\text{enthalpy of gelatinization}}$$

3.4.2.4 การศึกษาสมบัติด้านความหนืด (pasting properties)

วิเคราะห์คุณสมบัติด้านความหนืด (pasting properties) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว Rapid Visco Analyzer (RVA, Newport Scientific, Warriewood, Australia) ซึ่งตัวอย่างจำนวน 2.5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ลงใน RVA canister และเติมน้ำกลั่นลงใน RVA canister ให้มีน้ำหนักรวมทั้งหมดเป็น 27.5 กรัม จากนั้นผสมให้เข้ากัน เริ่มต้นการทำงานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เวลา 0-1 นาที ด้วยความเร็ว 960 รอบต่อนาที สำหรับ 10 วินาทีแรก แล้วลดลงเป็น 160 รอบต่อนาทีตลอดการวิเคราะห์ จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 95 องศาเซลเซียสในช่วงเวลาระหว่างนาทีที่ 1-6 และควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6.5 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงมาที่ 25 องศาเซลเซียสในช่วงเวลาระหว่างนาทีที่ 12.50-18.50 และควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.50 นาที รวมระยะเวลาการทดสอบ 20 นาที จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่อเวลาที่ได้ อ่านและบันทึกค่าต่าง ๆ ดังนี้

peak time : เวลาที่เกิดจุดสูงสุด (peak) ของความหนืด มีหน่วยเป็นนาที

pasting temperature : อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด หรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

peak temperature : อุณหภูมิที่เกิดจุดสูงสุด (peak) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

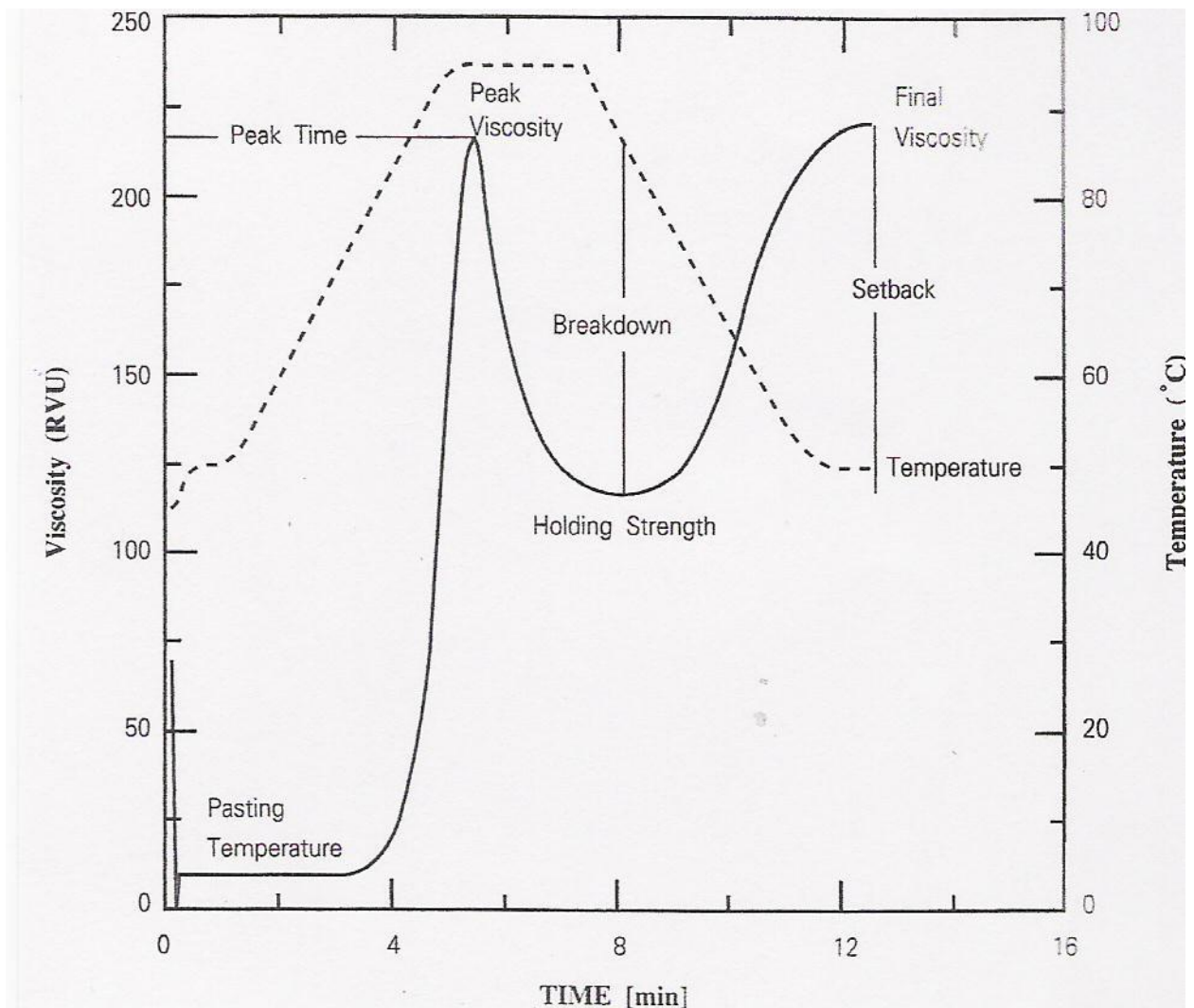
peak viscosity : ความหนืดที่จุดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU

holding strength : ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำเย็น มีหน่วยเป็น RVU

breakdown : ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

final viscosity : ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง มีหน่วยเป็น RVU

setback : ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA

ที่มา : Newport Scientific Pty, Ltd (1995)

3.4.2.5 การวิเคราะห์สมบัติด้านหน้าที่ (functional properties)

3.2.5.1 ค่าดัชนีการอุ้มน้ำ (water absorption index,WAI) และดัชนีการละลายน้ำ (water solubility index,WSI) (ดัดแปลงจากวิธีของ Anderson et al.,1969)

1. ชั่งตัวอย่างแบ่ง 0.5 กรัม โดยคิดเป็นน้ำหนักแบ่งแห้ง (A) ใส่ในหลอดเหวี่ยงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 cm หรือขนาด 25 ml เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร
2. บ่มตัวอย่างในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 30°C และคนตัวอย่างตลอดเวลาเป็นเวลา 30 นาที
3. นำไปปั่นเหวี่ยงด้วย เครื่องเซนตริฟิวจ์ความเร็วรอบ 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที (หรือความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที)
4. ดูดน้ำใสตอนบนใส่ moisture can ที่ทราบน้ำหนัก แล้วจึงชั่งน้ำหนัก โดยดูน้ำส่วนใสให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100°C อบจนกระทั่งแห้ง (จนน้ำหนักคงที่) นำไปเก็บไว้ใน Desiccators ที่ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบแห้งต่อประมาณ 10 นาที แล้ว เก็บไว้ใน Desiccators ที่ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก เมื่อได้น้ำหนักคงที่แล้ว จึงจดบันทึกน้ำหนักไว้ ลบ น้ำหนักของ moisture can ออก เป็นค่าน้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ (B)
5. ส่วนแบ่งเปียกที่อยู่ในหลอด นำไปชั่งน้ำหนักทั้งหมดแล้วหกลบน้ำหนักหลอดออก เป็นน้ำหนักแบ่งที่เปียก (C)

ทำการคำนวณดังนี้

$$\text{ดัชนีการละลายน้ำ (WSI)} = \frac{\text{น้ำหนักแบ่งส่วนที่ละลายน้ำ (B)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแบ่งแห้งเริ่มต้น (A)}}$$

$$\text{ดัชนีการอุ้มน้ำ (WAI)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนแบ่งหลังการปั่นเหวี่ยง (C)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแบ่งแห้งเริ่มต้น (A)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแบ่งแห้งเริ่มต้น (A)}}$$

3.4.2.5.2 ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน (Water and oil absorption capacities) โดยวิธีของ Manider et al. (2007)

การวิเคราะห์หาความสามารถในการดูดซับน้ำ ทำได้โดยชั่งตัวอย่างแบ่ง 3 กรัม น้ำหนักแห้ง ใส่ในหลอดเซนตริฟิวจ์ เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร นำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ด้วยความเร็วรอบ 3000 g เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นแยกส่วนใสทิ้งและนำมาบะบายน้ำอีกครั้งที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 25 นาที แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ดูดซับน้ำไว้ แล้วคำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำ ดังนี้

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

การวิเคราะห์หาความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ทำได้โดยชั่งตัวอย่างแบ่ง 0.5 กรัม น้ำหนักแห้ง ใส่ในหลอดเซนตริฟิวจ์ เติมน้ำมันถั่วเหลือง 6 มิลลิลิตร คนต่อเนื่องเป็นเวลา 1 นาที และทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที นำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ด้วยความเร็วรอบ 3000 g เป็นเวลา 25 นาที จากนั้นแยกส่วนที่เป็นน้ำมัน

ทิ้ง และคว่ำหลอดเซนตริฟิวจ์ เป็นเวลา 25 นาที แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ดูดซับน้ำมันไว้ แล้วคำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดังนี้

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

3.4.2.5.3 ความสามารถในการเกิดอิมัลชันและการรักษาความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion capacity, EC and emulsion stability, ES) โดยวิธีของ Jitngarmkusol et al. (2008)

การวิเคราะห์หาความสามารถในการเกิดอิมัลชัน ทำได้โดยชั่งตัวอย่างแป้ง 1 กรัม น้ำหนักแห้ง เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยการโฮโมจีไนซ์เป็นเวลา 30 วินาที เติมน้ำมันถั่วเหลือง 25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยการโฮโมจีไนซ์ เป็นเวลา 90 วินาที แบ่งใส่หลอดเซนตริฟิวจ์ 2 หลอด เท่าๆกัน หลอดที่ 1 นำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ด้วยความเร็วรอบ 1100 g เป็นเวลา 5 นาที นำค่าปริมาตรของอิมัลชันก่อนและหลังการหมุนเหวี่ยงมาคำนวณหาค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชัน ส่วนหลอดที่ 2 นำมาให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 85°C เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำค่าปริมาตรของอิมัลชันก่อนและหลังการหมุนเหวี่ยงมาคำนวณหาค่าการรักษาความคงตัวในการเกิดอิมัลชัน ดังนี้

$$\text{ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (\%)} = \frac{V_2 \times 100}{V_1}$$

$$\text{การรักษาความคงตัวในการเกิดอิมัลชัน (\%)} = \frac{V_3 \times 100}{V_1}$$

โดย V_1 = ปริมาตรของอิมัลชันก่อนเหวี่ยง

V_2 = ปริมาตรของสารละลายที่แยกชั้น

V_3 = ปริมาตรของสารละลายที่แยกชั้นหลังนำไปอุ่น

3.4.2.5.4 กำลังการพองตัว (swelling power) และการละลาย (solubility) ของแป้ง (ดัดแปลงจากวิธีของ Schoch, 1964)

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.1 (หรือ 0.3 – 0.5) กรัม โดยคิดเป็นน้ำหนักแป้งแห้ง (A) นำตัวอย่างแป้งใส่ในหลอดเหวี่ยงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 cm เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร

2. แช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 80 85 90 หรือ 95°C กวนตลอดเวลา นาน 30 นาที

3. นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเซนตริฟิวจ์ความเร็วรอบ 2,200 รอบ/นาที นาน 15 นาที

4. ดูดน้ำไสตอนบนในใส่ moisture can ที่ทราบน้ำหนักแล้วจึงชั่งน้ำหนัก โดยดูดน้ำส่วน
 ใสให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100°C อบจนกระทั่งแห้ง(จนน้ำหนัก
 คงที่) นำไปเก็บไว้ใน Desiccators ที่ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบแห้งต่อประมาณ 10 นาที แล้ว เก็บ
 ไว้ใน Desiccators ที่ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก เมื่อได้น้ำหนักคงที่แล้ว จึงจดบันทึกน้ำหนักไว้ ลบน้ำหนักของ
 moisture can ออก เป็นค่าน้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ (B)

5. ส่วนแบ่งเปียกที่อยู่ในหลอด นำไปชั่งน้ำหนักทั้งหลอดแล้วหกลบน้ำหนักหลอด
 ออกเป็นน้ำหนักแบ่งที่พองตัวแล้ว (C)

ทำการคำนวณดังนี้

$$\text{การละลาย (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักแบ่งส่วนที่ละลายน้ำ(B)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแบ่งแห้งเริ่มต้น(A)}}$$

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักแบ่งที่พองตัวแล้ว(C)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแบ่งแห้งเริ่มต้น(A)} \times (100 - \text{การละลาย(\%)})}$$

3.4.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ค่าที่ได้จากการทดลองทั้งหมดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จะถูกนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม
 SPSS โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพ สมบัติการป้องกันแสงแดด สมบัติต้านออกซิเดชัน สมบัติต้านการอักเสบ และความเป็นพิษของไซมันจากเมล็ดเงาะ

จากการศึกษาสัดส่วนของน้ำหนักของผลเงาะพันธุ์โรงเรียนที่นำมาทำการวิจัย มีสัดส่วนของผลเงาะดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักและร้อยละของสัดส่วนของผลเงาะ[‡]

สัดส่วนของผลเงาะ	น้ำหนัก (กรัม)		ร้อยละ	
	Rambutan variety Rongrean from Thailand	Rambutan variety Mamón Chino from Costa Rica*	Rambutan variety Rongrean from Thailand	Rambutan variety Mamón Chino from Costa Rica*
ทั้งผลเงาะ	17.12	27.4	100	100
เปลือกผล	7.53	13.2	44.0	45.7
ส่วนเนื้อผล	7.53	11.7	44.0	44.8
เมล็ด	2.05	2.53	12.0	15.6

[‡] Means of three replications;

*Means value from Issara et al (2014).

จากตารางพบว่า เงาะพันธุ์โรงเรียน ในจังหวัดสมุทรสาคร มีขนาดเล็กกว่าเงาะพันธุ์ *Mamón Chino* จาก Costa Rica ในงานวิจัยของ Issara et al (2014) จึงเป็นการยืนยันว่า ผลเงาะมีขนาดแตกต่างกันตามพื้นที่การเพาะปลูก ดิน ภูมิอากาศ ปุ๋ย ปริมาณน้ำ ความชื้น ปริมาณแสงแดด (Morgan, 1987)


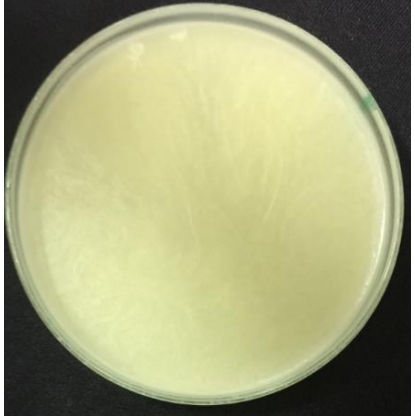
4.1.1 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของไขมันเมล็ดเงาะ

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี-กายภาพของไขมันเมล็ดเงาะได้แก่ ผลผลิตที่ได้ สี peroxide value (PV) saponification value (SV) acid value (AV) iodine value (IV) unsaponifiable matter (SM) refractive index (RI) และ melting point ของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการบีบเย็นและสกัดด้วย Soxhlet ได้ผลดังตารางที่ 4.2

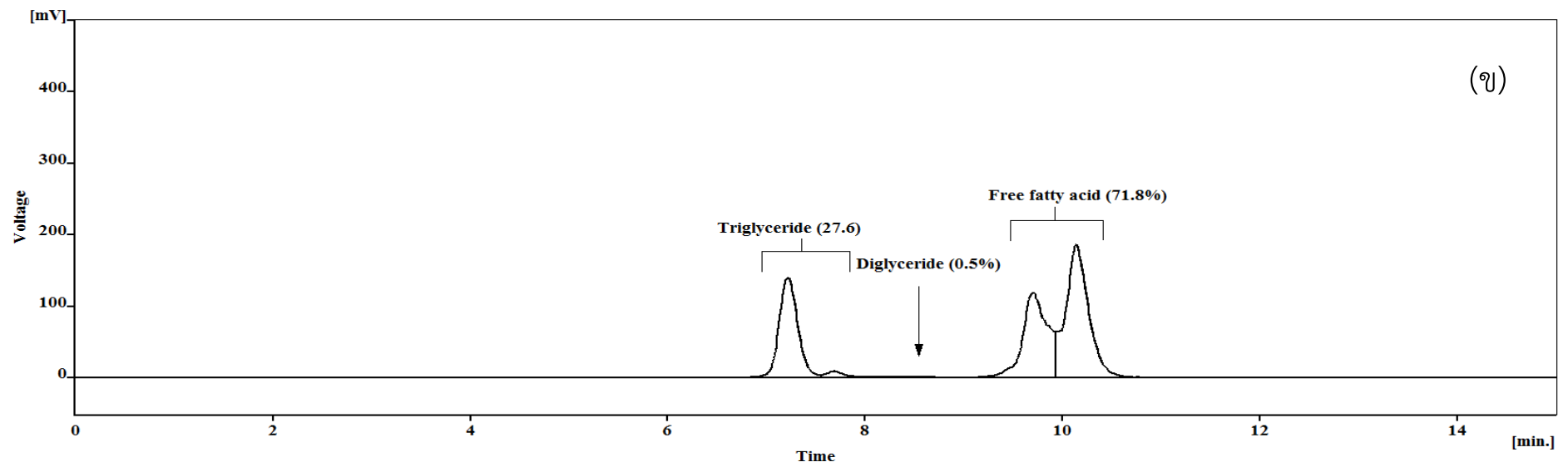
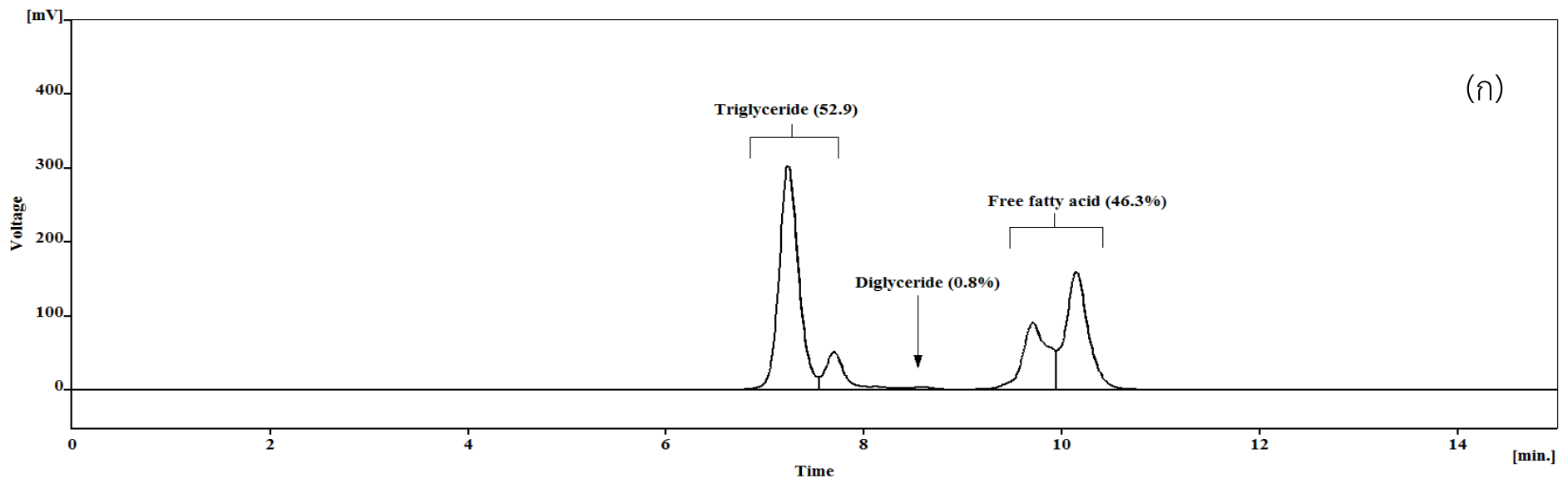
ปริมาณน้ำมันของเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็น (28.01%) มีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำมันจากการสกัดด้วย Soxhlet (46.74%) อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nadeem et al. (2015) ที่พบว่า การสกัดน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันด้วยวิธีสกัดเย็น (21.4%) ได้ปริมาณน้ำมันน้อยกว่าการสกัดด้วย Soxhlet (42.5%) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิต่ำในการสกัด แต่มีข้อดีคือ น้ำมันที่ได้มีความปลอดภัย และคุณภาพดีกว่า (Bavac et al., 2007) นอกจากนี้ Sirisompong et al. (2011) ได้รายงานปริมาณไขมันที่สกัดได้ของไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดด้วยเฮกเซนแบบ Soxhlet มีค่า 31.19 % ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ได้ในการวิจัยนี้ (46.74%) อาจเนื่องมาจากการเตรียมตัวอย่างเมล็ดเงาะที่แตกต่างกัน โดย Sirisompong et al. (2011) เตรียมเมล็ดเงาะให้มีความชื้น 5% แต่ในการทดลองนี้เตรียมเมล็ดเงาะให้มีความชื้น 8% ทั้งนี้การเตรียมตัวอย่างให้แห้ง ส่งผลต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้ (Naderet al., 2016) เมื่อพิจารณาค่าสีของน้ำมันเมล็ดเงาะพบว่าค่า L^* ของน้ำมันเมล็ดเงาะสกัดร้อนมีค่าสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับสีของน้ำมันเมล็ดเงาะที่สังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า น้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกเซนมีสีอ่อนกว่าที่สกัดแบบเย็น ทั้งนี้ Sirisompong et al. (2011) ได้รายงานค่าสีของไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดด้วยเฮกเซนแบบ Soxhlet มีค่า $L^* = 86.87 \pm 0.97$; $a^* = -2.06 \pm 0.48$; $b^* = 3.55 \pm 0.35$ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าสีที่ได้ในการทดลองนี้ (ตารางที่ 4.2)

ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีค่า 0.25 ± 0.05 meq peroxide/Kg oil ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet ด้วยเฮกเซน ที่มีค่า 2.51 ± 0.52 meq peroxide/Kg oil แสดงว่าน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีคุณภาพด้านการหืนที่ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด พบว่า ค่าความเป็นกรดของน้ำมันเมล็ดเงาะจากการสกัดเย็น (60.79 ± 0.19 mg KOH/g oil) มีค่าต่ำกว่าน้ำมันเมล็ดเงาะจากการสกัดแบบ soxhlet (72.14 ± 0.21 mg KOH/g oil) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ทั้งนี้ค่าความเป็นกรด (acid value) เป็นค่าที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำมันและไขมัน โดยเป็นค่าที่บ่งชี้ว่าไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ที่เป็นส่วนประกอบหลักในไขมันและน้ำมัน ถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจึงทำให้ค่าไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันเมล็ดเงาะมีค่าต่ำกว่า แต่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่า (รูปที่ 4.1) เนื่องจากไตรกลีเซอไรด์ถูกทำลายด้วยความร้อน

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมี-กายภาพของไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นและ Soxhlet [⌘]

Value	Cold pressed fat	Soxhlet extracted fat
Oil content (% w/w)	28.01 ^a ± 2.92	46.74 ^b ± 6.53
Color		
L*	55.76 ± 0.27	71.49 ± 0.19
a*	-0.21 ± 0.78	-2.66 ± 0.02
b*	27.05 ± 0.21	16.49 ± 0.03
Peroxide value (meq peroxide/Kg oil)	0.25 ^a ± 0.05	2.51 ^b ± 0.52
Acid value (mg KOH/g oil)	60.79 ^a ± 0.19	72.14 ^b ± 0.21
Saponification value (mg KOH/g oil)	180.04 ^b ± 3.48	167.57 ^a ± 3.12
Unsaponifiable matter (%)	0.33 ^b ± 0.04	0.25 ^a ± 0.03
Iodine value (g of iodine/100g oil)	43.34 ^b ± 1.12	41.77 ^a ± 1.03
Refractive index (40°C) ^{ns}	1.467 ± 0.00	1.462 ± 0.00
melting point (°C)	55.00 ^b ± 0.05	36.34 ^a ± 0.02

[⌘] Means of three replications ± SD (standard deviation); Different superscript letters mean significant differences ($P < 0.05$) between conditions in each row.



รูปที่ 4.1 ปริมาณ triglyceride, diglyceride และ free fatty acid ของไขมันเมล็ดงาที่สกัดด้วย (ก) วิธีบีบเย็นและ (ข) Soxhlet

ค่าซาฟอนนิฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีค่า 180.04 ± 3.48 mg KOH/g oil ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าซาฟอนนิฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet ด้วยเฮกเซน ที่มีค่า 167.57 ± 3.12 mg KOH/g oil แสดงว่ากรดไขมันของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet (ตารางที่ 4.3) นอกจากนี้ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีค่าสูงกว่าน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet (รูปที่ 4.1) จึงต้องใช้ต่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซ์ไตรกลีเซอไรด์ จึงทำให้ค่าซาฟอนนิฟิเคชันมีค่าสูงกว่า ทั้งนี้ Lourith et al (2016) ได้รายงานค่าซาฟอนนิฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดเงาะที่สกัดด้วยเฮกเซนที่อุณหภูมิ 60°C มีค่า 182.10 ± 0.16 mg KOH/g oil ซึ่งใกล้เคียงกับการสกัดเย็นในการทดลองนี้

ค่า Unsaponifiable matter ของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีค่า 0.33 ± 0.04 % ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่า Unsaponifiable matter ของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet ด้วยเฮกเซน ที่มีค่า 0.25 ± 0.03 % แสดงว่าสเตอรอล และไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีมากกว่าน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet ทั้งนี้ Lourith et al (2016) รายงาน Unsaponification matter ในน้ำมันเมล็ดเงาะ มีค่า 0.10 ± 0.00 % ซึ่งต่ำกว่าการทดลองในครั้งนี้ สารที่ซาฟอนิไฟต์ไม่ได้ในรำข้าวได้แก่ โทโคเฟอร์รอล และโทโคไตรอีนอลแล้วยังพบแกมมา-โอริซานอลซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญอีกด้วย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) ซึ่งในน้ำมันเมล็ดเงาะที่สกัดด้วยเฮกเซนแบบ Soxhlet มีปริมาณ alpha-tocopherol 0.103 ± 0.001 mg/100g fat (Sirisompong et al., 2011)

ค่าไอโอดีนของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีค่า 43.34 ± 1.12 g of iodine/100g oil ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าไอโอดีนของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet ด้วยเฮกเซน ที่มีค่า 41.77 ± 1.03 g of iodine/100g oil อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบมาก (ตารางที่ 4.3)

ค่า refractive index ของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นและ น้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet ด้วยเฮกเซน มีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.2) โดยปกติค่าการหักเหของแสงของไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ จะขึ้นอยู่กับความยาวของสายคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน จำนวนพันธะคู่ และชนิดของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นส่วนประกอบ ไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น หรือมีจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้น จะมีค่าการหักเหของแสงเพิ่มขึ้นค่าไอโอดีนของน้ำมันที่เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของพันธะคู่ จะมีความสัมพันธ์กับค่าการหักเหของแสงด้วยซึ่งในการทดลองนี้ค่าไอโอดีนของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีค่าสูงกว่าน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet ด้วยเฮกเซน ส่งผลให้ค่าการหักเหของแสงของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้ น้ำมันพืชชนิดเดียวกันจะมีค่าการหักเหของแสงไม่แตกต่างกันมากนัก (Pike, 1994)

จุดหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีค่า $55.00 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีค่าสูงกว่าจุดหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet ด้วยเฮกเซน ที่มีค่า $36.34^{\circ} \pm 0.02^{\circ}\text{C}$ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ไขมันส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันปกติกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลน้อยกว่า 10 อะตอม จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เมื่อมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะเป็นของแข็งมากขึ้น จากองค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันเมล็ดเงาะ (ตารางที่ 4.3) พบว่า ไขมันเมล็ดเงาะมีกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลมากกว่า 16 อะตอม จึงทำให้ไขมันเมล็ดเงาะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งไขมันจากเมล็ดเงาะสกัดเย็นมีกรดไขมันจำนวนคาร์บอนที่มากกว่า 18 อะตอมมากกว่าน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet ด้วยเฮกเซน จึงเป็นผลให้จุดหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีค่าสูงกว่า ทั้งนี้ Lourith et al (2016) ได้รายงานจุดหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet ด้วยเฮกเซน มีค่า $46.05 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสูงกว่าในการทดลองนี้อาจเนื่องมาจากใช้อุณหภูมิในการสกัดที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของไขมันเมล็ดเงาะ พบว่าองค์ประกอบหลักของไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดแบบเย็นคือ ไตรกลีเซอไรด์ (52.9%) ของไขมันทั้งหมด (รูปที่ 4.1) ซึ่งแตกต่างจากไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดแบบ soxhlet ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากถึง 71.8% ทั้งนี้กรดไขมันอิสระในไขมันจะมีปริมาณลดลงเมื่อผ่านกระบวนการรีไฟน์ด้วยต่างหรือกำจัดกลิ่น (Tatum and Chow, 1992) ปริมาณกรดไขมันอิสระมีผลต่อกลิ่นของไขมันที่สกัดได้ เนื่องจากกรดไขมันอิสระส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันที่มีสายสั้น (short chain fatty acid) เช่น butyric acid ตัวมันเองมีกลิ่นเมื่อหลุดออกมาเป็นโมเลกุลอิสระทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติในอาหาร นอกจากนี้ กรดไขมันอิสระ ประเภทกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นสาเหตุเบื้องต้นของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ที่ทำให้การเหม็นหืนเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วปริมาณกรดไขมันอิสระจึงเป็นต้นเหตุสำคัญของการเสื่อมเสียอาหาร (food spoilage) คือการเกิดกลิ่นผิดปกติ (off flavour) ที่เรียกว่า กลิ่นหืน (rancidity) และทำให้ค่าความเป็นกรด (acid value, AV) ของน้ำมันสูงขึ้น (ตารางที่ 4.2)

ปริมาณกรดไขมันแบบอิ่มตัวทั้งหมดของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดเย็นมีค่าต่ำกว่าไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการสกัดแบบ soxhlet ด้วยเฮกเซน ไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดมาทั้งสองวิธีเป็นไขมันที่มี SFA โมเลกุลขนาดใหญ่ปริมาณมาก และมี PUFA น้อยกว่าร้อยละ 10 มีโอกาสเกิดอนุมูลอิสระของกรดไขมันหรือไตรเอซิลกลีเซอรอลน้อย จึงมีจุดเกิดควันค่อนข้างสูงและค่อนข้างคงตัวระหว่างการทอดอาหารที่อุณหภูมิสูงกว่าน้ำมันประเภทอื่น อย่างไรก็ตาม SFA ในน้ำมันพืชที่มีฤทธิ์เพิ่มระดับ LDL แต่ลดระดับ HDL ในเลือด จึงมีผลเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจโคโรนารีและโรคหัวใจขาดเลือดโดยที่ไขมันเมล็ดเงาะจากการสกัดด้วยเฮกเซนมีปริมาณ SFA สูงกว่าไขมันที่สกัดแบบเย็น

กรดไขมันที่พบในไขมันเมล็ดเงาะจากการทดลองนี้ประกอบด้วย กรดไขมันอิ่มตัว (SFA) ได้แก่ palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), และ arachidic acid (C20:0) Docosanoic acid (C22:0) Tetracosanoic acid (C24:0) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (UFA) ประกอบด้วย กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว

(MUFA) ได้แก่ กรดไขมัน palmitoleic acid (C16:1), oleic acid (C18:1 n-9t), eicosenoic acid (C20:1), erucic acid (C22:1n-9) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) ได้แก่ กรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 6 (n-6 PUFA) ประกอบด้วย linoleic acid (C18:2 n-6), gamma linoleic acid (C18:3 n-6) ทั้งนี้กรดไขมันที่พบในไขมันเมล็ดงาจะเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 อะตอม ขึ้นไปจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง (นิธิยา รัตนานนท์, 2548) โดยพบกรด arachidic acid และ oleic acid มากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นที่รายงานไว้ (Lourith et al., 2016; Augustin and Chua, 1988; Manaf et al., 2013; Romain et al., 2013; Sirisompong et al., 2011; Solís Fuentes et al., 2010) ทั้งนี้กรดโอเลอิกเพิ่มการดูดซึมลงสู่ผิวได้ดีในเครื่องสำอางและเพิ่ม lipophilic ให้กับผิว (Alvarez และ Rodriguez, 2000) นอกจากนี้กรดโอเลอิกมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ และยังมีฤทธิ์ลดการเกิดรังแคและการรักษาผมร่วงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพิ่มศักยภาพในการเจริญเติบโตของเส้นผม และยังใช้สำหรับการรักษาสิว (Kanlayavattanukul และ Lourith 2011) ที่สำคัญยังมีรายงานว่า กรดโอเลอิกสามารถยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ tyrosinase (Ando et al., 1999) จึงลดการเกิดสีน้ำตาล หรือทำให้ผิวขาว กระจ่างใส เน้นการใช้งานรักษารอยดำของผิว

นอกจากนี้พบว่าไขมันเมล็ดงาที่สกัดแบบเย็นมี polyunsaturated fatty acid (PUFA) และสัดส่วนของ C18:1/C18:2 น้อยกว่าไขมันที่สกัดแบบ soxhlet แต่มี Ratio of n-6/n-3, PUFA:SFA, MUFA/PUFA, (MUFA+PUFA)/SFA สูงกว่า ซึ่ง Gerster (1998) แนะนำว่าอัตราส่วนของ total n6:n3 fatty acid ในอาหารที่ดีต่อสุขภาพไม่ควรเกิน 4-6:1 ซึ่งไขมันเมล็ดงามีค่าอัตราส่วนของ n-6:n3 fatty acid ต่ำกว่า (1.38-1.54) อย่างเห็นได้ชัด แต่อัตราส่วนของ PUFA ต่อ saturated fatty acids ที่มีการแนะนำใหม่ในอาหารเพื่อสุขภาพคือเท่ากับ 0.4 หรือมากกว่า (Cameron and Enser, 1991; Elmore et al., 1999) ซึ่งไขมันเมล็ดงามีค่าอยู่ในช่วง 0.14-0.15 น้ำมันที่ดีควรมีสัดส่วนของ MUFA:PUFA > 2.0 และ (MUFA+PUFA)/SFA > 2.5 รวมทั้ง PUFA/SFA > 1.0 แสดงว่ากรดไขมันมีคุณภาพดีต่อสุขภาพนอกจากนี้ PUFA ช่วยลด cholesterol และ LDL และเป็นสารตั้งต้นของสารในระบบภูมิคุ้มกัน การอักเสบและการไหลเวียนของเลือด PUFA เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ แต่ถูกออกซิไดส์ เกิด lipid peroxidation ได้ง่ายกว่า MUFA รวมทั้ง ผู้ที่มีปัญหาเลือดออกผิดปกติก็ต้องจำกัดปริมาณเช่นกัน เมื่อพิจารณาตัวชี้วัดต่างๆ พบว่า ไขมันเมล็ดงาไม่ใช่ไขมันที่ดีต่อสุขภาพนัก (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 Free fatty acid profile ของไขมันเมล็ดงาที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นและ Soxhlet

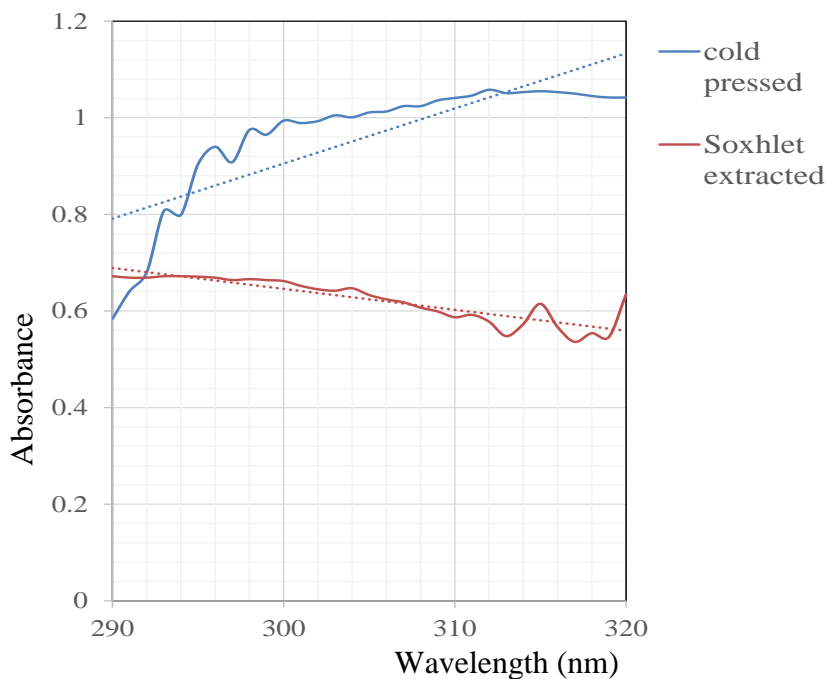
Fatty acids (FA) (% w/w methyl ester)	Common name	Cold pressed fat	Soxhlet extracted fat
Saturated FA			
C16:0	Palmitic acid	5.82±0.19 (12.33)	8.72±0.12 (10.44)
C18:0	Stearic acid	7.23±0.10 (15.31)	11.12±0.08 (14.82)
C20:0	arachidic acid	30.09±0.09 (65.87)	31.11±0.08 (65.91)
C22:0	Docosanoic acid	2.73±0.02 (5.78)	2.63±0.05 (6.63)
C24:0	Tetracosanoic acid	1.33±0.01 (0.69)	1.21±0.01 (2.21)
Mono-unsaturated FA			
C16:1n-7	Palmitoleic acid	0.53±0.03 (1.40)	0.32±0.02 (0.84)
C18:1n-9c	cis-9-Oleic acid	30.30±0.08 (82.91)	34.11±0.07 (90.45)
C20:1n-11	cis-11-Eicosenoic acid	5.40±0.04 (14.30)	3.05±0.03 (8.09)
C22:1n-9	Erucic acid	1.52±0.02 (1.37)	0.23±0.04 (0.61)
Poly-unsaturated FA			
C18:2n-6	cis-9,12-Linoleic acid	4.27±0.04 (60.56)	4.35±0.09 (58.00)
C18:3n-3	alpha-Linolenic acid ^{ns}	2.78±0.03 (39.43)	3.15±0.04 (42.00)
Total saturated FA (SFA)		47.20	54.79
Total unsaturated FA (TUFA)		52.80	45.21
Total mono-unsaturated FA (MUFA)		37.75	37.71
Poly-unsaturated FA (PUFA)		7.05	7.5
Ratio of n-6/n-3		1.54	1.38
PUFA/SFA		0.15	0.14
MUFA/PUFA		5.35	5.03
C18:1/C18:2		7.09	7.84
(MUFA+PUFA)/SFA		1.12	0.83

Means of three replications±SD (standard deviation); Different superscript letters mean significant differences ($P<0.05$) between conditions in each row.

The value in blanket means % of each fat compared with total fatty acid in each group.

4.1.2 ผลการศึกษาสมบัติการป้องกันแสงแดดของไขมันเมล็ดเงาะ

จากผลการวิเคราะห์สมบัติการป้องกันแสงแดดของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการบีบเย็นและสกัดด้วย Soxhlet ด้วย hexane ได้ผลดังรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนแสงของไขมันจากเมล็ดเงาะที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นและ Soxhlet ที่ความยาวคลื่นช่วง 290 ถึง 320 nm

ตารางที่ 4.4 Sun protection factor ของไขมันเงาะที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นและ Soxhlet[¶]

Sample	Sun Protection Factor	
	Mean	Variation
Cold pressed fat	10.04 ^b	10.03-10.08
Soxhlet extracted fat	6.26 ^a	6.26-6.27

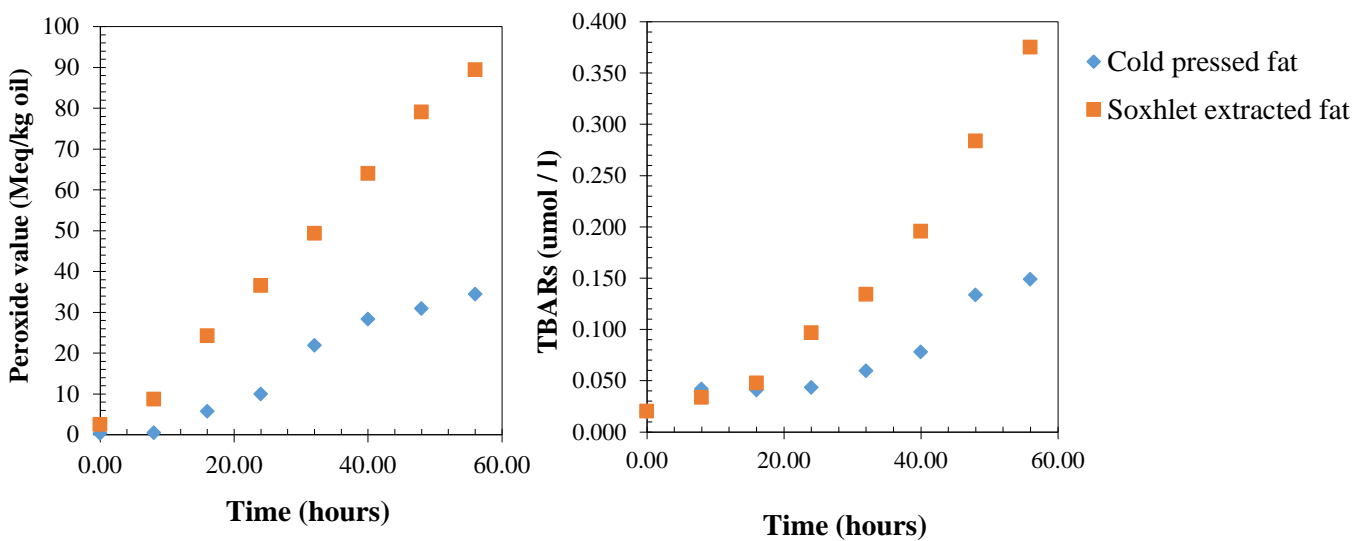
[¶] Means of three replications; Different superscript letters mean significant differences ($P < 0.05$) between conditions in each column.

แสงที่ส่งมายังพื้นโลกประกอบด้วยรังสี UVA ที่มีความยาวคลื่น 320-400 นาโน เมตร ในขณะที่รังสี UVB ที่มีความยาวคลื่น 290-320 นาโนเมตร ซึ่งสามารถก่อให้เกิดอันตรายกับผิวหนัง โดยรังสี UVB มีพลังงานสูงจึงทำลายเซลล์ผิวหนังมาก โดยเฉพาะชั้นหนังกำพร้า เพราะไม่สามารถทะลุถึงชั้นหนังแท้ได้ ทำให้เกิดอาการ บวมแดง แดงเผา ประสิทธิภาพของสารป้องกันแสงแดดหรือผลิตภัณฑ์ นิยมใช้การวัดค่า SPF หรือ Sun Protection Factor ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณพลังงานของรังสี UV น้อยที่สุดที่ทำให้ผิวหนังเกิดอาการแดง (Minimum erythema dose หรือ MED) ในการทดลองนี้ทำการวัด

ประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดดรังสี UVB ซึ่งไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดเย็นมีความสามารถในการป้องกันแสงแดดได้ดีกว่า (ตารางที่ 4.4) ทั้งนี้ยังไม่มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับค่า SPF ในไขมันเมล็ดเงาะ

4.1.3 ผลการศึกษาสมบัติต้านออกซิเดชันของไขมันเมล็ดเงาะ

จากผลการทดสอบ Oxidative stability test ของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการบีบเย็นและสกัดด้วย Soxhlet ได้ผลดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 Oxidative stability ของไขมันจากเมล็ดเงาะที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นและ Soxhlet

ความแตกต่างของค่าการเกิดออกซิเดชันของไขมันเมล็ดเงาะภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 56 ชั่วโมง พบว่า ค่า PV และ TBARS ของตัวอย่างของไขมันเงาะที่สกัดด้วย hexane มีค่าสูงกว่าไขมันเมล็ดเงาะสกัดเย็น แสดงว่า ไขมันเมล็ดเงาะสกัดแบบเย็นมีสารที่มีสมบัติยับยั้งการหืนเป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้ Sirisompong et al. (2011) ได้รายงานปริมาณ α -tocopherol ในไขมันเมล็ดเงาะมีค่า 0.1026 mg/100g fat ดังนั้นการสกัดแบบ soxhlet ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสอาจทำลาย α -tocopherol ไปบางส่วน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Nadeemet al. (2015) ที่พบว่าการสกัดเย็นน้ำมันเมล็ดทานตะวันทำให้น้ำมันที่ได้มีปริมาณ α -tocopherol สูงกว่าการสกัดแบบ soxhlet ทั้งนี้ α -tocopherol มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันในไขมัน โดยเฉพาะในไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่ง

นอกจากนี้กรดไขมันอิสระที่พบในไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดแบบ Soxhlet มีสูงกว่าไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดแบบเย็น ซึ่งกรดไขมันอิสระประเภทกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นสาเหตุเบื้องต้นของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันซึ่งเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ที่ทำให้การเหม็นหืนเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว จึงเป็นสาเหตุให้ไขมันเมล็ดเงาะจากการสกัดด้วย soxhlet เกิดออกซิเดชันได้รวดเร็วกว่า

เมื่อพิจารณาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในไขมันเมล็ดเงาะพบว่า ปริมาณฟีนอลิกในไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดเย็นมีค่ามากกว่าไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดแบบ Soxhlet อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และปริมาณฟีนอลิกในไขมันเมล็ดเงาะสกัดเย็นมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณฟีนอลิกของ α -tocopherol (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 Antioxidant properties ของไขมันเงาะที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นและ Soxhlet[¶]

Value	Cold pressed fat	Soxhlet extracted fat	α -tocopherol
Total phenolic content (mg GAE/g oil)	44.93 ^c ± 0.12	30.18 ^b ± 0.11	45.19 ^a ± 0.05
DPPH activity (IC50, ug/mL)	371.77 ± 0.24	678.35 ± 0.98	0.356 ± 0.05
Chelating activity (%)	25.45 ± 0.76	19.67 ± 0.64	42.04 ± 0.26

[¶] Means of three replications ± SD (standard deviation); Different superscript letters mean significant differences ($P < 0.05$) between conditions in each column.

ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดแบบเย็นและ soxhlet แสดงดังตารางที่ 4.5 ไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดแบบ soxhlet มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกต่ำกว่า (30.18 mg /goil) และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและความสามารถในการคีเลตก็ต่ำกว่าเช่นกัน ทั้งนี้ Soeng et al. (2015) ได้รายงานค่า IC₅₀ ของสารสกัดเมล็ดเงาะที่สกัดด้วยเฮกเซนมีค่า 160.45 mg/g oil ซึ่งมีค่าสูงกว่าในการทดลองนี้ อาจเนื่องมาจาก Soeng et al. (2015) ไม่ได้ใช้ความร้อนในการสกัด

4.1.4 ผลการศึกษาสมบัติด้านการอักเสบของไขมันเมล็ดเงาะและความเป็นพิษของไขมันเมล็ดเงาะ

จากผลการศึกษาสมบัติด้านการอักเสบของไขมันเมล็ดเงาะที่ได้จากการบีบเย็นและสกัดด้วย Soxhlet ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สมบัติด้านการอักเสบของไขมันเงาะที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นและ Soxhlet[¶]

Value	Cold pressed fat	Soxhlet extracted fat
Anti-inflammation activity	46.74 ^b ± 6.53	28.01 ^a ± 2.92

[¶] หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย+ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้คือ 100 μ g/mL

จากผลการทดลองพบว่า ไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดแบบเย็นมีความสามารถในการยับยั้ง proteinase ได้สูงกว่าไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดด้วย Soxhlet อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการก่อความระคายเคืองเบื้องต้นต่อผิวหนัง (ตารางที่ 4.7) จากการค้นคว้ารายงานการวิจัยพบว่า ไม่มีการรายงานถึงความสามารถในการยับยั้ง Proteinase ของไขมันเมล็ดเงาะ พบการรายงานในสารสกัดพืช *Enicostemma axillare* มีความสามารถในการยับยั้ง proteinase ที่ความเข้มข้น 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ มีค่า %inhibition เท่ากับ 21.0 (Leelaprakash and Dass, 2011) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความสามารถในการยับยั้ง proteinase ที่ความเข้มข้น 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ของไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดทั้งสองวิธี

ตารางที่ 4.7 สมบัติการก่อความระคายเคืองเบื้องต้นต่อผิวหนังของไขมันเงาะที่สกัดด้วยวิธีบีบเย็นและ Soxhlet

กระต่ายตัวที่	ตัวอย่าง	ระยะเวลาที่สังเกตอาการ (ชั่วโมง)							
		1		24		48		72	
		อาการแดง	อาการบวม	อาการแดง	อาการบวม	อาการแดง	อาการบวม	อาการแดง	อาการบวม
1	น้ำกลั่น	0	0	0	0	0	0	0	0
2		0	0	0	0	0	0	0	0
3		0	0	0	0	0	0	0	0
1	Cold	2	1	1	0	0	0	0	0
2	pressed	2	1	0	0	0	0	0	0
3	fat	2	2	0	0	0	0	0	0
1	Soxhlet	2	2	2	1	1	0	0	0
2	extracted	2	2	1	0	0	0	0	0
3	fat	2	2	1	0	0	0	0	0

4.2 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมี-กายภาพของแปงฟลาวัวร์จากเมล็ดงา

เมล็ดงาที่ใช้ในการทดลองจะถูกนำมาแกะเอาเปลือกด้านนอกออกจนได้เนื้อภายในเมล็ดดังแสดงในภาพที่ 4.2.1 จากนั้นเนื้อเมล็ดดังกล่าวจะถูกนำไปอบแห้งและบดด้วยลมร้อนจนได้แป้งดิบดังแสดงในภาพที่ 4.2.2 (1) และสำหรับการสกัดน้ำมันออกจากเนื้อในของเมล็ดงาสำหรับการทดลองนี้มี 2 วิธี ดังนี้

(ก) การสกัดเย็นจะใช้เนื้อเมล็ดงาอบแห้งจากนั้นนำไปบีบเย็น (cold pressed) จนได้แปงฟลาวัวร์ จากนั้นแป้งที่เหลือจะถูกนำไปอบแห้งและบดละเอียด จนได้แปงฟลาวัวร์หลังการสกัดน้ำมันออก ดังแสดงในภาพที่ 4.2.2 (2)

(ข) วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย ทำได้โดยการนำแป้งดิบไปสกัดน้ำมันออกด้วยตัวทำละลายแปงฟลาวัวร์ที่เหลือถูกนำไปอบแห้งและบดจนละเอียด ได้แปงฟลาวัวร์ดังแสดงในภาพที่ 4.2.2 (3)

จากนั้นแปงฟลาวัวร์ทั้งแบบไม่สกัดและสกัดน้ำมันทั้งสองวิธีจะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติด้านความหนืดและสมบัติด้านหน้าที่

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแปงฟลาวัวร์จากเมล็ดงา ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2.1 ซึ่งพบว่าแปงฟลาวัวร์ที่ได้มีความชื้นอยู่ในช่วง 3.24-6.49 % โดยน้ำหนักเปียก โดยแปงฟลาวัวร์ที่ยังไม่สกัดน้ำมันออกมีปริมาณไขมันสูงถึง 30.08% โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำไปสกัดน้ำมันออกโดยการสกัดเย็นพบว่ามีปริมาณไขมันคงเหลืออยู่ในแปงฟลาวัวร์ 19.35 % โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนการสกัดด้วยตัวทำละลายสามารถสกัดน้ำมันออกได้มากกว่า โดยจะพบว่ามีปริมาณไขมันคงเหลืออยู่ 10.14 % โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณผลผลิตของน้ำมันที่ได้หลังการสกัดด้วยวิธีการใช้ตัวทำละลาย จะให้ผลผลิตที่สูงกว่า

จากผลการทดลองพบว่าแป้งดิบจากเมล็ดงาที่ไม่ผ่านการสกัดน้ำมันมีปริมาณไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และความชื้น เท่ากับ 29.10, 7.18, 56.83, 0.88 และ 3.24 % โดยน้ำหนักเปียก ตามลำดับ โดยค่าที่ได้บางส่วนสอดคล้องกับงานวิจัยของ Harahap et al. (2012) ซึ่งรายงานผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดงา (*Naphelium lappaceum* L.) ว่ามีปริมาณไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และความชื้น เท่ากับ 38.90, 12.40, 48.10, 2.26 และ 3.31 % ตามลำดับ ขณะที่ Eiamwat et al. (2015) รายงานว่าแปงจากเมล็ดงาที่ไม่ผ่านการสกัดน้ำมันมีปริมาณไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และความชื้น เท่ากับ 28.18, 7.90, 62.43, 1.49 และ 6.30 % ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมล็ดงามีปริมาณน้ำมันและคาร์โบไฮเดรตสูง จึงเหมาะแก่การนำมาสกัดน้ำมันเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ เมื่อสกัดน้ำมันแล้วยังสามารถนำส่วนของคาร์โบไฮเดรตไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้เช่นกัน

เมื่อนำแปงฟลาวัวร์จากเมล็ดงาไปสกัดน้ำมันออกโดยวิธีการสกัดเย็นและสกัดด้วยตัวทำละลาย พบว่าการใช้วิธีการสกัดเย็นสามารถสกัดน้ำมันออกไปได้เพียง 35.67 % ในขณะที่การใช้ตัวทำละลายสามารถสกัดน้ำมันออกไปได้ 66.29% แต่จากรายงานของ Eiamwat et al. (2015) พบว่าการใช้การสกัดด้วย Supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) มีประสิทธิภาพสูงในการสกัดน้ำมัน โดยพบว่าภายหลังจากสกัด แปงฟลาวัวร์มีปริมาณไขมันเหลือน้อยมากเพียง 1.99 % นอกจากนี้แปงฟลาวัวร์ที่ผ่านการสกัดโดย SC-CO₂ มี โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และความชื้น เท่ากับ 10.07, 87.04, 1.17 และ 6.74 % ตามลำดับ ซึ่งบางส่วนใกล้เคียงกับการทดลองนี้ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน และเถ้า ส่วนวิมลศรี และคณะ (2555) นำเมล็ดงาที่สกัดแยกไขมันออกแล้วมาศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี มีโปรตีนประมาณ 10-12% และความชื้นเฉลี่ย 3-5% ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองนี้เช่นกัน

ปริมาณโปรตีนในแปงฟลาวัวร์จากเมล็ดงานั้นค่อนข้างต่ำ โดยก่อนการสกัดน้ำมันมีปริมาณโปรตีนอยู่ 7.42 % โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อสกัดน้ำมันออกแล้วพบว่ามีปริมาณโปรตีนในแปงฟลาวัวร์ อยู่ในช่วง 10.18-10.20 % โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อเทียบกับเมล็ดข้าวโพดและเมล็ดขนุนพบว่าปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกัน โดย

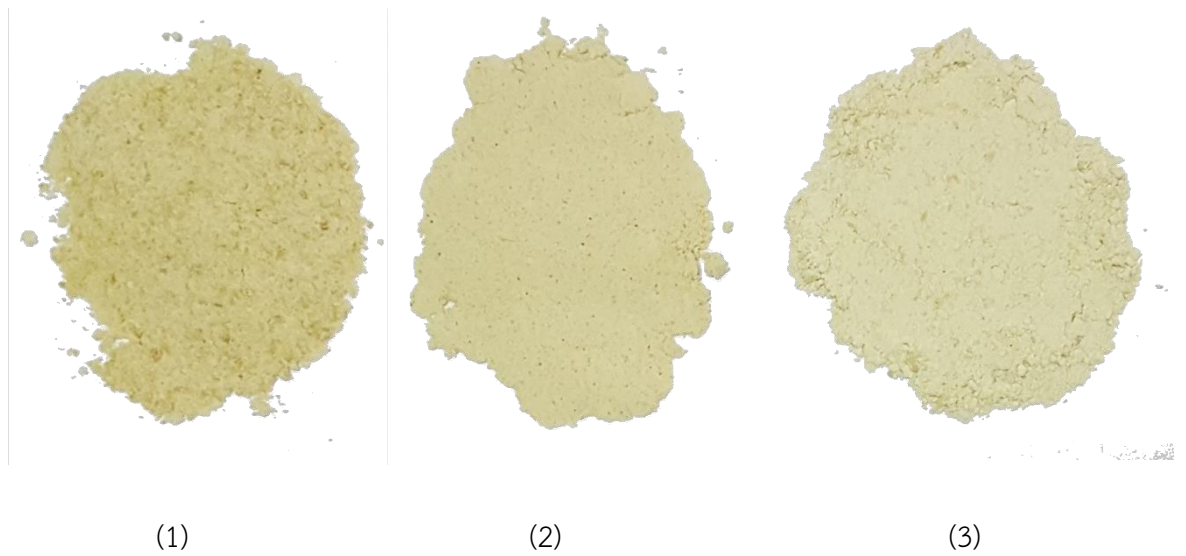
เมล็ดข้าวโพดและเมล็ดขนุนมีโปรตีนประมาณ 9-13 และ 10.06 % ตามลำดับ แต่เมล็ดงาจะมีโปรตีนน้อยกว่าที่พบในข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และลูกเดือย ที่พบว่ามีโปรตีน 14-20, 15-19, และ 12-14 % ตามลำดับ (Grausgruber et al., 2004; Silva and Ciocca, 2005; Hasjim et al., 2009; Wu et al., 2007; อมรรรัตน์, 2544) นอกจากนี้โปรตีนแล้วส่วนประกอบที่สำคัญในการศึกษาครั้งนี้ คือ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในแป้งฟลาวร์ที่มีอยู่สูง ทำให้สามารถนำมาผลิตเป็นแป้งได้

สำหรับปริมาณเส้นใยและเถ้า ในแป้งฟลาวร์จากเมล็ดงานั้นมีปริมาณต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.32-2.89 และ 0.91-1.90 % โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ พลังงาน (Gross Energy) มีค่าอยู่ในช่วง 445.78-546.73 Kcal/100 g (น้ำหนักแห้ง) เมื่อตรวจสอบปริมาณอะไมโลส พบว่ามีปริมาณอะไมโลสต่ำ โดยแป้งฟลาวร์จากเมล็ดงาที่สกัดน้ำมันออกโดยการสกัดเย็นมีปริมาณอะไมโลส (14.74 g/100 g โดยน้ำหนักแห้ง) สูงกว่าในแป้งฟลาวร์ที่สกัดน้ำมันออกด้วยตัวทำละลาย (10.28 g/100 g โดยน้ำหนักแห้ง) สำหรับปริมาณอะไมโลสจากรายงานนี้แตกต่างจากรายงานของ Eiamwat et al. (2015) ที่พบว่าแป้งฟลาวร์หลังการสกัดน้ำมันมีปริมาณอะไมโลสสูงถึง 32.16 g/100 g น้ำหนักแห้ง

ในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ พบว่าค่าสีของแป้งฟลาวร์จากเมล็ดงาที่ไม่ผ่านการสกัดน้ำมันนั้นมีค่าความสว่าง (L^*) ต่ำที่สุด เท่ากับ 74.14 เมื่อสกัดน้ำมันแล้วจะทำให้แป้งฟลาวร์มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น โดยการสกัดด้วยตัวทำละลายจะให้แป้งฟลาวร์ที่มีความสว่างมากที่สุด เท่ากับ 80.73 สำหรับค่า a^* และ b^* ของแป้งฟลาวร์ทั้งสามมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกับค่า L^* ($P < 0.05$) โดยสีของแป้งทั้งสามจะมีสีออกเหลืองนวล โดยจะเห็นได้จากค่า b^* ที่เป็นค่าบวก (21.08-25.98) และค่า a^* ที่มีค่าติดลบเล็กน้อย (-1.09 ถึง -1.39) และจะเห็นได้ว่าแป้งฟลาวร์ที่ไม่ผ่านการสกัดน้ำมันจะมีสีเหลืองเข้มกว่าแบบที่สกัดน้ำมัน และการสกัดแบบใช้ตัวทำละลายจะให้แป้งที่มีสีเหลืองอ่อนและสว่างมากกว่าการสกัดเย็นค่าสีที่วัดได้นี้ใกล้เคียงกับรายงานของวิมลศรี พรรณประเทศ และคณะ (2555) ซึ่งพบว่าผงแป้งจากเมล็ดงามีสีเหลืองอ่อนค่าความสว่าง (L) มีค่าเฉลี่ย 76.76 ค่าสีแดง (a) -1.35 และค่าสีเหลือง (b) +17.49 ส่วนค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของแป้งที่ฟลาวร์จากเมล็ดงาจากการทดลองนี้พบว่าเป็นกรดโดย pH อยู่ในช่วง 5.14-5.67



รูปที่ 4.4 เนื้อในของเมล็ดเงาะหลังการกะเทาะเปลือกออก โดยเนื้อส่วนนี้จะถูกนำไปอบแห้งและบดให้มีขนาดเล็กลงจนได้แป้งดิบจากเมล็ดเงาะ



รูปที่ 4.5 แป้งฟลาวร์จากเมล็ดเงาะ (1) แบบไม่สกัดน้ำมัน (แป้งดิบ) (2) แบบสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็นและ (3) แบบสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมีกายภาพ และปริมาณผลผลิตที่ได้หลังการสกัดน้ำมัน ของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงาแบบไม่สกัดน้ำมัน แบบสกัดน้ำมัน โดยการสกัดเย็น และแบบสกัดน้ำมันโดยการใช้ตัวทำละลาย

องค์ประกอบทางเคมี	แป้งดิบจากเมล็ดงา ไม่สกัดน้ำมัน ¹		แป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงา สกัดน้ำมันแบบสกัดเย็น ¹		แป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงา สกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย ¹	
	โดยน้ำหนักเปียก	โดยน้ำหนักแห้ง	โดยน้ำหนักเปียก	โดยน้ำหนักแห้ง	โดยน้ำหนักเปียก	โดยน้ำหนักแห้ง
ความชื้น (g/100 g)	3.24±0.05	-	6.49±0.08c	-	6.18±0.07b	-
คาร์โบไฮเดรต ² (g/100 g)	56.83±0.17	58.73±0.18 ^a	62.88±0.03	67.25±0.04 ^b	70.88±0.06	75.54±0.07 ^c
โปรตีน (g/100 g)	7.18±0.01	7.42±0.01 ^a	9.52±0.05	10.18±0.05 ^b	9.57±0.04	10.20±0.04 ^b
ไขมัน (g/100 g)	29.1±0.07	30.08±0.07 ^c	18.10±0.01	19.35±0.02 ^b	9.51±0.03	10.14±0.03 ^a
เส้นใย (g/100 g)	2.77±0.03	2.86±0.03 ^b	1.23±0.01	1.32±0.01 ^a	2.71±0.01	2.89±0.01 ^b
เถ้า (g/100 g)	0.88±0.01	0.91±0.01 ^a	1.77±0.01	1.9±0.01 ^c	1.16±0.01	1.23±0.01 ^b
พลังงาน (Kcal/100 g)	529.02±0.13	546.73±0.13 ^c	457.44±0.24	489.20±0.26 ^b	418.25±0.17	445.78±0.18 ^a
อะไมโลส (g/100 g)	ND	ND	13.52±0.09	14.74±0.10 ^b	9.46±0.05	10.28±0.07 ^a
ค่าสี L*	74.14±0.12 ^a		75.88±0.47 ^b		80.73±0.92 ^c	
ค่าสี a*	-1.39±0.03 ^c		-1.09±0.08 ^a		-1.30±0.07 ^b	
ค่าสี b*	25.98±0.36 ^c		25.00±0.27 ^b		21.08±0.43 ^a	
ความเป็นกรดต่าง	5.14±0.02 ^a		5.67±0.08 ^c		5.38±0.02 ^b	
ผลผลิตแป้งฟลาวัวร์หลังการสกัดน้ำมัน (g/100 g)		-	49.77±3.68 ^a		66.40±2.59 ^b	

¹ค่าที่แสดง เป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

²ปริมาณคาร์โบไฮเดรตได้จากการคำนวณผลต่าง (calculated by difference)

^aตัวอักษรที่เป็น superscript ที่แตกต่างกันและอยู่ในแถวเดียวกัน แสดงว่าค่าดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

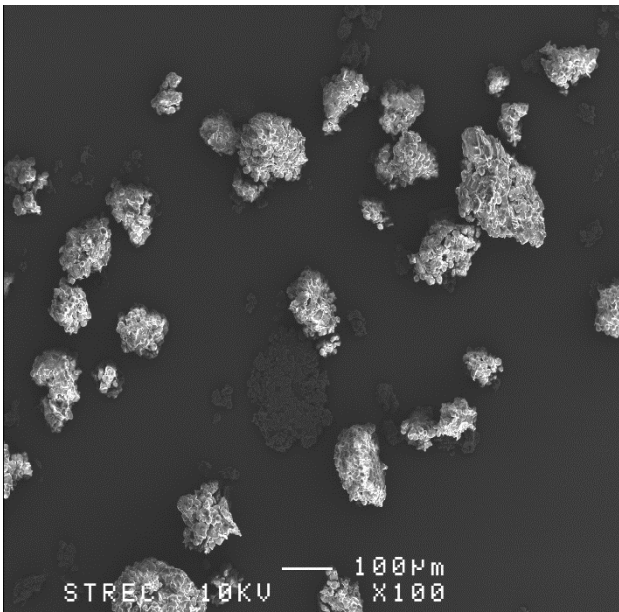
ND คือ not determined

4.2.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแป้งฟลาวาร์จากเมล็ดเงาะ

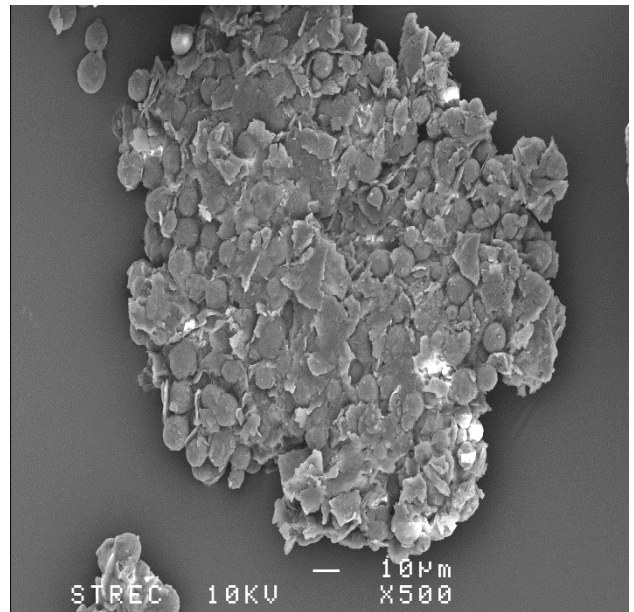
ผลการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา (starch granule morphology) และขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ในแป้งฟลาวาร์จากเมล็ดเงาะ(ที่ผ่านการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh) แบบไม่สกัดน้ำมัน แบบสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น และแบบสกัดน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลาย แสดงในภาพที่ 4.2.1 3.2.2 และ 3.2.3 ตามลำดับ จากรูปจะเห็นได้ว่า เม็ดแป้งของแป้งฟลาวาร์จากเมล็ดเงาะมีลักษณะค่อนข้างกลม รี เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-12 μm โดยขนาดทั่วไปมีขนาดประมาณ 10 μm ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดแป้งนั้นขึ้นกับลักษณะทางชีวเคมีของคลอโรพลาสต์หรืออะไมโลพลาสต์ ซึ่งเกี่ยวพันกับด้านสรีรวิทยาของพืช (Bodenhuizen, 1969) สำหรับขนาดและรูปร่างพบว่าแตกต่างกันไปในพืชแต่ละประเภท เม็ดแป้งที่พบในข้าวนั้นมีขนาดเล็กเพียง 3 ถึง 10 μm (Ellis et al., 1998) และมีรูปร่างที่มีลักษณะเป็น polygonal และ angular-shaped (Singh et al., 2003) ส่วนเม็ดแป้งที่พบในหัวแห้วจีนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 5 – 17 μm (ผาณิต, 2550)

อย่างไรก็ตามเม็ดแป้งจากพืชบางประเภทก็มีขนาดใหญ่ เช่นจากรายงานของ สิริรัตน์และคณะ (2548) ซึ่งตรวจสอบลักษณะของเม็ดแป้งพุทธรักษาสายพันธุ์จีนด้วย Scanning Electron Microscope พบว่าเม็ดแป้งพุทธรักษาที่มีขนาดใหญ่ โดยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 40-50 μm รูปทรงกลมแบน ผิวเรียบ เม็ดแป้งมีการกระจายตัวดี ไม่จับกันเป็นกลุ่ม จากเอกสารของ Pomeranz (1991) อธิบายว่าเม็ดแป้งที่พบในมันฝรั่งมีลักษณะรี ขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลาง 15-100 μm มีลักษณะคล้ายเปลือกหอยนางรม เม็ดแป้งในข้าวโพดมีขนาดปานกลาง เส้นผ่านศูนย์กลาง 10-25 μm ลักษณะเป็นทรงกลมหรือ polygonal เม็ดแป้งในข้าวมีขนาดเล็ก เป็น polygonal เส้นผ่านศูนย์กลาง 3-8 μm สำหรับเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กมากพบในส่วนรากของเผือกโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 μm ซึ่งขนาดแตกต่างอย่างมากกับรากของ *Phaius grandifolius* (Australia) ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ถึง 80-100 μm สำหรับเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กมากนั้นมักไม่ค่อยพบ แต่แป้งที่มีเม็ดแป้งขนาดเล็กมากๆ นี้มีศักยภาพในการนำมาผลิตแป้งที่มีขนาดละเอียด ซึ่งเป็นที่ต้องการในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและขนมหวาน และใช้เป็น rubber-tire mold releasing agents เป็นต้น

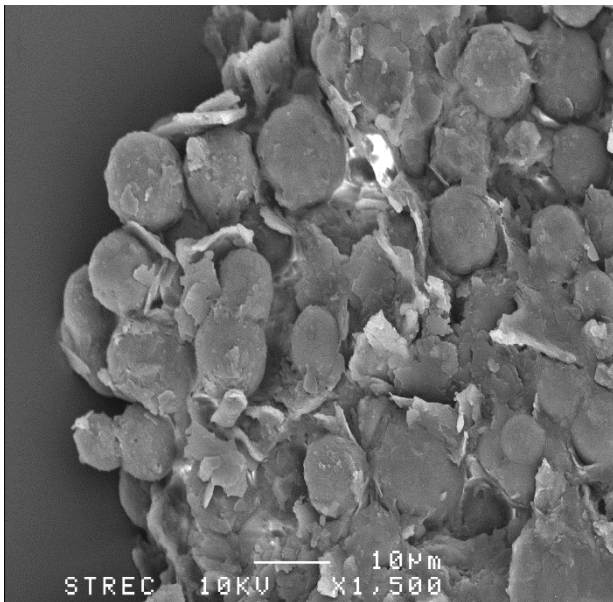
สำหรับโครงสร้างของแป้งฟลาวาร์ที่ยังไม่สกัดน้ำมันออกนั้น (ภาพที่ 4.2.1) มีลักษณะการเกาะตัวกันของเม็ดแป้งอย่างมากเนื่องจากมีปริมาณไขมันอยู่มากถึง 30.08 % โดยน้ำหนักแห้ง ในขณะที่แป้งฟลาวาร์ที่สกัดน้ำมันออกโดยการสกัดเย็น (ภาพที่ 4.2.2) มีปริมาณไขมันเหลืออยู่ 19.35% โดยน้ำหนักแห้ง จะมีการกระจายตัวของเม็ดแป้งดีกว่า สำหรับแป้งฟลาวาร์ที่สกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย มีการกระจายตัวของเม็ดแป้งดีที่สุด (ภาพที่ 4.2.3)เนื่องจากมีปริมาณไขมันเหลืออยู่ต่ำที่สุด เท่ากับ 10.14% โดยน้ำหนักแห้ง



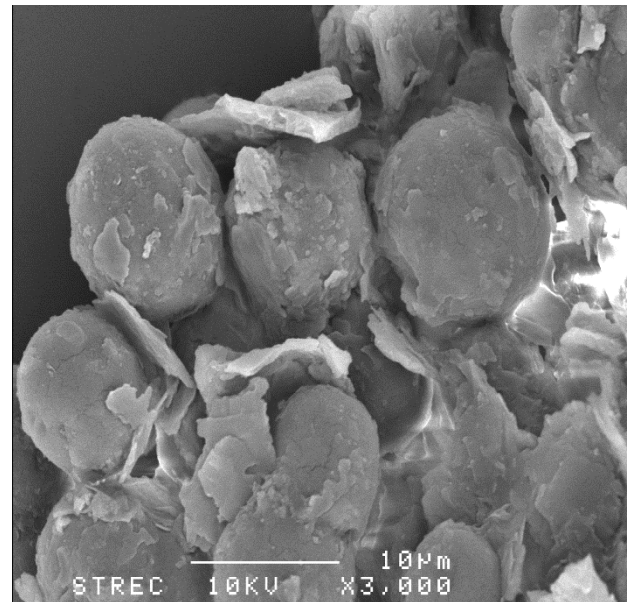
(1)



(2)

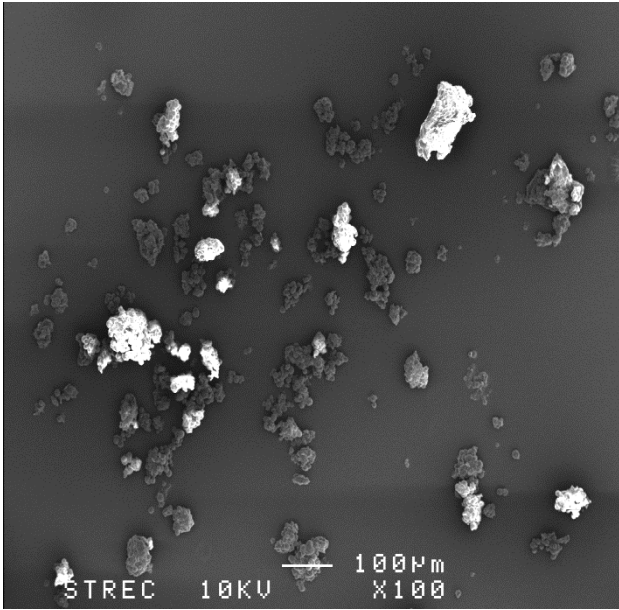


(3)

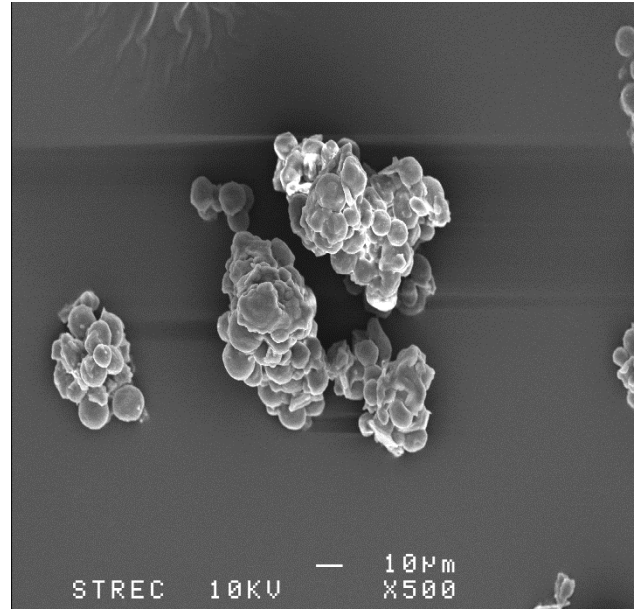


(4)

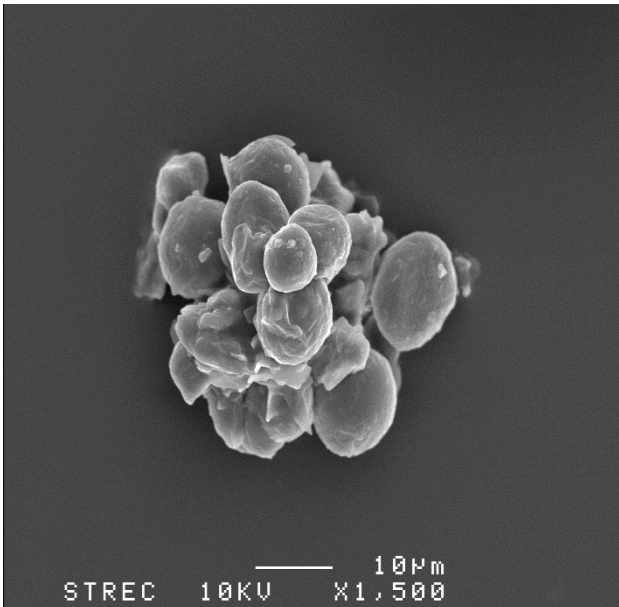
รูปที่ 4.6 ลักษณะของเม็ดแป้งของแป้งดิบจากเมล็ดเงาะแบบไม่ผ่านการสกัดน้ำมัน และผ่านการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย (1) 100 เท่า (2) 500 เท่า (3) 1500 เท่า และ (4) 3000 เท่า



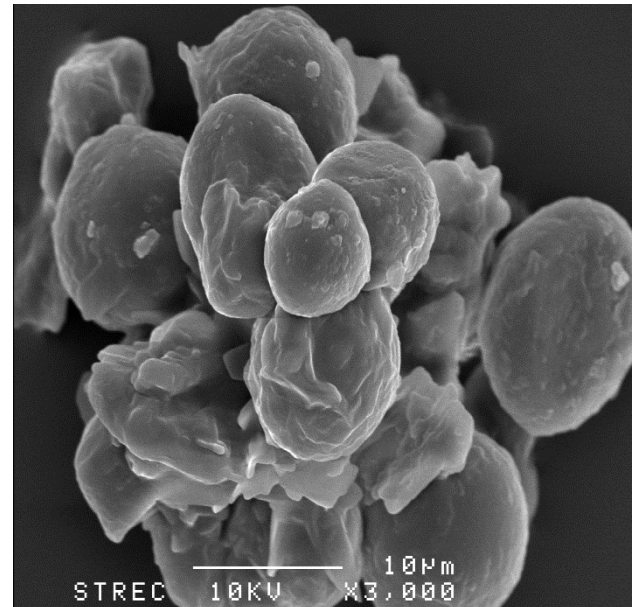
(1)



(2)

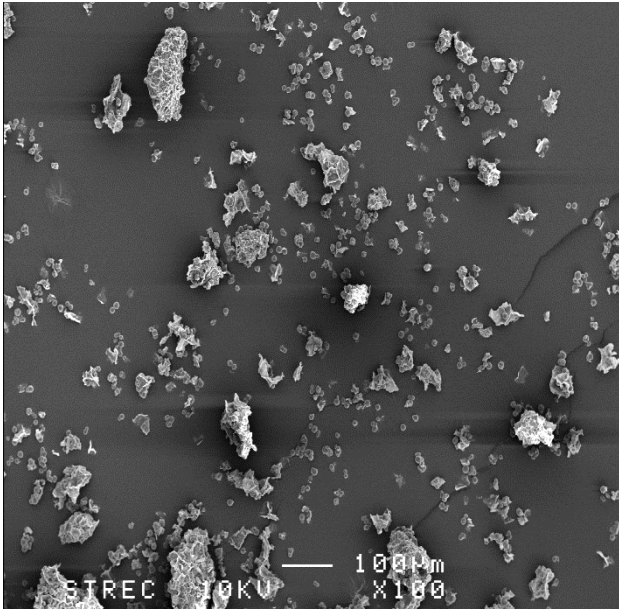


(3)

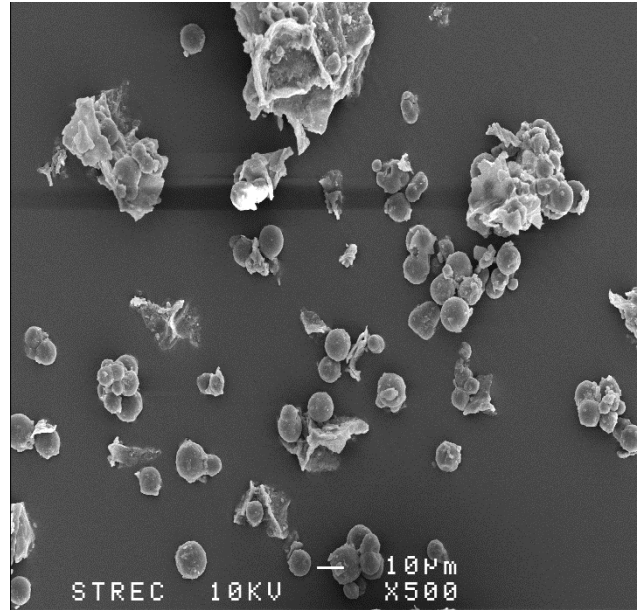


(4)

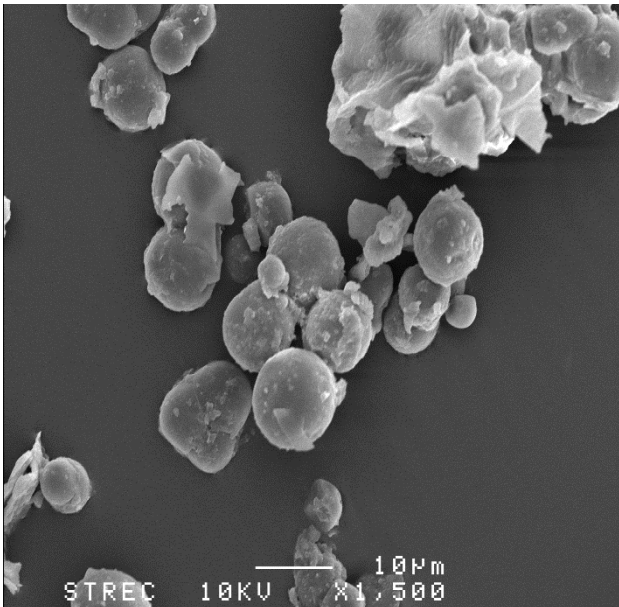
รูปที่ 4.7 ลักษณะของเม็ดแป้งของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะแบบผ่านการสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น และผ่านการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย (1) 100 เท่า (2) 500 เท่า (3) 1500 เท่า และ (4) 3000 เท่า



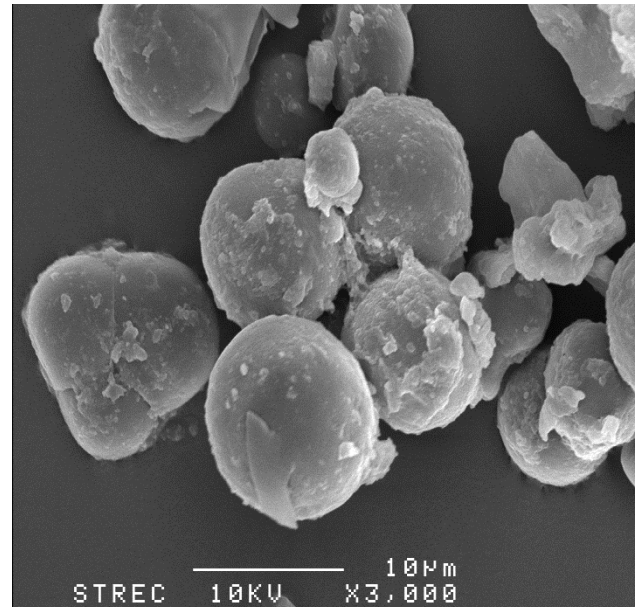
(1)



(2)



(3)



(4)

รูปที่ 4.8 ลักษณะของเม็ดแป้งของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะแบบผ่านการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย และผ่านการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย (1) 100 เท่า (2) 500 เท่า (3) 1500 เท่า และ (4) 3000 เท่า

3.2.3 สมบัติทาง Thermodynamic ของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงา

จากการศึกษาอุณหภูมิและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงา โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (ตารางที่ 4.2.2 และภาพที่ 4.2.6) พบว่า แป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงาแบบไม่สกัดน้ำมัน สกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น และสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายมี Peak temperature (Tp) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $76.7-77.3^{\circ}\text{C}$ แป้งฟลาวัวร์ที่ไม่สกัดน้ำมันและสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายมี Onset temperature (To) และ Conclusion temperature (Tc) ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่แตกต่างจากแป้งฟลาวัวร์ที่สกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น ($P\leq 0.05$) ซึ่งมีค่า Onset temperature (To) ต่ำที่สุด (70.35°C) และมีค่า Conclusion temperature (Tc) สูงที่สุด (82.65°C)

เนื่องจากการเกิดเจลลาทีโนเซชันเมื่อแป้งได้รับความร้อน พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัว ร้างระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามาและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สำหรับค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้ง native starch จะมีค่าอยู่ในช่วง 10 ถึง 20 J/g (Eliasson and Gudmundsson, 1996) สำหรับการทดลองนี้พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงามีค่าใกล้เคียงกับแป้งข้าวโพด แต่สูงกว่าแป้งสาลีและมันฝรั่ง แต่อย่างไรก็ตามค่า Enthalpy หรือพลังงานใช้ในการเกิดเจลลาทีโนเซชันกลับมีค่าต่ำกว่า โดยแป้งข้าวโพด แป้งสาลี และแป้งมันฝรั่งมีค่าพลังงานเท่ากับ 15.14, 11.26 และ 17.87 J/g ตามลำดับ (Ratnayakeet al., 2009) ในขณะที่แป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงาที่สกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายมีค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีโนเซชัน เท่ากับ 9.06 J/g สำหรับแป้งดิบจากเมล็ดงาที่ไม่สกัดน้ำมันและสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็นมีค่าพลังงานในการเกิดเจลลาทีโนเซชันต่ำกว่าโดยมีค่าเท่ากับ 4.57 และ 4.11 J/g ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าพลังงานในการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงานี้พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการรายงานของ Sankhon et al.(2014) ซึ่งพบว่าแป้งฟลาวัวร์จาก Africa lobust bean มีค่า 4.15 J/g แต่เมื่อสกัดเป็นสตาร์ชแล้วมีค่าพลังงานเพิ่มขึ้นเป็น 13.76-14.12 J/g

ความแตกต่างของค่าอุณหภูมิและพลังงานในการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งนั้นเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีของแป้ง เช่น โปรตีน ไขมัน และเส้นใย และยังเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของโมเลกุลของอะไมโลเพคตินและโครงสร้างของเม็ดแป้งด้วย (Tester, 1997)

จากการศึกษาอุณหภูมิและพลังงานที่ใช้ในการเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงา(ภาพที่ 4.2.7) ที่ผ่านการเจลลาทีโนเซชันและเก็บที่อุณหภูมิ $5-10^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 7 วัน โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (ตารางที่ 4.2.2) พบว่ามีการเกิดรีโทรกราเดชันเฉพาะในแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงาที่ไม่สกัดน้ำมันเท่านั้น โดยมี Onset temperature (To) เท่ากับ 46.10°C Peak temperature (Tp) เท่ากับ 55.65°C และ Conclusion temperature (Tc) เท่ากับ 62.00°C และค่าพลังงานเท่ากับ 9.37 J/g เมื่อคำนวณเป็น % Retrogradation แล้วมีค่า 205.03% แสดงว่าเมื่อทำการสกัดน้ำมันออกจากแป้งฟลาวัวร์จะทำให้อัตราการเกิดรีโทรกราเดชันลดลงและไม่สามารถตรวจพบโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter

ตารางที่ 4.9 สมบัติทาง Thermodynamic ของแป้งดิบจากเมล็ดงาและ แป้งฟลาวัวร์แบบสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น และแบบสกัดน้ำมันโดยการใช้ตัวทำละลาย ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter

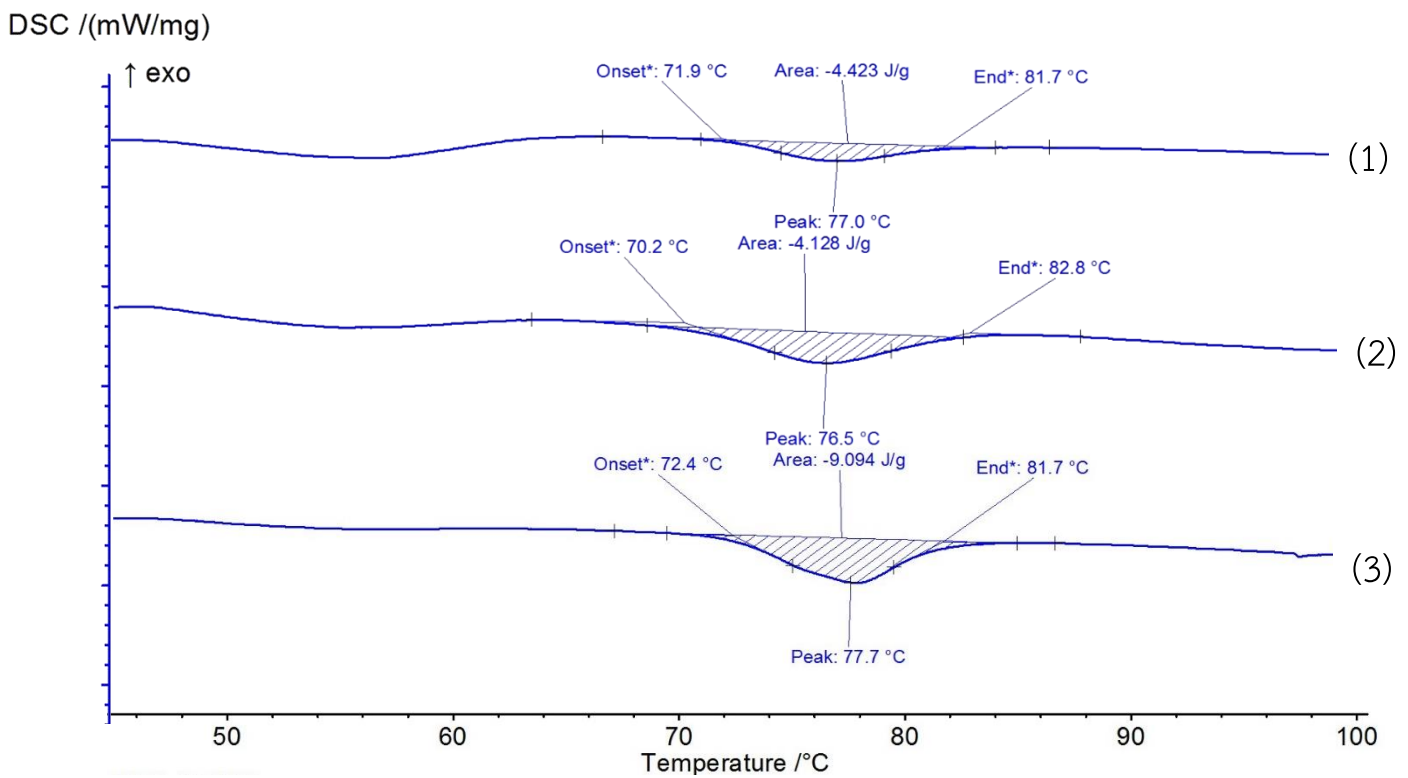
สมบัติทาง Thermodynamic		แป้งดิบ ไม่สกัดน้ำมัน*	แป้งฟลาวัวร์ สกัดน้ำมันแบบ สกัดเย็น*	แป้งฟลาวัวร์ สกัดน้ำมันด้วย ตัวทำละลาย*
Onset	Gelatinization	71.5±0.57 ^{ab}	70.35±0.21 ^a	72.6±0.28 ^b
Temperature T ₀ (°C)	Retrogradation	46.10±0.99	nd	nd
Peak Temperature	Gelatinization	76.85±0.21 ^{ns}	76.7±0.28 ^{ns}	77.3±0.57 ^{ns}
T _p (°C)	Retrogradation	55.65±0.92	nd	nd
Conclusion	Gelatinization	81.4±0.42 ^a	82.65±0.21 ^b	81.6±0.14 ^a
Temperature T _c (°C)	Retrogradation	62.00±0.85	nd	nd
Enthalpy	Gelatinization	4.57±0.21 ^b	4.11±0.02 ^a	9.06±0.04 ^c
(J/g)	Retrogradation	9.37±0.24	nd	nd
% Retrogradation		205.03±4.14	nd	nd

* ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

*ตัวอักษรที่เป็น superscript ที่แตกต่างกันและอยู่ในแถวเดียวกัน แสดงว่าค่าดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

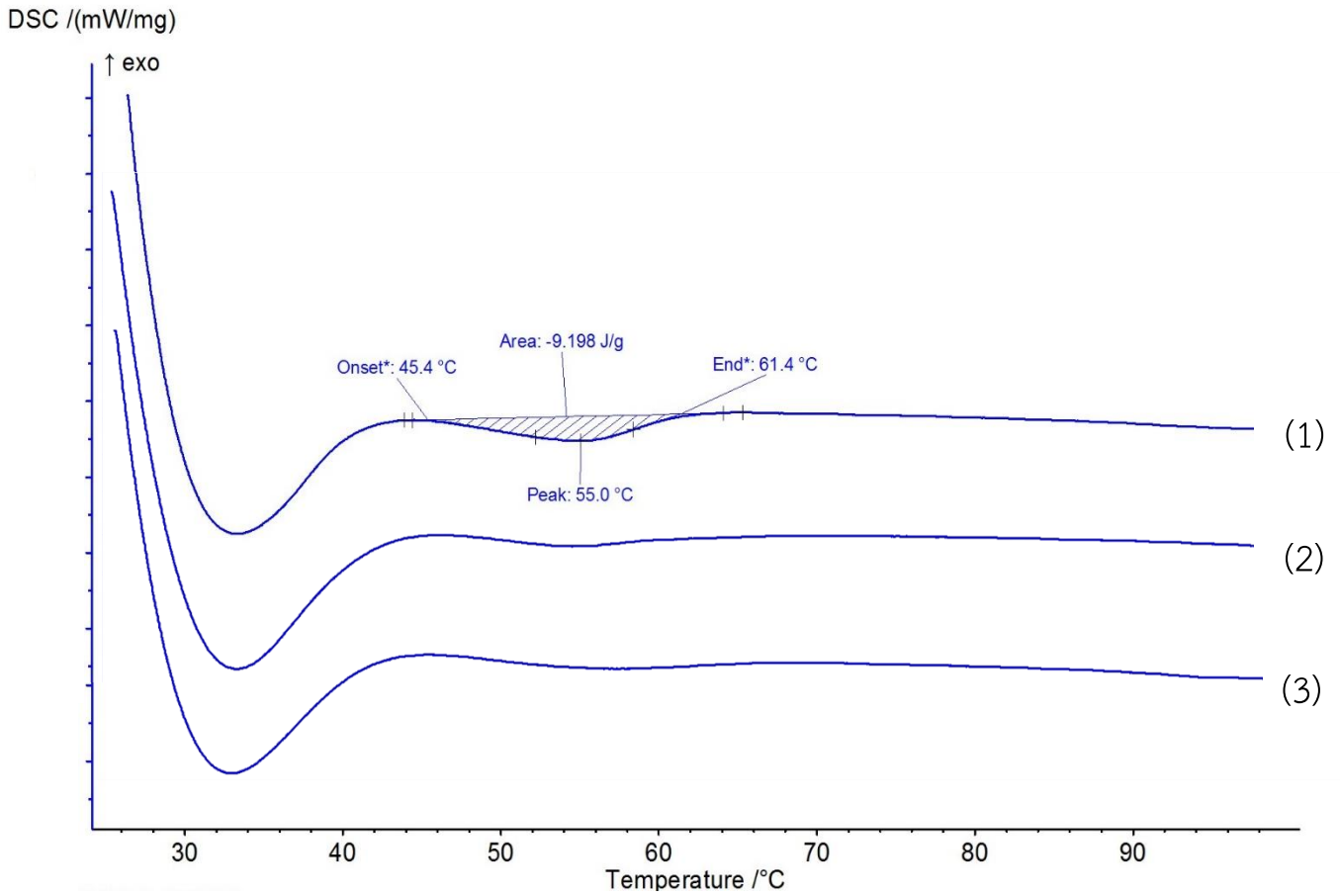
^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

nd คือ ตรวจสอบไม่พบ (not detected)



รูปที่ 4.9 Differential Scanning Calorimetry Thermograms ของการเกิดเจลลาทีโนเซชันในแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะ
ดังนี้

- (1) แบบไม่สกัดน้ำมัน (แป้งดิบ)
- (2) แบบสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น
- (3) แบบสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย



รูปที่ 4.10 Differential Scanning Calorimetry Thermograms ของการเกิดรีโทรกราเดชันในแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะ ดังนี้

- (1) แบบไม่สกัดน้ำมัน (แป้งดิบ)
- (2) แบบสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น
- (3) แบบสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย

4.2.4 สมบัติด้านความหนืดของแป้งฟลาวาร์จากเมล็ดงา

สมบัติด้านความหนืดของแป้งฟลาวาร์จากเมล็ดงาถูกทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA โดยการนำแป้งมาละลายในน้ำจากนั้นจึงให้ความร้อน เมื่อสารละลายแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลิตในเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไปจะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กระจัดกระจายหลุดออกมาซึ่งผลทำให้ความหนืดลดลง และเมื่อปล่อยให้เย็นตัวลง โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นร่างแหสามมิติที่แข็งแรง โดยโครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการคุดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรกราเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) (Sajilata, 2006) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล เรียกว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขรุขระและมีความหนืดเพิ่มขึ้น การคืนตัวของแป้งนี้ทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น ในการคืนตัวของแป้งนั้นเมื่อเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จะเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจลขุ่น

ผลจากการวิเคราะห์ด้วย RVA แสดงในตารางที่ 4.3.3 พบว่าความหนืดของแป้งฟลาวาร์ที่ไม่ผ่านการสกัดน้ำมันนั้นมีค่าต่ำมาก แต่เมื่อผ่านการสกัดน้ำมันแล้วความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อให้ความร้อน โดยจากผลการทดลองพบว่า ค่า peak viscosity, holding strength, breakdown, final viscosity และ setback ของแป้งฟลาวาร์แบบไม่สกัดน้ำมันนั้นมีค่าที่ต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) แต่ peak time ไม่แตกต่างกับแป้งฟลาวาร์แบบสกัดน้ำมันทั้ง 2 แบบ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบแป้งฟลาวาร์ที่ผ่านการสกัดน้ำมันพบว่าแป้งที่สกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็นมีค่า peak viscosity, holding strength, และ final viscosity สูงกว่าแป้งฟลาวาร์ที่สกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย ยกเว้นค่า breakdown และ setback จะมีค่าต่ำกว่า ($P \leq 0.05$) สำหรับ pasting temperature ของแป้งฟลาวาร์อยู่ที่ประมาณ $94-95^{\circ}\text{C}$ (สำหรับแป้งดิบไม่ได้แสดงผลเนื่องจากมี noise) ส่วนแป้งฟลาวาร์แบบสกัดน้ำมันมีค่าแตกต่างกัน โดยแบบสกัดด้วยตัวทำละลายมี pasting temperature สูงกว่า ($P \leq 0.05$)

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Eiamwat et al. (2015) ซึ่งทำการเปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของแป้งฟลาวาร์จากเมล็ดงาทั้งแบบไม่สกัดและสกัดน้ำมันด้วย SC-CO_2 กับแป้งสาลี (wheat flour) และแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เสาไห้ (rice flour) พบว่าแป้งฟลาวาร์ที่ยังไม่สกัดน้ำมันมีค่า peak viscosity ต่ำที่สุด (482 cP) รองลงมาเป็นแป้งฟลาวาร์จากเมล็ดงาที่สกัดน้ำมันแล้ว ในขณะที่แป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้ามี peak viscosity เท่ากับ 2,025 cP และ 3,879 cP ส่วน final viscosity ของแป้งฟลาวาร์จากเมล็ดงาก็ต่ำสุดเช่นกัน (543 cP) โดยแป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้ามี final viscosity เท่ากับ 1,729 cP และ 5,440 cP สำหรับการทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องกัน โดยพบว่าแป้งฟลาวาร์จากเมล็ดงาแบบไม่สกัดน้ำมันให้ค่าความหนืดทุกค่าต่ำที่สุด โดย peak viscosity และ final viscosity เท่ากับ 129.36 และ 93.00 cP แต่เมื่อสกัดน้ำมันออกแล้วค่าความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณอะไมโลสจากการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่าการรายงานของ Eiamwat et al. (2015)

จากรูปแบบของกราฟที่วิเคราะห์ด้วย RVA แสดงดังภาพที่ 4.2.8 พบว่าแป้งฟลาวาร์จากเมล็ดงาที่ไม่สกัดน้ำมันจัดอยู่ในประเภทที่มีการพองตัวจำกัด (Restricted swelling starch) เนื่องมาจากค่าความหนืดที่ต่ำสุดสูงสุดไม่ปรากฏความสูงชัน (Schoch และ Maywald, 1968) ค่า Peak viscosity เป็นค่าบอกรถึง thickening behavior และ water binding capacity ของแป้งแต่ละประเภทได้ ซึ่งค่าดังกล่าวจะแตกต่าง

กันไปตามประเภทของแป้งที่ได้มาจากส่วนของพืชที่แตกต่างกัน ค่า pasting temperature ของแป้งฟลาวัวร์จากเงาะมีค่าสูงมาก (94.03-95.22°C) แสดงถึงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเจลาทีไนเซชันที่สูง ซึ่งอาจจะเกี่ยวพันไปถึงต้นทุนพลังงานในกระบวนการทำให้แป้งสุก ค่า Breakdown ที่ต่ำกว่าของแป้งดิบจากเมล็ดเงาะ แสดงว่าแป้งดิบซึ่งยังไม่สกัดน้ำมันมีความสามารถในการต้านทานต่อการให้ความร้อนและแรงเฉือน (shear stress) ระหว่างกระบวนการทำให้สุกมากกว่าแป้งฟลาวัวร์ที่นำไปสกัดน้ำมันออก (Adebowale et al., 2005)

ในช่วง holding period ที่คงอุณหภูมิคงที่ที่ 95°C จะเป็นช่วงที่เกิดการฉีกขาดของเม็ดแป้งทำให้อะไมโลสหลุดออกมาอยู่ในสารละลาย เกิดการลดลงของความหนืด (breakdown) เรียกความหนืดในช่วงนี้ว่า shear-thinning หรือ holding strength หรือ hot paste viscosity หรือ trough อัตราการเกิดการพองของแป้งและการลดลงของความหนืดเป็นสมบัติที่ขึ้นกับประเภทแป้งและขึ้นกับกระบวนการและองค์ประกอบภายในของแป้ง เช่น โปรตีนและไขมัน รวมทั้งยังขึ้นกับการตัดแปรด้วยวิธีการต่างๆ อีกด้วย (Araujo-Farroet al., 2005) จากการทดลองนี้พบว่าแป้งดิบที่ไม่สกัดน้ำมันมีค่าความหนืดในช่วง holding period ต่ำกว่าแบบสกัดน้ำมันออกแล้ว แสดงว่าส่วนของน้ำมันภายในเมล็ดเงาะมีผลกับสมบัติด้านความหนืดอย่างมาก

เมื่อทำให้น้ำแป้งเย็นลง หากแป้งมีความเข้มข้นเพียงพอก็สามารถเกิดเจลได้ และโดยทั่วไปความหนืดมักจะเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นกลไกการเกิดเจลโดยปกติของแป้งและยังขึ้นกับการเกิด reassociation ของแป้งจากองค์ประกอบที่เป็นอะไมโลส ช่วงนี้เรียกว่าช่วงเกิด setback ซึ่งมักเกี่ยวข้องกับการเกิด retrogradation และการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลแป้ง ค่า setback มักมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัส ยิ่งมีค่าสูง แป้งดังกล่าวก็จะยิ่งเกิดการ syneresis ระหว่างการบวกรวมการแช่แข็งและละลายได้มาก (Araujo-Farroet al., 2005) ในกรณีนี้ค่า setback ของแป้ง ฟลาวัวร์ดิบจากเมล็ดเงาะที่ไม่สกัดน้ำมันมีค่าสูงกว่าแป้งฟลาวัวร์ที่สกัดน้ำมันแล้ว แป้งฟลาวัวร์ที่ไม่สกัดน้ำมันจึงมีแนวโน้มในการเกิด retrogradation และ syneresis ได้มากกว่าแป้งฟลาวัวร์ที่สกัดน้ำมันแล้ว ซึ่งลักษณะนี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย DSC ที่พบว่าแป้งฟลาวัวร์แบบไม่สกัดน้ำมันมี % retrogradation ถึง 205 % ในขณะที่ตรวจการเกิดรีโทรกราเดชันไม่พบในแป้งฟลาวัวร์แบบที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้ว

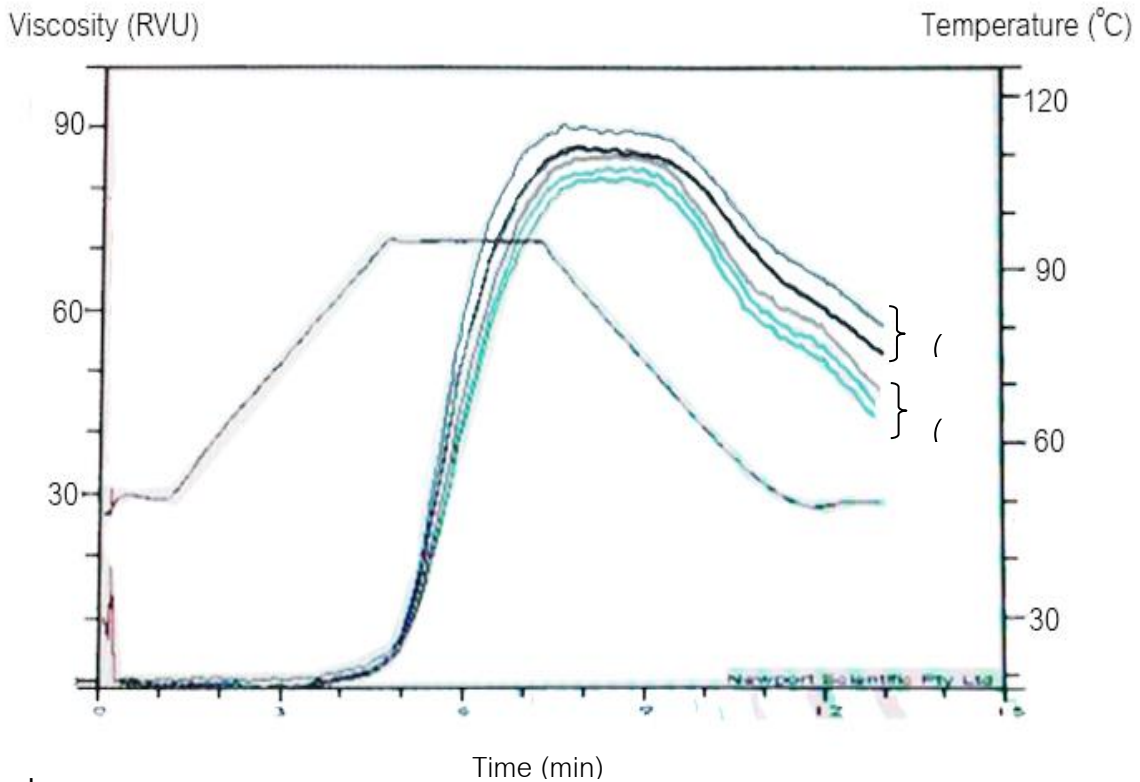
ตารางที่ 4.10 สมบัติด้านความหนืดของแป้งดิบจากเมล็ดเงาะ แป้งฟลาวัวร์แบบสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น และแบบสกัดน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลาย ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

สมบัติด้านความหนืด	แป้งดิบจากเมล็ดเงาะ ไม่สกัดน้ำมัน*	แป้งฟลาวัวร์จากเมล็ด เงาะ สกัดน้ำมันแบบสกัด เย็น*	แป้งฟลาวัวร์จากเมล็ด เงาะ สกัดน้ำมันด้วย ตัวทำละลาย*
Peak viscosity (cP)	129.36±11.58 ^a	984.64±36.32 ^c	889.32±31.66 ^b
Holding Strength (cP)	94.32±9.29 ^a	699.68±40.99 ^c	560.64±31.88 ^b
Breakdown (cP)	35.04±3 ^a	285±7.24 ^b	328.68±8.11 ^c
Final Viscosity cP)	93.00±10.44 ^a	653.64±32.34 ^c	526.36±29.59 ^b
Setback (cP)	-1.36±2.07 ^a	-46.04±8.66 ^c	-34.32±3.55 ^b
Peak Time (นาทื)	7.00±0.00 ^a	7.00±0.00 ^a	7.00±0.00 ^a
Pasting Temperature (°C)	ND	94.03±0.55 ^a	95.22±0.08 ^b

* ค่าที่แสดง เป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่เป็น superscript ที่แตกต่างกันและอยู่ในแถวเดียวกัน แสดงว่าค่าดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ND คือ not determined (เนื่องจากมี noise)



รูปที่ 4.11 ลักษณะ pasting curve แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืด ของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะ จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA (1) แบบสกัดเย็น (2) แบบสกัดด้วยตัวทำละลาย

4.2.5 สมบัติด้านหน้าที่ของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงาที่ผ่านการสกัดน้ำมัน

สมบัติด้านหน้าที่มีความสำคัญในอาหารอย่างยิ่ง เช่น การอุ้มน้ำและการดูดซับน้ำมีความสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทไส้กรอก คัสตาร์ด และแป้งโด เป็นต้น ส่วนการดูดซับน้ำมันมีผลต่ออาหารในด้าน การคงกลิ่นรส ความอโรย และการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เบเกอรี่หรือเนื้อสัตว์ (Adebawal and Lawal, 2004) โดยการดูดซับน้ำมันเป็นความสามารถของส่วนโปรตีนของแป้งฟลาวัวร์ที่จะเกิดการสร้างพันธะกับส่วนของไขมันและทำหน้าที่ในการเก็บกักกลิ่นรสเอาไว้ เมื่อรับประทานจึงทำให้อาหาร มีรสชาติ (Kinsella, 1976)

ในการศึกษาสมบัติด้านหน้าที่ เมื่อเติมน้ำลงในแป้งฟลาวัวร์ และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดแป้งจะเกิด ดูดซึมน้ำจนเข้าสู่ภาวะสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำที่เติมและความชื้นในบรรยากาศ โดย แป้งจะไม่ละลายน้ำในขณะที่อยู่ในน้ำอุณหภูมิห้องหรือน้ำเย็น แต่จะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach et al., 1959) ผลจากการศึกษาสมบัติด้านหน้าที่แสดงใน ตารางที่ 4.2.4 ซึ่งพบว่าแป้งฟลาวัวร์ที่สกัดน้ำมันโดย การสกัดเย็นและการสกัดด้วยตัวทำละลายมีค่าดัชนีการอุ้มน้ำ (3.37-3.75 g/g) และ ความสามารถในการดูด ซึมน้ำมัน (2.42-2.44 %) ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ส่วนแป้ง ฟลาวัวร์ที่ผ่านการสกัดเย็นมีค่าดัชนีการละลาย น้ำ (9.30 %) และการรักษาความคงตัวของอิมัลชัน (22.94 %) สูงกว่าแป้งฟลาวัวร์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำ ละลายที่มีดัชนีการละลายน้ำเท่ากับ 6.60 % และการรักษาความคงตัวของอิมัลชันเท่ากับ 12.05 % แต่ ความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการเกิดอิมัลชันของแป้งฟลาวัวร์ที่ผ่านการสกัดเย็นต่ำกว่า แป้งฟลาวัวร์ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย

ค่าดัชนีการอุ้มน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดงามีค่า ก่อนข้างสูง ซึ่งค่าที่สูงนี้เนื่องมาจากลักษณะตามธรรมชาติของแป้งฟลาวัวร์ที่เกี่ยวข้องกับการดูดน้ำของ โครงสร้างส่วนผนังเซลล์ซึ่งยังไม่ได้ถูกกำจัดออก (Sathe and Salunkhe, 1981) นอกจากนี้สมบัติดังกล่าวยัง ขึ้นกับสัดส่วนและปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคติน (Bell-Perez et al., 2002)

จากงานวิจัยของ Sankhon et al. (2014) รายงานว่าแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ด African locust bean มีค่าการดูดซับน้ำและน้ำมันอยู่ที่ 2.62 และ 1.52 ml/g ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าเมื่ออยู่ในรูปสตาร์ช ผล การทดลองดังกล่าวสนับสนุนว่าแป้งฟลาวัวร์มีสมบัติเป็น hydrophilic มากกว่าเนื่องจากปริมาณโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตที่สูงกว่าสตาร์ช ทำให้ดูดซับน้ำได้มากกว่า ส่วนความสามารถในการดูดซับน้ำมันที่สูงกว่า ในแป้งฟลาวัวร์นั้น อาจจะเนื่องมาจากปริมาณโปรตีนและไขมันที่สูงกว่าทำให้สามารถตรึงน้ำมันได้มากกว่า โดยกลไกการดูดซับน้ำมันนั้นเกิดจาก physical entrapment ของน้ำมันโดยกระบวนการ capillary attraction อย่างไรก็ตามสมบัติ hydrophobicity ของโปรตีนก็มีบทบาทสำคัญในการดูดซับน้ำมันด้วย (Voutsinas and Nakai, 1983)

ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน และการรักษาความคงตัวของอิมัลชันของแป้งฟลาวัวร์จากงาที่ สกัดน้ำมันแล้วนั้นมีค่าค่อนข้างต่ำ และพบว่าแป้งงาสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายนั้นเกิดอิมัลชันได้ดีกว่า แบบสกัดเย็น แต่กลับให้อิมัลชันที่มีความคงตัวต่ำกว่า ($P\leq 0.05$) จากผลการทดลองนี้พบว่าค่าที่ได้ต่ำกว่า รายงานของ Etong et al. (2014) พบว่าแป้งฟลาวัวร์จากข้าวสาลี มันสำปะหลัง และมันเทศมีค่า emulsion capacity อยู่ระหว่าง 44.85-50.51% และมีค่า emulsion stability อยู่ระหว่าง 47.00 ถึง 53.00%

ตารางที่ 4.11 สมบัติด้านหน้าที่ของแป้งพลาร์จากเมล็ดเงาะที่ผ่านการสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น และแบบสกัดน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลาย

สมบัติด้านหน้าที่	แป้งพลาร์จากเมล็ดเงาะ สกัดไขมันแบบสกัดเย็น*	แป้งพลาร์จากเมล็ดเงาะ สกัดไขมันด้วยตัวทำละลาย*
ดัชนีการอุ้มน้ำ (g/g)	3.75 ± 0.36 ^a	3.37 ± 0.12 ^a
ดัชนีการละลายน้ำ (%)	9.30 ± 1.09 ^b	6.60 ± 0.35 ^a
ความสามารถในการดูดซับน้ำ (g/g)	2.71 ± 0.05 ^a	2.85 ± 0.14 ^b
ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน(g/g)	2.44 ± 0.14 ^a	2.42 ± 0.03 ^a
ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (%)	30.57 ± 1.17 ^a	44.68 ± 1.85 ^b
การรักษาความคงตัวของอิมัลชัน (%)	22.94 ± 2.28 ^b	12.05 ± 1.03 ^a

* ค่าที่แสดง เป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่เป็นตัวพิมพ์เล็กและเป็น superscript ที่แตกต่างกันและอยู่ในแถวเดียวกัน แสดงว่าค่าดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2.5 และภาพที่ 4.2.9 พบว่า แป้งฟลาวาร์จากเมล็ดงาที่ผ่านการสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็นไม่มีการเปลี่ยนแปลงของกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 80-95°C แต่แป้งฟลาวาร์ที่ผ่านการสกัดน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลาย พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังการพองตัวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากงานวิจัยต่างๆ ซึ่งพบว่าว่าการพองตัวของแป้งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ (1) ส่วน อสัณฐาน (amorphous region) และส่วนผลึก (crystalline region) โดยส่วนอสัณฐานเป็นบริเวณที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแป้งอย่างไม่เป็นระเบียบด้วยแรงยึดเหนี่ยวแบบอ่อนๆ จึงถูกทำลายได้ง่ายและ ทำให้เกิดการพองตัวในช่วงแรก และส่วนผลึกเป็นบริเวณที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแป้งอย่างหนาแน่นด้วยแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงและจะถูกทำลายเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดการพองตัวในช่วงที่ 2 (ทักษิณี และ อรอนงค์, 2530) (2) ปริมาณของอะไมโลสหรืออัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินรวมถึงโครงสร้างของอะไมโลเพคตินมีผลต่อกำลังการพองตัว โดยแป้งที่มีปริมาณของอะไมโลเพคตินสูงหรือมีปริมาณ อะไมโลสต่ำมีผลให้แป้งสามารถพองตัวได้สูง ทั้งนี้เป็นผลมาจากโครงสร้างของอะไมโลเพคตินที่มีกิ่งก้านสาขาเป็นจำนวนมากมีผลให้โครงสร้างของเม็ดแป้งไม่แข็งแรง เนื่องจากไม่สามารถ จัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นได้ จากเหตุผลนี้เป็นเหตุให้แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำสามารถพองตัวได้ดีกว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (Tester และ Morrison, 1990) (3) ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังการพองตัวอาจไม่ได้เป็นผลมาจากผลของปริมาณอะไมโลสเพียงอย่างเดียว แต่อาจมีผลเนื่องมาจากความแตกต่างของปริมาณผลึก หากมีปริมาณผลึกสูงกว่า ทำให้ส่วนอสัณฐาน มีปริมาณที่สูงกว่า จึงทำให้น้ำสามารถที่จะแทรกเข้าไปในโครงสร้างได้มากกว่า ซึ่งมีผลให้สามารถที่จะพองตัวได้สูงกว่า

เมื่อเปรียบเทียบจากปริมาณอะไมโลสที่พบภายในแป้งฟลาวาร์จากเมล็ดงา พบว่าปริมาณอะไมโลสในแป้งฟลาวาร์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า (ตารางที่ 4.2.1) แต่อย่างไรก็ตาม กำลังการพองตัวของแป้งฟลาวาร์สกัดน้ำมันทั้งสองวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 85-95°C ($P > 0.05$) จากผลการทดลอง ค่าการละลายและกำลังการพองตัวของแป้งฟลาวาร์จากงามีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับรายงานวิจัยอื่น โดยแป้งฟลาวาร์จากงาที่สกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายมีค่าการละลายและกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 95°C ประมาณ 9.03 และ 10.42% ตามลำดับ จากรายงานของผาณิต (2549) พบว่าแป้งฟลาวาร์จากหัวจิ้นขนาด 60 mesh มีค่าการละลายและกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 95°C ประมาณ 24 และ 12.5% ตามลำดับ ส่วนสตาร์ชจากหัวจิ้น มีค่าการละลายและกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 95°C ประมาณ 11 และ 21% ตามลำดับ Lii and Chang (1981) รายงานว่าค่าการละลายและกำลังการพองตัวของสตาร์ชจากหัวแดงมีค่าประมาณ 25 and 32% ตามลำดับ แต่จากการทดลองพบว่ากำลังการพองตัวของแป้งฟลาวาร์ที่ผ่านการสกัดเย็นพบว่ามีค่าสูงมากและแตกต่างจากแบบสกัดด้วยตัวทำละลายมากในช่วง 90-95°C ($P \leq 0.05$) โดยค่าการละลายของแป้งฟลาวาร์สกัดเย็นที่ 95°C สูงถึง 58.11%

ค่าการละลายและกำลังการพองตัวที่ต่ำนั้นอาจเนื่องมาจากปริมาณโปรตีนและไขมันที่สูงในแป้งฟลาวาร์ โดยโปรตีนและไขมันที่มึ้นนี้อาจเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชัน (inclusion complex) กับอะไมโลส เช่น สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโปรตีนและอะไมโลส (protein-amylose complex) อาจเป็นสาเหตุในการลดต่ำลงของค่ากำลังการพองตัว (Pomeranz, 1991)

Shimelis et al. (2006) รายงานว่าสตาร์ชและโปรตีนมีการดึงดูดซึ่งกันและกันเนื่องมาจากมีประจุตรงกันข้าม จึงทำให้เกิดการสร้างเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชันในระหว่างการเจลาทีไนเซชันและทำให้การพองตัวลดลง Leach et al. (1959) และ Zeleznak and Hosenev (1987) อธิบายว่าอะไมโลสสามารถทำหน้าที่เป็นทั้ง diluents และ inhibitor ของการพองตัวโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีไขมันอยู่ด้วยโดยสามารถ

เกิดการสร้างเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำได้กับอะไมโลสบางส่วนในระหว่างการพองตัวและเจลาทิไนเซชัน

ตามปกติแล้วโมเลกุลแป้งจะอยู่รวมกันโดยเชื่อมกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็น crystalline bundles ที่เรียกว่าไมเซลล์ (micelles) เมื่อแป้งอยู่ในน้ำเย็นหรืออุณหภูมิยังไม่สูงมากเม็ดสตาร์ชจะพองตัวได้อย่างจำกัด และเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ยึดหยุ่นได้จำกัด แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว ทำให้ค่ากำลังการพองตัวมีค่าสูง และส่งผลให้บางส่วนของแป้งละลายออกมาจึงทำให้ค่าการละลายของแป้งเพิ่มขึ้นด้วย (Leach et al., 1959)

Shimelis et al. (2006) รายงานว่าการจำแนกแป้งและสตาร์ชตามกำลังการพองตัวเป็น ประเภทที่มีกำลังการพองตัวสูง โดยมีค่ากำลังการพองตัวมากกว่า 30% ขึ้นไป ที่ 95°C (high swelling) รองลงมาเป็น ประเภทที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง (moderate swelling) และประเภทที่มีกำลังการพองตัวจำกัด (restricted swelling) จะมีกำลังการพองตัวประมาณ 16-20% ที่ 95°C และประเภทที่มีค่าต่ำกว่านี้จะจัดเป็นประเภทที่มีกำลังการพองตัวจำกัดมาก (high restricted-swelling) จากผลการทดลองนี้พบว่าแป้งฟลาวัวร์จากเงาะทั้งที่ผ่านการสกัดน้ำมันแบบสกัดเย็นและแบบสกัดด้วยตัวทำละลายจัดอยู่ในประเภทที่มีกำลังการพองตัวจำกัดมาก ซึ่งลักษณะแบบนี้มักจะเหมาะกับการนำไปผลิตอาหารประเภทก๋วยเตี๋ยวหรือนำไปผสมเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ธัญพืช (Biliaderis et al., 1993; Shimelis et al., 2006)

จากตารางที่ 4.2.5 และภาพที่ 4.2.10 พบว่ามีความแตกต่างของค่าการละลายของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะทั้งสองชนิด โดยพบว่าแป้งฟลาวัวร์ที่ได้จากการสกัดน้ำมันแบบสกัดเย็นจะมีค่าการละลายที่สูงกว่าแป้งฟลาวัวร์ที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลาย ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณอะไมโลสที่สูงกว่า (ตารางที่ 4.2.1) โดยคุณสมบัติทางด้านการละลายมีความเกี่ยวข้องกับพันธะภายในเม็ดแป้ง โดยพันธะที่เกิดขึ้นในแป้งสามารถเกิดขึ้นได้ใน 2 บริเวณ คือ พันธะบริเวณผลึกและพันธะบริเวณอสัณฐานของเม็ดแป้ง (Onitiloet al., 2007; กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) ซึ่งพันธะภายในเม็ดแป้งที่เกิดขึ้น ได้แก่ พันธะที่เกิดจากการจับกันระหว่างอะไมโลสกับอะไมโลส อะไมโลสกับอะไมโลเพคติน และอะไมโลสกับไขมัน เป็นต้น ซึ่งพันธะที่เกิดขึ้นเหล่านี้มีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างเม็ดแป้ง โดยมีผลต่อการหลุดออกจากโครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินสายสั้นบางส่วนจากเม็ดแป้ง เนื่องจากการวัดค่าการละลายของแป้งเป็นการวัดปริมาณของของแข็งที่ละลายออกมาได้ (Tester และ Morrison, 1990) ซึ่งทางหนึ่งที่เป็นไปได้ คือ อะไมโลสและโครงสร้างของอะไมโลเพคตินสายสั้น ดังนั้น แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสมากกว่าจะมีโอกาสการหลุดออกจากโครงสร้างเม็ดแป้งที่สูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามแป้งที่มีส่วนอสัณฐานมากกว่าก็มีโอกาสการหลุดออกจากโครงสร้างเม็ดแป้งของอะไมโลเพคตินสายสั้นก็เป็นไปได้มากกว่า

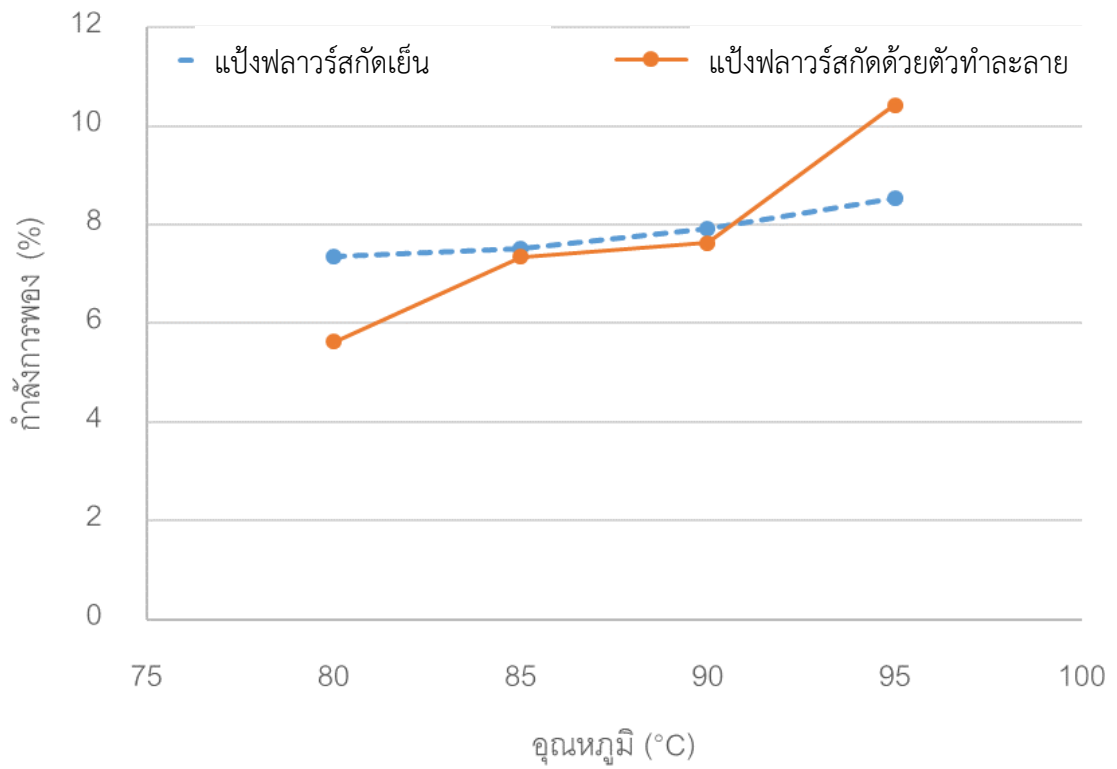
ตารางที่ 4.12 สมบัติด้านหน้าที่ของแป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะที่ผ่านการสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น และแบบสกัดน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลาย

สมบัติด้านหน้าที่ ที่อุณหภูมิต่างๆ	แป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะ สกัดไขมันแบบสกัดเย็น*	แป้งฟลาวัวร์จากเมล็ดเงาะ สกัดไขมันด้วยตัวทำละลาย*
กำลังการพอง (%)		
80 °C	7.36 ± 0.72 ^{aA}	5.63 ± 0.25 ^{aB}
85 °C	7.52 ± 0.60 ^{aA}	7.35 ± 0.36 ^{bA}
90 °C	7.91 ± 0.19 ^{aA}	7.63 ± 0.27 ^{bA}
95 °C	8.54 ± 1.51 ^{aA}	10.42 ± 0.22 ^{cA}
ค่าการละลาย (%)		
80 °C	9.73 ± 2.20 ^{aA}	9.79 ± 1.14 ^{aA}
85 °C	12.55 ± 0.91 ^{aA}	9.19 ± 2.38 ^{aA}
90 °C	16.39 ± 1.48 ^{bA}	8.74 ± 0.60 ^{aB}
95 °C	58.11 ± 1.28 ^{cA}	9.03 ± 0.57 ^{aB}

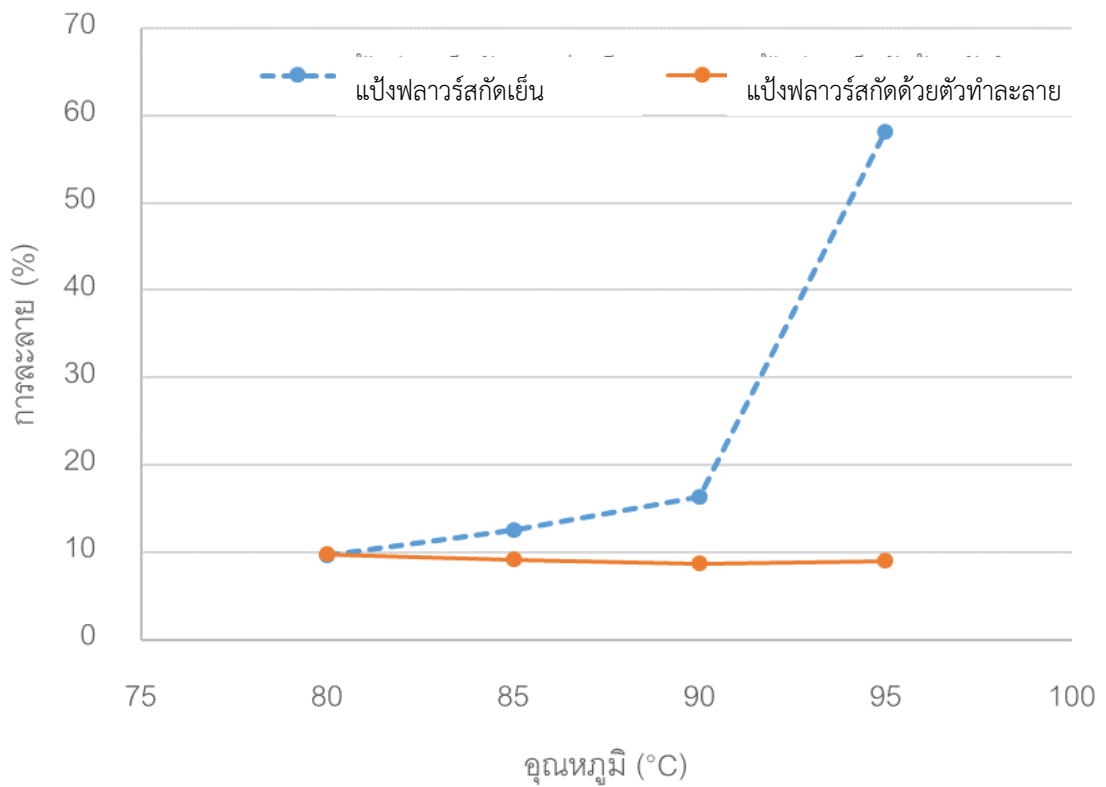
* ค่าที่แสดง เป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่เป็นตัวพิมพ์เล็กและเป็น superscript ที่แตกต่างกันและอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* ตัวอักษรที่เป็นตัวพิมพ์ใหญ่และเป็น superscript ที่แตกต่างกันและอยู่ในแถวเดียวกัน แสดงว่าค่าดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4.12 กำลังการงอกตัวของแป้งฟลาวร์สกัดเย็นและสกัดด้วยตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 80-95°C



รูปที่ 4.13 ค่าการละลายของแป้งฟลาวร์สกัดเย็นและสกัดด้วยตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 80-95°C

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพ สมบัติการป้องกันแสงแดด สมบัติต้านออกซิเดชัน สมบัติต้านการอักเสบ และความเป็นพิษของไขมันจากเมล็ดงา

งาพันธุ์โรงเรียนที่นำมาศึกษามีสัดส่วนเนื้อเท่ากับส่วนเปลือก แต่มีส่วนเมล็ดเพียงร้อยละ 12 ของน้ำหนักงาสอดทั้งสิ้น

การสกัดเย็นให้ไขมันที่มีคุณภาพด้านการหืนที่ดีกว่า โดยพบว่ามีค่า Peroxide value ต่ำกว่าซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นกรดที่ต่ำกว่า แสดงว่าการสกัดเย็นซึ่งไม่มีการให้ความร้อนกับตัวอย่างในระหว่าง การสกัด ทำให้ไขมันไม่ถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสนองทำให้ไขมันที่สกัดเย็นมีค่า free fatty acid ต่ำกว่าไขมันที่สกัดด้วย Soxhlet ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้การสกัดเย็นยังทำให้ได้ไขมันที่มี ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบมากกว่าการสกัดด้วย soxhlet ทำให้ค่าไอโอดีนของไขมันจาก การสกัดเย็นมีค่าสูงกว่า นอกจากนี้การสกัดเย็นยังทำให้ได้กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลใหญ่กว่า ทำให้ได้ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมันสกัดแบบ soxhlet ทำให้ไขมันที่ได้จากการสกัดแบบเย็นมี ลักษณะเป็นไข แข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในไขมันเมล็ดงาคือ arachidic acid และ oleic acid จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง นอกจากนี้การสกัดเย็นยังได้ไขมัน เมล็ดงาที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันรังสี UVB ได้ดีกว่าการสกัดด้วย hexane และยังมีสมบัติการต้าน ออกซิเดชันที่ดีกว่า และพบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าอีกด้วย รวมทั้งยังก่อความระคายเคืองต่อผิวหนัง น้อยกว่าอีกด้วย

5.2 การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพ สมบัติด้านความหนืด และสมบัติด้านหน้าที่ของแข็งที่ได้หลังการ สกัดน้ำมันแล้ว

จากผลการทดลองพบว่าแข็งดิบมีปริมาณไขมันสูงถึง 30.08% โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำไปสกัดน้ำมัน ออกโดยการสกัดเย็นพบว่ามีปริมาณไขมันคงเหลือ 19.35 % โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนการสกัดด้วยตัวทำละลาย สามารถสกัดน้ำมันออกได้มากกว่า โดยจะพบว่ามีปริมาณไขมันคงเหลืออยู่ 10.14 % โดยน้ำหนักแห้ง หลัง การสกัดน้ำมันแข็งดิบมีโปรตีน 10.18-10.20 % โดยน้ำหนักแห้ง สำหรับการสกัดเย็นพบว่าแข็งดิบมี ปริมาณอะไมโลสสูงกว่า (13.52%) แบบสกัดด้วยตัวทำละลาย (10.28%)

ผลการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM จะเห็นได้ว่า เม็ดแข็งของแข็งดิบจาก เมล็ดงาเมล็ดงามีลักษณะค่อนข้างกลม รี เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-12 μm เมื่อนำไปศึกษา สมบัติทาง thermodynamic พบว่า แข็งดิบแบบสกัดและไม่สกัดน้ำมันมี Peak temperature (T_p) ไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) แต่แข็งดิบที่สกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็น มีค่า Onset temperature (T_o) ต่ำที่สุด และมีค่า Conclusion temperature (T_c) สูงที่สุด ($P \leq 0.05$) แข็งดิบจากเมล็ดงาที่สกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายมี ค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีนในเซชันสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) เท่ากับ 9.06 J/g เมื่อนำสารละลายแข็งดิบผ่านการ

เวลาที่โนเซชันแล้วมาเก็บที่อุณหภูมิ 5-10°C เป็นเวลา 7 วัน พบว่ามีการเกิดรีโทรกราเดชันเฉพาะในแป้งดิบ ไม่สกัดน้ำมันเท่านั้น โดยมีอุณหภูมิระหว่างเกิดการรีโทรกราเดชันระหว่าง 46.10-62.00°C และค่าพลังงาน เท่ากับ 9.37 J/g คิดเป็น % Retrogradation เท่ากับ 205.03%

ผลจากการวิเคราะห์ด้วย RVA พบว่าความหนืดของแป้งดิบนั้นมีค่าต่ำมาก แต่เมื่อผ่านการสกัด น้ำมันแล้วความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อให้ความร้อน โดยพบว่า ค่า peak viscosity, holding strength, breakdown, final viscosity และ setback ของแป้งดิบมีค่าต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) แต่ peak time ไม่แตกต่างกับแป้งฟลาวัวร์แบบสกัดน้ำมันทั้ง 2 แบบ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบแป้งฟลาวัวร์ที่ผ่านการสกัดน้ำมัน พบว่าแป้งที่สกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็นมีค่า peak viscosity, holding strength, และ final viscosity สูงกว่าแป้งฟลาวัวร์ที่สกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย ยกเว้นค่า breakdown และ setback จะมีค่าต่ำกว่า ($P \leq 0.05$) ค่า pasting temperature ของแป้งฟลาวัวร์จากเงาะทุกตัวอย่างมีค่าสูงมาก (94.03-95.22°C)

ในการวิเคราะห์สมบัติด้านหน้าที่ แป้งฟลาวัวร์ที่สกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็นและการสกัดด้วยตัวทำละลายมีค่าดัชนีการอุ้มน้ำ (3.37-3.75 g/g) และ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (2.42-2.44 %) ไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ส่วนแป้งฟลาวัวร์ที่ผ่านการสกัดเย็นมีค่าดัชนีการละลายน้ำ (9.30 %) และการรักษาความคงตัวของอิมัลชัน (22.94 %) สูงกว่าแป้งฟลาวัวร์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีดัชนีการละลายน้ำ เท่ากับ 6.60 % และการรักษาความคงตัวของอิมัลชันเท่ากับ 12.05 % แต่ความสามารถในการดูดซับน้ำและ ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของแป้งฟลาวัวร์ที่ผ่านการสกัดเย็นต่ำกว่าแป้งฟลาวัวร์ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย ค่ากำลังการพองตัวของแป้งฟลาวัวร์จากเงาะมีค่าค่อนข้างต่ำและแป้งฟลาวัวร์สกัดน้ำมันทั้งสองวิธีมีค่ากำลังการ พองตัวไม่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 85-95°C ($P > 0.05$) แต่ที่ 80°C กำลังการพองตัวมีความแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) และแป้งฟลาวัวร์ที่ได้จากการสกัดน้ำมันแบบสกัดเย็นมีค่าการละลายที่สูงกว่าแป้งฟลาวัวร์ที่สกัดโดย การใช้ตัวทำละลายเฉพาะในช่วงอุณหภูมิ 90-95°C ($P \leq 0.05$) โดยค่าการละลายของแป้งฟลาวัวร์สกัดเย็นที่ 95°C สูงถึง 58.11%

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2556. สถานการณ์ด้านเศรษฐกิจ Retrieved from <http://www.moac.go.th>
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- เกื้อพันธ์ ชยะสุนทร. 2552. ผลของขนาดอนุภาคต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ, ความร้อนและรีโอโลยีของแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ทัศนีย์ พรกิจประสาน และอรอนงค์ นัยวิกุล. 2530. การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งและสตาร์ชลูกเดือย. วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย์.), 21: 371-377.
- นัฐวี ติरणานนท์, “การศึกษาการนำเมล็ดเงาะจากอุตสาหกรรมการผลิตเงาะกระป๋องมาใช้ในการผลิตเป็นไบโอดีเซล,” วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2551.
- นิธยา รัตนพานนท์, วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน, กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2548.
- ผาณิต รุจิรพิสิฐ. 2550. องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชและกากสตาร์ชจากหัวจีน. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ปีที่ 27 ฉบับที่ 2 (พ.ค.-ส.ค.50) หน้า 162-172
- วรรณรดา ศิริสมพงษ์, “การสกัด สมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะ,” วิทยาศาสตร์การอาหาร, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2553.
- วิมลศรี พรรณประเทศ ศรีศักดิ์ ตรังวัชรกุล ไศรดา วัลภา จิระวัฒน์ เอี่ยมวัฒน์ ภูมริน บุญโกสุมภ์ และกุลณี เลาะห์กุล. 2555. การประยุกต์ใช้แป้งเมล็ดเงาะในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดแคลอรีต่ำ. วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร. 43(2) (พิเศษ): 517-520.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (20 มิถุนายน 2555). แปรรูป “เมล็ดเงาะ” ให้บริโภคได้ Retrieved from <http://www.manager.co.th/science/viewnews.aspx?NewsID=9550000075753>
- สิริรัตน์ สอาดรัตน์, ดุษฎี อุตภาพ, จุรีรัตน์ พุดตาลเล็ก และวิไล รังสาดทอง. 2548. แป้งพุทธรักษากินได้ (*Canna edulis*) ดัดแปรด้วยวิธีแอสซิติเลชัน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., ปีที่ 28, ฉบับที่ 1, มกราคม-มีนาคม, หน้า 87-102.
- อมรรัตน์ मुखประเสริฐ. 2544. การสกัดและศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากเมล็ดขนุน, รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- Adebowale, K. O. and O. S. Lawal. 2004. Comparative study of the functional properties of Bambarra groundnut (*Voadzeia subterranean*), Jack bean (*Carnivalia einseformis*) and Mucuna bean (*Mucuna pruriens*) flours. Food Research International, 37: 355-365.
- Adebowale, K. O., Olu-Owolabi, B. I., Kehinde, O. S. and O. S. Lawal. 2005. Functional properties of native, physical- and chemically modified breadfruit (*Artocarpus artilis*) starch. Industrial Crops and Products, 21: 343-351.
- Ajayi, I. A., Oderinde, P.A., Kajogbola, D. O., and Uponi, J. I. 2006. Oil content and fatty acid composition of some underutilized legumes from Nigeria. Food Chemistry, 99: 115-120.

- Ali, E. N., and Tay, C. I. 2013. Characterization of Biodiesel Produced from Palm Oil via Base Catalyzed Transesterification. *Procedia Engineering*, 53: 7-12.
- Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfeifer, V.H. and E.L. Griffin. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14: 4-7, 11-12.
- AOAC. 2012. Official Method of Analysis of AOAC international. 19th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland.
- Atwell, W.A., Hood, L.F., Linebackack, D.R., Varriano-Mar-Ton, E. and H.F. Zobel. 1988. The terminology and methodology associated with basis starch phenomena. *Cereal Foods World*. 33: 306-311.
- Augustin, M.A. and B.C. Chua. Composition of Rambutan seeds. *Pertanika*. 11(2): 211 - 215. 1988.
- Bell-Perez, L.A., Silvia Marbel, C.R., Rhebeca, R.M., Javier, S.F., and J.A. Antonio. 2002. Functional and chemical properties of modified starch from banana (*Musa paradisiaca*). *Agrociencia*, 36:169-180.
- Biliaderis, C.G., Page, C.M., Maurice, T.J. and B.O. Juliano. 1986. Thermal characterization of rice starches: a polymeric approach to phase transitions of granular starch. *J. Agric. Food Chem.*, 34: 6–14.
- Biliaderis, C.G., Tonogai, J.R., Perez, C.M., and B.O. Juliano. 1993. Thermo-physical properties of milled rice starch as influenced by variety and parboiling method. *Cereal Chem.*, 70: 512-516.
- Bodenhuizen, N. P. 1969. The biogenesis of starch granules in higher plants, Appleton Crofts, New York.
- Burkill, I.H., Birtwistle, W., Foxworth, .FW., Scrivenhor, J.B., and J.R. Watson. 1966. A dictionary of the economic products of the Malay Peninsula, 2: 1543–1548.
- Collison, R. 1968. Swelling and gelatinization of starch, in *Starch and Its Derivatives*, ed. by Radley, J.A. Chapman and Hall, London, pp. 168–193.
- Coultate, T.P. 1999. *Food : The Chemistry of Its Components*. 3rd ed. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp. 54 - 93.
- Dost, K., and İdeli, C. 2012. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in edible oils and barbecued food by HPLC/UV–Vis detection. *Food Chemistry*, 133: 193-199.
- Eiamwat, J., Wanlapa, S., Sematong, T., Reungpatthanapong, S., Phanthanapatet, W., Hankhantod, N., and S. Kampruengdet. 2015. Rambutan (*Nephelium lappaceum*) seed flour prepared by fat extraction of rambutan seeds with SC-CO₂. *Proceedings of the International Conference on Herbal and Traditional Medicine (HTM 2015)*, 2015 Jan 28-30, Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel, Khon Kaen, Thailand, p.138-146.
- Eliasson, A-C., and M. Gudmundsson. 1996. Starch: Physicochemical and functional aspects, In *Carbohydrates in Food*. (Eliasson, A-C., ed.) p. 441-503. Marcel Dekker. Inc. New York.

- Ellis, R.P., Cochrane, M.P., Dale, M.F.B., Duffus, C.M., Lynn, A., Morrison, I.M., Prentice, R.O.M., Swanston, J.S. and S.A.Tiller. 1998. Starch production and industrial use. *Journal of Food Science and Agriculture*, 77: 182-187
- Etong, D.I., Mustapha, A.O. Lawrence, I.G. Jacob, A.G. and M.O. Oladimeji. 2014. Nutritional and Physicochemical Properties of Wheat (*Triticum vulgare*), Cassava (*Manihot esculenta*) and Sweet Potato (*Ipomoea batatas*) Flours. *Pakistan Journal of Nutrition*, 13 (8): 439-445.
- Grausgruber, H., Scheibkauer, J., Schönlechner, R., Ruckenbauer, P. and E. Berghofer. 2004. Variability in chemical composition and biologically active constituents of cereals. *Genetic Variation for Plant Breeding*: 23-26.
- Hadziyev, D. 1987. *Food Chemistry*. (Belitz, H.D. and Grosch, W. eds.) Springer Verlag, Berlin, pp. 128 - 200, 472 - 493.
- Harahap, S.N., Ramli, N., Vafaei, N. and M. Said. 2012. Physicochemical and Nutritional Composition of Rambutan Anak Sekolah (*Nephelium lappaceum* L.) Seed and Seed Oil. *Pakistan Journal of Nutrition*, 11(11): 1073-1077.
- Hasjim, J., Srichuwong, S., Scott, M. P. and J-L. Jane. 2009. Kernel composition, starch structure, and enzyme digestibility of opaque-2 Maize and quality protein maize. *J. Agr. Food Chem.* 57(5): 2049-2055.
- Hermanson, A.M., and K. Svegmarm. 1996. Developments in the understanding of starch functionality. *Trends in Food Sci. & Tech.* 7: 345-353.
- Jenkins, P.J., and A.M. Donald. 1995. The influence of amylose on starch granule structure. *Int. J. Biol. Macromol.* 17: 315-321.
- Jitngarmkusol, S., Hongsuwankul, J., and K. Tananuwong. 2008. Chemical compositions, functional properties and microstructure of defatted macadamia flours. *Food Chem.* 110: 23-30.
- Juliano, B.O. 1984. Rice starch: production, properties and uses. In Whistler, R.L., BeMiller, J.N. and Paschall, E.F. (eds) *Starch: Chemistry and Technology*, 2nd edn. Academic Press, New York, pp. 507-528.
- Kinsella, J. E. 1976. Functional properties of food proteins: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 7: 219-280.
- Leach, H.W., Mccowen, L.C., and T.J.Schoch. 1959. Structure of the starch granules I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chem.*, 36: 534-541.
- Lii, C.Y. and S.M. Chang. 1981. Characterization of red bean (*Phaseolus radiates varaurea*) starch and its noodle quality. *J.Food Sci.*, 46: 78-81.
- Lourith, N., Kanlayavattanakul, M., Mongkonpaibool, K., Butsaratrakool, T., and Chinmuang, T. 2016. Rambutan seed as a new promising unconventional source of specialty fat for cosmetics. *Industrial Crops and Products*, 83: 149-154.

- Maninder, K., Sandhu, K.S., and N. Singh. 2007. Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisum sativum* L.) and pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) cultivars. *Food Chem.*, 104: 259–267.
- Martínez-Yusta, A., and Guillén, M. D. 2014. Deep-frying food in extra virgin olive oil: A study by ¹H nuclear magnetic resonance of the influence of food nature on the evolving composition of the frying medium. *Food Chemistry*, 150: 429-437.
- Mathews, CK. And van Holde, K.E. 1990. *Biochemistry*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., pp. 298 - 307, 631 - 641.
- Nader, J., Fawaz, N., Afif, C., and Louka, N. 2016. A novel process for preparing low-fat peanuts: Optimization of the oil extraction yield with limited structural and organoleptic damage. *Food Chemistry*, 197: 1215-1225..
- Newport Scientific Pty, Ltd.1995. Operation manual for the Series 4 Rapid Visco Analyzer.Australia. 93 p.
- Onitilo, M.O, Sanni, L.O, Daniel, I., Maziyadixon, B. and A. Dixon. 2007. Physico-chemical and functional properties of native starches from cassava varieties in southwest Nigeria. *J. Food, Agric. Environ.*, 5(3&4):108-114.
- Pomeranz, Y. 1991. *Functional properties of food components*. 2nd Edn. Academic Press, New York, pp: 27-28.
- Ragasa, C.Y., De Luna, R.D., Cruz, W.C., and J.A. Jr., Rideout. 2005. Monoterpene lactones from the seeds of *Nephelium lappaceum*. *Journal of Natural Products*, 68: 1394–1396.
- Ratnayake, W., Otani, C. and D.S. Jackson. 2009. DSC Enthalpic Transitions during Starch Gelatinization in Excess Water, Dilute Sodium Chloride, and Dilute Sucrose Solutions. *J. Sci. Food Agric.*, 89: 2156-2164.
- Sajilata, M.G., Singhal, R.S. and P.K. Kulkarni. 2006. Resistant starch a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5: 1-17.
- Sankhon, A., Amadou, I., Yao, W-R., Wang, H., Qian, H., and M. Sangare. 2014. Comparison of Physicochemical and functional properties of flour and starch extract in different methods from Africa locust bean (*Parkia biglobosa*) seeds. *Afr. J. Tradit. Complement Altern. Med.*, 11(2): 264-272.
- Sathe, S.K., Deshpande, S.S., and D.K. Salunkhe. 1982. Functional properties of winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus*, L) proteins. *J. Food Sci.*, 47: 503-506.
- Schoch, T. J. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. Pages 106-108 in: *Methods in Carbohydrate Chemistry*, Vol. 4. R. L. Whistler, ed. Academic Press: New York.
- Schoch, T.J., and E.C.Maywald. 1968. Preparation and properties of various legume starches. *Cereal Chem.*, 45: 564-573.

- Shimelis, E., Meaza, M., and S. Rakshit. 2006. Physico-chemical properties, pasting behavior and functional characteristics of flour and starches from improved bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. *E.J. Agric.Eng.Int.*, 8: 1-18.
- Silva, L. P. and M.L.S. Ciocca. 2005. Total, insoluble and soluble dietary fiber values measured by enzymatic–gravimetric method in cereal grains. *J. Food Compos. Anal.*, 18: 113-120.
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N. S. and B.S. Gill. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chem.*, 81: 219-231.
- Sirisompong, W., Jirapakkul, W., and Klinkesorn, U. 2011. Response surface optimization and characteristics of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) kernel fat by hexane extraction. *LWT - Food Science and Technology*, 44: 1946-1951..
- Solís-Fuentes, J.A., Camey-Ortiz, G., del Rosario Hernández-Medel, M., Pérez-Mendoza, F., and C. Durán-de-Bazúa. 2010. Composition, phase behavior and thermal stability of natural edible fat from rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) seed. *Bioresource Technology*, 101(2): 799-803.
- Sriburi, P., Hill, S.E., and F. Barclay. 1999. Depolymerisation of cassava starch. *Carbohydr. Polym.* 38: 211-218.
- Tester, R. 1997. Properties of damaged starch granules: composition and swelling properties of maize, rice, pea and potato starch fractions in water at various temperatures. *Food Hydrocolloids*, 11: 291-301.
- Tester, R.F. and W.R. Morrison. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches I. Effects of amylopectin, amylase and lipids. *Cereal Chemistry*, 67(6):551-557.
- Tester, R.F., and J. Karkalas. 1996. Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chem.*, 2: 271-277.
- Thitilertdecha, N., Teerawutgulrag, A., and Rakariyatham, N. 2008. Antioxidant and antibacterial activities of *Nephelium lappaceum* L. extracts. *LWT - Food Science and Technology*, 41: 2029-2035.
- Tupufia, S.C., Jeon, Y.J., Marquis, C., Adesina, A.A., Rogers, P.L. 2013. Enzymatic conversion of coconut oil for biodiesel production. *Fuel Processing Technology*, 106: 721-726.
- Voutsinas, L.P., and S. Nakai. 1983. A simple turbidimetric method for determination the fat binding capacity of proteins, *J. Agri. Food Chem.*, 31: 58.
- Whistler, P.L. and J.N. Bemiller. 1997. *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*. Eagan Press, St. Paul, MN, USA.
- Wu, T.-T., Charles, A. L. and T-Z. Huang. 2007. Determination of the contents of the main biochemical compounds of adlay (*Coix lachryma-jobi* L). *Food Chem.*, 104: 1509-1515.
- ZeleznaK, K.J., and R.C. Hosney. 1987. The glass transition in starch. *Cereal Chem.*, 64:121-124.

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาววิชมนี ยืนยงพุทธิกาล
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Wichamane Yuenyongputtakal
2. ตำแหน่งปัจจุบัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์
3. หน่วยงานที่สังกัด
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131
e-mail wich@buu.ac.th
4. ประวัติการศึกษา
ปร.ด. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วท.ม. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วท.บ. (วิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ) มหาวิทยาลัยบูรพา
5. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ
Food product development, Sensory evaluation, Processing of fruit and vegetable, Osmotic dehydration

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางพิชญอร ไหมสุทธิสกุล
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs. Pitchaon Maisuthisakul
2. ตำแหน่งปัจจุบัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์
3. หน่วยงานที่สังกัด
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
126/1 ถนนวิภาวดีรังสิต ดินแดง กรุงเทพฯ 10400
e-mail pitchaon@gmail.com, pitchaon_mai@utcc.ac.th
4. ประวัติการศึกษา
ปร.ด. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วท.ม. (เทคโนโลยีทางอาหาร) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วท.บ. (อุตสาหกรรมเกษตร) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
5. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ
Food antioxidant, Product development

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 2

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางเหมือนหมาย อภินทนาพงศ์

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs. Muanmai Apintanapong

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. หน่วยงานที่สังกัด

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

126/1 ถนนวิภาวดีรังสิต ดินแดง กรุงเทพฯ 10400

e-mail: mmeang@gmail.com, muanmai_api@utcc.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

Doctor of Technical Science (Postharvest and Food Process Engineering) Asian Institute of Technology (AIT)

Master of Science (Post Harvest Technology) Asian Institute of Technology (AIT)

วท.บ. (เทคโนโลยีชีวภาพ) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

5. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ

Rice, Food Properties, Biosorption