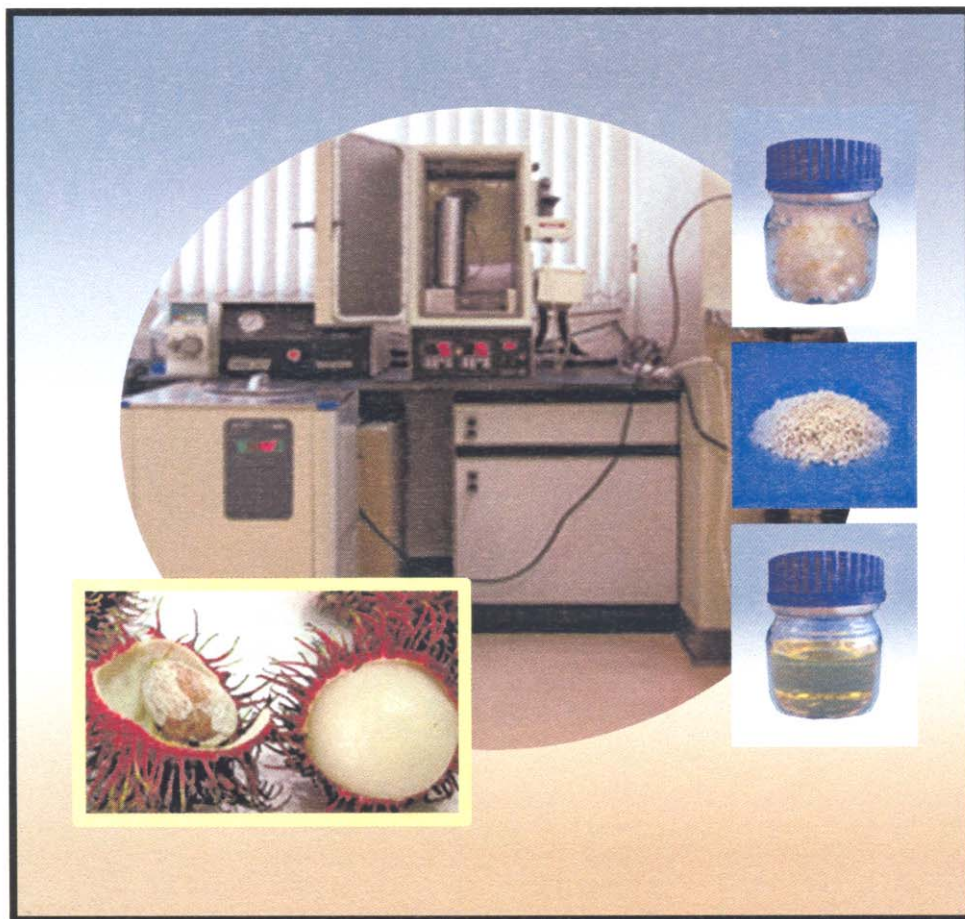




โครงการวิจัยที่ ภ.56-02/ย.1/รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)

การสกัดสารสำคัญจากกากเมล็ดผลไม้ โดยใช้เทคนิค supercritical carbon dioxide extraction (SCE)



สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการวิจัยที่ ภ.56-02

การวิจัยและพัฒนาเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร
แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและผลิตภัณฑ์เพื่อความงาม

โครงการย่อยที่ 1

การสกัดสารสำคัญจากกากเมล็ดผลไม้โดยใช้เทคนิค
supercritical carbon dioxide extraction (SCE)

รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)

การสกัดสารสำคัญจากกากเมล็ดผลไม้โดยใช้เทคนิค
supercritical carbon dioxide extraction (SCE)

โดย

จิระวัฒน์ เอี่ยมวัฒน์

ปารมี เพ็งปรีชา เบญจพร เทียนสงค์

เดือนตา เสมาทอง โศรดา วัลภา

พัชรนันท์ นาถพิณีจ สุกิจ ขำเป็ร็องเดช

บรรณาธิการ

ศิระ ศิลานนท์

บุญเรียม น้อยชุมแพ

ศิริสุข ศรีสุข

วว., พฤษภาคม 2559

สงวนลิขสิทธิ์

รายงานฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้พิมพ์โดย
ผู้ว่าการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย



(นางลักษมี ปลั่งแสงมาศ)

ผู้ว่าการ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณการสนับสนุนของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ภายใต้งบประมาณจากกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (วท.) ระหว่างปี 2556-2558.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูป	ง
ABSTRACT	1
บทคัดย่อ	2
1. บทนำ	3
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	5
3. ผลการวิจัยและวิจารณ์	10
4. สรุปผลการวิจัย	25
5. แนวทางการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	27
6. ข้อเสนอแนะ	28
7. เอกสารอ้างอิง	29
ภาคผนวก	32

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.	เปรียบเทียบองค์ประกอบโดยประมาณ (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ของเมล็ดงา ก่อนและหลังสกัดไขมัน	12
ตารางที่ 2.	ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดงา	13
ตารางที่ 3.	การวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำมันเมล็ดงา	14
ตารางที่ 4.	องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดงา	15
ตารางที่ 5.	เปรียบเทียบองค์ประกอบกรดไขมันเมล็ดงาจากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต (35 เมกะพาสคัล, 45 องศาเซลเซียส) กับการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน	16
ตารางที่ 6.	ปริมาณสารไฟโตสเตอรอลในน้ำมันเมล็ดงา	17
ตารางที่ 7.	ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบส (0.075 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์) ต่อองค์ประกอบของแป้งเมล็ดงา (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	18
ตารางที่ 8.	ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบส (0.075 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์) ต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งเมล็ดงา	19
ตารางที่ 9.	ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบส (0.075 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์) ต่อความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่เกิดเจลของแป้งเมล็ดงา	21
ตารางที่ 10.	ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบส (0.075 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์) ต่อพารามิเตอร์ความหนืดของแป้งเมล็ดงา	21
ตารางที่ 11.	ค่าเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นน้ำหนักตัวหนูในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองที่ได้รับน้ำมันเมล็ดงา	23
ตารางที่ 12.	ค่าเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นน้ำหนักตัวหนูในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองที่ได้รับไขมันเมล็ดงา	23
ตารางที่ 13.	ค่าเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นน้ำหนักตัวหนูในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองที่ได้รับแป้งเมล็ดงา	24

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1. เมล็ดงา	10
รูปที่ 2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง) ของเมล็ดงาในระหว่างการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต (35 เมกะพาสคัล และ 45 องศาเซลเซียส)	11
รูปที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/M - 1/M_0$ กับเวลา	11
รูปที่ 4. แป้งเมล็ดงา	12
รูปที่ 5. น้ำมันเมล็ดงา	13
รูปที่ 6. ไขมันเมล็ดงา	16
รูปที่ 7. ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายต่าง (0.075 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์) ต่อความหนืดปรากฏของแป้งเมล็ดงา	20
รูปที่ 8. ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบส (0.075 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์) ต่อความหนืดของแป้งเมล็ดงา	22

EXTRACTION OF FRUIT SEED WASRE USING SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE

Jirawat Eiamwat, Paramee Pengpreecha, Benjapron Thiensong,
Tuanta Sematong, Sorada Wanlapa, Patthanant Natpinit
and Sukit Kamprungdet

ABSTRACT

A preliminary study was conducted on the use of supercritical carbon dioxide extraction technology with rambutan (*Nephelium lappaceum*) seeds to obtain oil, fat and defatted flour. Their physicochemical properties showed that oil, fat and defatted flour obtained from rambutan seeds were of low quality. An evaluation by acute oral toxicity showed that the oral LD₅₀ of oil, fat and defatted flour were found to be greater than 5, 5 and 15 g/kg body weight, respectively, suggesting their possible uses. For instance, the fat extract could be a potential substitute to some ingredients in lipsticks or bar soaps. The oil extract was not used in developing any product due to its insufficient amount. Furthermore, defatted flour from rambutan seeds with alkali treatment (0.075 NaOH) showed significant changes in physicochemical parameters when compared with the untreated flour. Thus, defatted rambutan flour offers the opportunity to be developed into starch, which requires further investigation.

การสกัดสารสำคัญจากกากเมล็ดผลไม้ โดยใช้เทคนิค supercritical carbon dioxide extraction (SCE)

จิระวัฒน์ เอี่ยมวัฒน์¹, ปารมี เฟิงปรีชา², เบญจพร เทียนสงค์², เตือนตา เสมาทอง³
ศโรตา วัลภา¹, พัทธนันท์ นาถพิณีจ⁴ และสุกิจ ขำเป็รื่องเดช¹

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นของการนำเทคโนโลยีการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสถานะวิกฤตมาประยุกต์ใช้กับเมล็ดเงาะ โดยมีผลผลิตเป็นน้ำมัน, ไขมัน และแป้ง. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพที่ได้ พบว่า น้ำมัน, ไขมัน และแป้งจากเมล็ดเงาะ ยังมีคุณภาพไม่ดี. การประเมินความปลอดภัย (ความเป็นพิษเฉียบพลันโดยการกินในสัตว์ทดลอง) พบว่า ค่าพิษเฉียบพลันโดยการกิน (LD₅₀) ของน้ำมัน มากกว่า 5 กรัม/กิโลกรัม, ไขมัน มากกว่า 5 กรัม/กิโลกรัม และแป้ง มากกว่า 15 กรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำมัน, ไขมัน และแป้งจากเมล็ดเงาะมาใช้ประโยชน์ อาทิ ไขมันเมล็ดเงาะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในเป็นลิปแท่ง หรือรูปแบบอื่นๆ เช่น สบู่ เป็นต้น. สำหรับน้ำมันเมล็ดเงาะยังไม่มี การทดลองพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากข้อจำกัดในด้านปริมาณที่ต้องใช้. นอกจากนี้ แป้งเมล็ดเงาะได้นำมาศึกษาเพิ่มเติม โดยการปรับสภาพแป้งเมล็ดเงาะด้วยสารละลายต่าง (0.075 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์) พบว่า พารามิเตอร์เคมีกายภาพมีความแตกต่างในทางที่ดีขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับแป้งเมล็ดเงาะที่ไม่ได้ปรับสภาพ. จึงมีแนวโน้มที่ดีในการวิจัยต่อยอด เพื่อพัฒนาเป็นสตร้าชจากแป้งเมล็ดเงาะต่อไป.

¹ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

²ศูนย์ทดสอบและมาตรฐานวิทยา, วว.

³ฝ่ายเภสัชและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ, วว.

⁴ฝ่ายสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร, วว.

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตอาหารและส่งออกสินค้าเกษตรที่สำคัญของโลก โดยเฉพาะผลไม้ และผลิตภัณฑ์ผลไม้แปรรูป คิดเป็นมูลค่ากว่า 96,000 ล้านบาท และคาดว่าจะมีแนวโน้มการส่งออกได้มากขึ้น (สถาบันอาหาร 2557). จากการบริโภคและอุตสาหกรรมการแปรรูปผลไม้ ทำให้เกิดของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต เช่น เปลือก, เมล็ด เป็นจำนวนมาก โดยการประมาณปริมาณเมล็ดผลไม้จากการแปรรูปผลไม้กระป๋องในระดับอุตสาหกรรม เช่น เมล็ดเงาะ 170 ตันต่อปี (ตีรณานนท์ 2551) ซึ่งเป็นเศษเหลือทิ้งที่ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์, ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการกำจัด, หรือถูกทิ้งไว้ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา.

เมล็ดเงาะมีปริมาณไขมัน 14-41% โดยไขมันเมล็ดเงาะมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพบางส่วนที่คล้ายคลึงกับเนยโกโก้ สามารถใช้ทดแทนเนยโกโก้สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมหวาน, และซ็อกโกแลต (Sirisompong, Jirapakul and Klinkesorn 2011; ชัยขจรวัฒน์ 2555). นอกจากนี้เป็นวัตถุดิบไขมันพืชที่มีศักยภาพแล้ว เมล็ดเงาะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 28-46 เปอร์เซ็นต์ (Solis-Fuentes *et al.* 2010; Yanty *et al.* 2013) ที่สามารถพิจารณานำมาผลิตเป็นแป้งเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร. ทั้งนี้ การใช้ไขมันและแป้งจากเมล็ดเงาะเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จะทำให้ได้อรรถความรู้ใหม่ ยังเป็นการใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งอย่างมีประสิทธิภาพ.

การศึกษาการผลิตไขมันจากเมล็ดเงาะโดยทั่วไปใช้ตัวทำละลายเฮกเซน (Sirisompong, Jirapakul and Klinkesorn 2011; Solis-Fuentes *et al.* 2010; Yanty *et al.* 2013) เนื่องจากให้ปริมาณผลผลิตไขมันสูง แต่ข้อควรระวังของการสกัดไขมันด้วยเฮกเซน คือ ความปลอดภัย เนื่องจากเป็นสารระเหยไวไฟ และความเป็นอันตรายต่อสุขภาพที่เกิดจากสารระเหยตกค้าง. ด้วยข้อจำกัดของวิธีดังกล่าว การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสถานะวิกฤต จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความสะดวกเพิ่มขึ้น เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เป็นพิษ, ไม่ติดไฟ และเป็นตัวทำละลายที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Chemat, Vian and Cravotto 2013; Reverchon and Macro 2006). วิธีการสกัดนี้ช่วยลดขั้นตอนการกำจัดตัวทำละลาย ทำให้มีการปนเปื้อนน้อยกว่าการสกัดแบบเดิมด้วยตัวทำละลาย เพราะคาร์บอนไดออกไซด์จะกลายเป็นก๊าซที่สภาวะบรรยากาศภายหลังการสกัด. แต่วิธีนี้ยังมีต้นทุนในการสกัดสูง เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้มีราคาแพง จึงยังไม่เป็นที่นิยมในประเทศไทย.

งานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่ส่วนใหญ่จะเน้นการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤตในการสกัดสารมีประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ เช่น น้ำมัน และน้ำมันหอมระเหย เป็นต้น. อย่างไรก็ตาม การนำคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤตมาประยุกต์ใช้กับเมล็ดงาวยังมีน้อยมาก. ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการนำเทคโนโลยีการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต มาศึกษาการแปรรูปเมล็ดงาวย ซึ่งมีมูลค่าทางเศรษฐกิจต่ำหรือไม่มีมูลค่า โดยผลจากการศึกษานี้จะให้ ข้อมูลเบื้องต้นของน้ำมัน, ไขมัน และแป้งจากเมล็ดงาวย เพื่อการใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต.

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำเมล็ดงาที่ผ่านการล้างทำความสะอาด ลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90–95 องศาเซลเซียส แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50–55 องศาเซลเซียส นาน 24–48 ชั่วโมง จากนั้น บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาดระหว่าง 10 และ 100 เมช บรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิทและเก็บในตู้ดูดความชื้นก่อนนำมาสกัด.

2.2 การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต

ในแต่ละครั้งของการทดลอง นำตัวอย่างเมล็ดงาอบร้อน (ขนาดคละประมาณ 0.15–2.0 มิลลิเมตร) จำนวน 25 กรัม บรรจุลงในคอลัมน์สกัดขนาด 50 มิลลิเมตร แล้วประกอบเข้าเครื่องสกัด Speed SFE (Applied Separations Inc., Allenton, PA, USA) โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลวความบริสุทธิ์สูง (>99.5 เปอร์เซ็นต์) ความคุมอัตราการไหลประมาณ 2 ลิตรต่อนาที กำหนดความดันที่ 35 เมกะพาสคัล และอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ไขมันและน้ำมันที่สกัดได้จะถูกเก็บรวมในหลอดแก้วปิดฝาสนิท ขนาด 25 มิลลิเมตร.

2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ

การหาปริมาณความชื้น, โปรตีน, ไขมัน และเถ้า ของตัวอย่างเมล็ดงาก่อนและหลังสกัดไขมัน ตามวิธี AOAC (2000) โดยปริมาณความชื้นจากการอบที่ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปริมาณไขมันจากการสกัดด้วยวิธี Soxhlet โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย ปริมาณเถ้าจากการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตคำนวณจากผลต่างปริมาณอะไมโลสในแป้งเมล็ดงาหลังการสกัดไขมันตามมาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 4000-2546 ข้าวหอมมะลิไทย.

2.4 การตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันเมล็ดงา

2.4.1 สี, ดัชนีหักเห และความหนาแน่นสัมพัทธ์

นำตัวอย่างน้ำมันเมล็ดงามาวัดสีโดยใช้เครื่อง Hunter Lab Model (MiniScan EZ, USA), ดัชนีหักเหโดยใช้เครื่อง refractometer (Atago 3T, Japan) ความหนาแน่นสัมพัทธ์โดยใช้ Gay-Lussac pycnometer ที่อุณหภูมิ 26±1 องศาเซลเซียส.

2.4.2 ค่าความเป็นกรด, ค่าไอโอดีน, ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่าสปอนนิฟิเคชัน

นำตัวอย่างน้ำมันเมล็ดเงาะมาวัดค่าความเป็นกรด ตามวิธี AOCS (2003) Cd 3d-63, ค่าไอโอดีน ตามวิธี AOCS (2003) Cd 1d-92, ค่าเพอร์ออกไซด์ ตามวิธี AOCS (2003) Cd 8-53 และค่าสปอนนิฟิเคชัน ตามวิธี AOCS (2003) Cd 3-25.

2.5 การตรวจสอบองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเงาะ

2.5.1 กรดไขมัน

นำตัวอย่างน้ำมันเมล็ดเงาะเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามวิธี AOAC (2000) โดยชั่งตัวอย่างน้ำมัน 0.2 กรัม ละลายในสารละลายเมทานอลิกโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร รีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วเติมสารละลายโบรอนไตรฟลูออไรด์ในเฮปแทนความเข้มข้น 12 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร 12 มิลลิลิตร เมื่อของผสมเย็นตัวลงเติมโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ดูดชั้นเฮกเซนส่วนบนเก็บในขวดตัวอย่างและนำไปฉีดเข้าเครื่อง Shimadzu GCMS-QP2010 Ultra ชนิดคอลัมน์ Cp-Sil 88 (ยาว 100 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร หนา 0.25 ไมโครเมตร) และใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นตัวพา อุณหภูมิเริ่มต้น 100 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 3 องศาเซลเซียส/นาที จนถึง 240 องศาเซลเซียส ภาวะเครื่อง 70 อิเล็กตรอนโวลต์ ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส ในช่วง 30–320 หน่วยมวลอะตอม แปรผลเทียบกับฐานข้อมูลของ National Institute of Standard and Technology.

2.5.2 ไฟโตสเตอรอล

นำตัวอย่างน้ำมันเมล็ดเงาะวิเคราะห์สารไฟโตสเตอรอล ตามวิธี AOCS (2003) Ca 6b-53 โดยใช้เครื่อง Gas Chromatograph (Agilent 7890; Agilent Technologies Inc., USA) ประกอบด้วยเครื่อง Mass-Spectrometer (Agilent 7000 Triple Quad MS; Agilent Technologies Inc., USA) พร้อมกับคอลัมน์ HP-5 (ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร หนา 0.25 ไมโครเมตร) ใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นตัวพาที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิเริ่มต้น 115 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 9 องศาเซลเซียส/นาที จนถึง 260 องศาเซลเซียส คงไว้ นาน 3 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 6 องศาเซลเซียส/นาที เมื่อถึง 290 องศาเซลเซียส คงไว้ นาน 6 นาที ปริมาณสารไฟโตสเตอรอล แสดงผลเป็น มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำมัน.

2.6 การตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเมล็ดเงาะ

2.6.1 สีและความขุ่น

นำตัวอย่างแป้งเมล็ดเงาะ วัดสีโดยใช้เครื่อง Chroma meter (CR-400, Konica Minolta, Japan), วัดค่าความขุ่น ตามวิธีของ Perera และ Hoover (1999) โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก/ปริมาตร ปรับ pH 7.0 แล้ววัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง Jenway UV-visible spectrophotometer (Model 6405, Jenway Limited, Essex, UK).

2.6.2 ความหนาแน่น, การดูดซับน้ำ และการดูดซับน้ำมัน

นำแป้งเมล็ดเงาะ หาค่าความหนาแน่นตามวิธีของ Okaka and Potter (1977) โดยชั่งตัวอย่าง 1 กรัม, ใส่กระบอกตวง 10 มิลลิลิตร ค่อยๆ เคาะจนผิวหน้าได้ระดับ แสดงผลเป็นกรัม/มิลลิลิตร. ค่าการดูดซับน้ำและค่าการดูดซับน้ำมัน ตามวิธีของ Jitngamkusol, Hongsuwankul and Tananuwong (2008) โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก/ปริมาตรในน้ำกลั่นหรือน้ำมัน เหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบ/นาที นาน 30 นาที แล้วแยกของเหลวใสส่วนบนทิ้ง แสดงผลเป็นกรัม น้ำหรือน้ำมันที่ถูกดูดซับต่อกรัมตัวอย่าง (น้ำหนักแห้ง) ในการศึกษาใช้น้ำมันเมล็ดองุ่น แทนน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง.

2.6.3 การละลาย, การพองตัว และสมบัติอิมัลชัน

นำแป้งเมล็ดเงาะ หาค่าการละลายและการพองตัวตามวิธีของ Schoch and Maywald (1968) โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก/ปริมาตรในน้ำกลั่น ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที. จากนั้น เหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบ/นาที นาน 30 นาที ถ่ายของเหลวใสลงในถ้วยอะลูมิเนียม และอบที่อุณหภูมิ 105 ± 1 องศาเซลเซียส ซ้ำมคืนจนน้ำหนักคงที่. สำหรับค่าการละลาย แสดงผลเป็นกรัมของเหลวใสที่อบแห้งต่อกรัม น้ำหนักแห้งตัวอย่าง และค่าการพองตัวแสดงผลเป็น น้ำหนักของตะกอนเปียกต่อกรัม น้ำหนักแห้งตัวอย่าง.

วิเคราะห์สมบัติอิมัลชัน ตามวิธีของ Yasumatsu *et al.* (1972) โดยชั่งแป้งเมล็ดเงาะ 1 กรัม ในน้ำกลั่น 6 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำมันเมล็ดองุ่น 6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันในเครื่องผสมสาร แล้วเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบ/นาที นาน 30 นาที วัดปริมาตรของชั้นที่แยกเทียบกับปริมาตรของผสมทั้งหมดแล้วคูณด้วย 100 (มิลลิลิตร/100 มิลลิลิตร) เป็นค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชัน.

เตรียมตัวอย่างในสัดส่วนข้างต้น นำไปโฮโมจิไนซ์ที่ 3,400 รอบ/นาที นาน 2 นาที แล้วให้ความร้อนที่ 85 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้น เหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบ/นาที นาน 30 นาที ปริมาตรของชั้นที่แยกเทียบกับปริมาตรของผสมทั้งหมดที่ให้ความร้อนคูณด้วย 100 (มิลลิลิตร/100 มิลลิลิตร) เป็นค่าความคงตัวในการเกิดอิมัลชัน.

2.6.4 ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่เกิดเจล

นำแป้งเมล็ดงา มาเตรียมที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 และ 16 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก/ปริมาตรในน้ำกลั่น แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง, จากนั้นลดอุณหภูมิลงไปที่ 10 องศาเซลเซียส. การเกิดเจลแสดงผลเป็น (-) ไม่เกิดเจล, (+) เกิดเจล ทั้งหมด หรือ (±) เกิดเจลบางส่วน ที่ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่เกิดเจลได้ทั้งหมด.

2.6.5 ความหนืดปรากฏ

นำแป้งเมล็ดงา มาเตรียมที่ความเข้มข้น 5, 10, 15, 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก/ปริมาตรในน้ำกลั่น แล้วนำไปวัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield DV-III Ultra viscometer (Brookfield Engineering Laboratories, Inc., MA, USA) โดยใช้เข็มชนิด T-bar ที่ความเร็ว 100 รอบ/นาที.

2.6.6 สมบัติความหนืด

นำแป้งเมล็ดงา วัดสมบัติความหนืดตามวิธี AACC 61-02 (2000) ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA-TecMaster, Newport Scientific, Australia) ใช้ใบกวนหมุนที่ความเร็ว 160 รอบ/นาที โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 16 กรัม/100 มิลลิลิตรในน้ำกลั่น ปรับอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที แล้วให้ความร้อนเพิ่มอุณหภูมิจาก 50 เป็น 95 องศาเซลเซียส ในเวลา 5 นาที คงไว้ที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 2.5 นาที จากนั้น ลดอุณหภูมิลงไปที่ 50 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 นาที และคงไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที แสดงผลเป็นอุณหภูมิ แป้งสูง ความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้ายหลังลดอุณหภูมิ ผลต่างของค่าความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดต่ำสุด และผลต่างค่าความหนืดสุดท้ายกับค่าความหนืดสูงสุด.

2.6.7 ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบส

นำแป้งเมล็ดงา ผสมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก/ปริมาตร (0.075 โมลาร์) กวนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบ/นาที นาน 30 นาที เพื่อแยกทิ้งของเหลว แป้งส่วนที่เปียกกวนในน้ำกลั่นและเหวี่ยงอีกครั้ง ทำเช่นนี้ 5 ครั้ง โดยให้ pH อยู่ระหว่าง 8.0-9.0, จากนั้น นำตะกอนเปียกคงเหลืออบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซ้ำมคีน, บดละเอียด, ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช แล้วเก็บในถุงพลาสติกปิดสนิท. ทำการวิเคราะห์โดยวิธีการเดียวกันในข้อ 2.6.1 ข้อ 2.6.6.

2.7 การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันโดยการกินของน้ำมันเมล็ดเงาะ, ไขมันเมล็ดเงาะ และแป้งเมล็ดเงาะ

นำตัวอย่างน้ำมันเมล็ดเงาะ, ไขมันเมล็ดเงาะ และแป้งเมล็ดเงาะ มาทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันโดยการกิน ตามวิธีทดสอบหมายเลข 420 ของ OECD Guidelines for Testing of Chemicals (2001). ก่อนการทดสอบนำหนูมาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีอุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 1 สัปดาห์ เพื่อให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ. จัดกลุ่มหนูโดยวิธีการสุ่มแบบง่าย เป็นกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง, งดให้อาหาร 16 ชั่วโมง ข้ามคืนก่อนการทดสอบ แต่ให้ดื่มน้ำปกติ.

หนูในกลุ่มทดลองได้รับการป้อนตัวอย่างน้ำมันเมล็ดเงาะ, ไขมันเมล็ดเงาะ และแป้งเมล็ดเงาะ ขนาด 5,000, 5,000 และ 15,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว ตามลำดับ. ส่วนหนูในกลุ่มควบคุมได้รับการกรอกน้ำกลั่นในปริมาณเทียบเท่ากับหนูกลุ่มทดลอง. สังเกตและบันทึกอาการผิดปกติของหนูหลังการป้อนตัวอย่างทดสอบ อย่างน้อยวันละครั้งทุกวันเป็นเวลา 14 วัน. ชั่งน้ำหนักหนูแต่ละตัวในวันที่ 1, 8 และ 15 เมื่อสิ้นสุดการทดลองจะถูกทำให้เสียชีวิต และตรวจสอบดูความผิดปกติของอวัยวะภายใน. เปรียบเทียบน้ำหนักตัวหนูระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม เพื่อดูผลของตัวอย่างทดสอบต่ออัตราการเจริญเติบโตของหนู.

2.8 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ใช้โปรแกรม SPSS (version 13.0) เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลกับค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์.

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ลักษณะเมล็ดเงาะสด หลังการอบแห้ง และบดร่อน (ขนาดคละประมาณ 0.15–2.0 มิลลิเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 1.



รูปที่ 1. เมล็ดเงาะ แสดงเมล็ดสด (ซ้าย) หลังการอบแห้ง (กลาง) และบดร่อน (ขวา).

3.2 การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณไขมันของเมล็ดเงาะมีแนวโน้มลดลงตามเวลาที่ใช้ในการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต ที่ความดัน 35 เมกะพาสคัล และอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันของเมล็ดเงาะในระหว่างการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต สามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ดังแสดงในสมการที่ (1).

$$\frac{1}{M} = \frac{1}{M_0} + kt \quad (1)$$

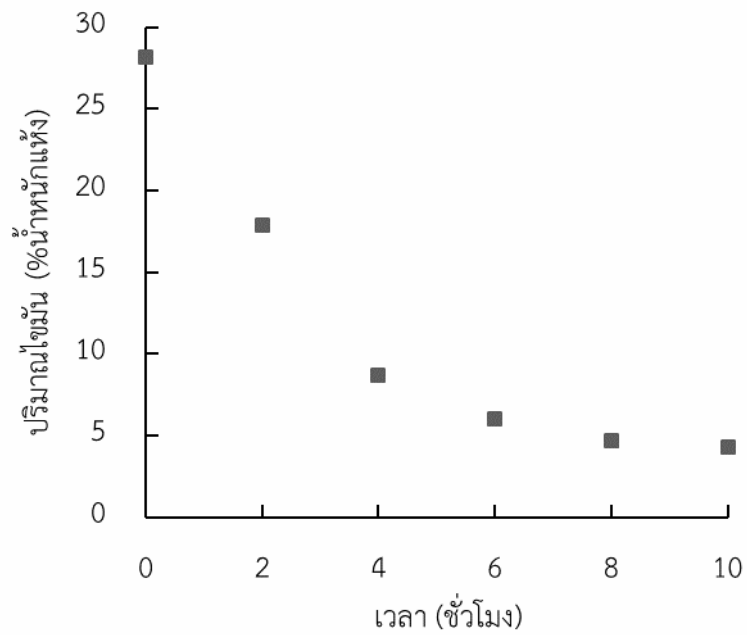
โดยที่ M = ปริมาณไขมันของตัวอย่างเมล็ดเงาะหลังสกัดที่เวลาใดๆ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)

M_0 = ปริมาณไขมันของตัวอย่างเมล็ดเงาะก่อนนำไปสกัด (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)

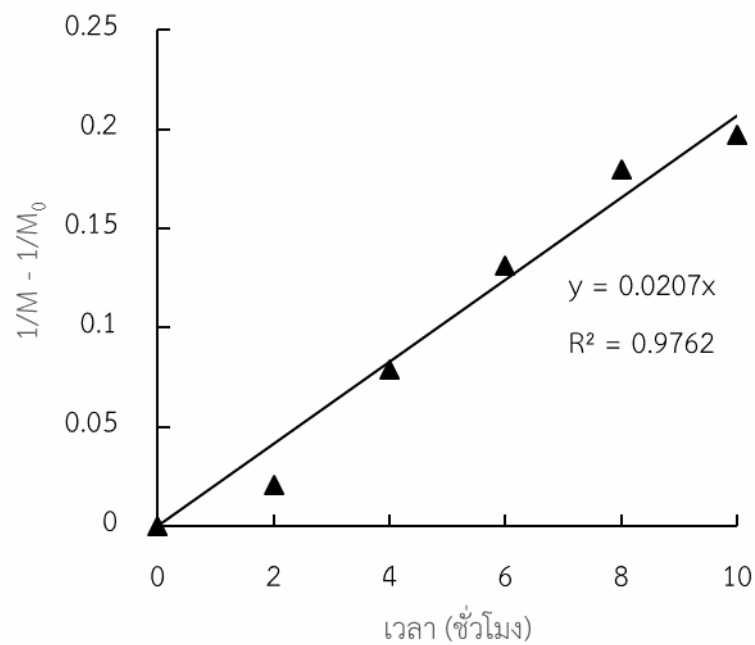
k = อัตราการลดลงของปริมาณไขมันของเมล็ดเงาะ (ชั่วโมง⁻¹)

t = เวลาในการสกัด (ชั่วโมง)

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาสัมประสิทธิ์ k จากสมการ (1) ความสัมพันธ์ที่ได้มีลักษณะเส้นตรง ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.976$ โดยมีค่า $k = 0.0207$ ชั่วโมง⁻¹ ดังแสดงในรูปที่ 3.



รูปที่ 2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง) ของเมล็ดเงาะในระหว่างการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต (35 เมกะพาสคัล และ 45 องศาเซลเซียส).



รูปที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/M - 1/M_0$ กับเวลา.

3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของตัวอย่างเมล็ดงาอ่อนสกัดไขมัน และหลังการสกัดไขมันด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต ที่ความดัน 35 เมกะพาสคัล และอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 10 ชั่วโมง พบว่า การสกัดไขมันส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์โบไฮเดรต, โปรตีน และเถ้า ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยเมล็ดงาที่สกัดไขมันมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 83.37 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 5.00 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่มีปริมาณโปรตีน 9.58 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในช่วงโปรตีนของแป้งสาลี คือ 9–12 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง. แป้งเมล็ดงาที่ได้มีปริมาณอะไมโลส 32.16 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างในทางมากกว่าแป้งสาลีเอนกประสงค์ ซึ่งมีปริมาณอะไมโลส 17.47 เปอร์เซ็นต์ (Ng *et al.* 2014).

ตารางที่ 1. เปรียบเทียบองค์ประกอบโดยประมาณ (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ของเมล็ดงา ก่อนและหลังสกัดไขมัน

	ก่อนสกัดไขมัน	หลังสกัดไขมัน
ไขมัน	28.18 ^b ± 0.82	5.00 ^a ± 0.16
โปรตีน	7.90 ^a ± 0.09	9.58 ^b ± 0.35
เถ้า	1.49 ^a ± 0.05	2.07 ^b ± 0.04
คาร์โบไฮเดรต	62.43 ^a ± 0.70	83.37 ^b ± 0.28
อะไมโลส	ไม่ได้วิเคราะห์	32.16 ± 0.43

หมายเหตุ: a, b หมายถึง ค่าเฉลี่ยภายในแถวที่มีตัวอักษรกำกับไม่เหมือนกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

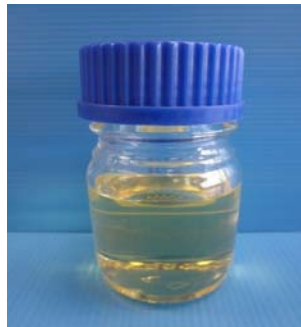
ลักษณะเมล็ดงาที่ผ่านการสกัดไขมัน (แป้งเมล็ดงา) ดังแสดงในรูปที่ 4.



รูปที่ 4. แป้งเมล็ดงา.

3.4 การตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันเมล็ดงา

น้ำมันเมล็ดงาเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (26 ± 1 องศาเซลเซียส) ดังแสดงในรูปที่ 5. ปริมาณที่สกัดได้ 5.3–8.1 กรัม/100 กรัม (น้ำหนักแห้ง).



รูปที่ 5. น้ำมันเมล็ดเงาะ.

3.4.1 สี, ดัชนีหักเห และความหนาแน่นสัมพัทธ์

จากตารางที่ 2 พบว่า น้ำมันสกัดจากเมล็ดเงาะมีค่า L^* 79.23, ค่า a^* -3.50 และค่า b^* 35.56 ตามลำดับ นั่นคือ ค่อนข้างสว่างและมีสีเหลืองมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีของน้ำมันพืชหลายชนิดที่มีค่า L^* อยู่ในช่วง 63.4–69.5, ค่า a^* อยู่ในช่วง 3.8–4.4 และ ค่า b^* อยู่ในช่วง 9.2–10.4 ตามลำดับ (Hsu and Yu 2002).

จากข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 2 น้ำมันเมล็ดเงาะมีค่าดัชนีหักเห (1.467) ต่ำกว่าเล็กน้อย แต่มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (0.956) สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชหลายชนิด รวมถึงน้ำมันคาโนลา, น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันดอกทานตะวัน โดยมีค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.470–1.476 และค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 0.914–0.925 ตามลำดับ (O'Brien 2004).

ตารางที่ 2. ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดเงาะ

การวิเคราะห์	น้ำมันเมล็ดเงาะ
สี L^*	79.23 ± 3.15
a^*	-3.50 ± 0.20
b^*	35.56 ± 1.21
ดัชนีหักเห	1.467 ± 0.001
ความหนาแน่นสัมพัทธ์	0.956 ± 0.001

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จำนวน 3 ซ้ำ

3.4.2 ค่าความเป็นกรด, ค่าไอโอดีน, ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่าสปอนนิฟิเคชัน

ตารางที่ 3 แสดงค่าความเป็นกรด และค่าเพอร์ออกไซด์ ซึ่งบ่งชี้คุณภาพของน้ำมัน พบว่า น้ำมันเมล็ดเงาะมีค่าความเป็นกรด 19.11 มิลลิกรัม KOH/กรัม และค่าเพอร์ออกไซด์ 16.57 มิลลิสมมูล/กิโลกรัม โดยค่าทั้งสองดังกล่าวสูงเกินค่ามาตรฐานน้ำมันพืชบริโภค 4.0 มิลลิกรัม/กรัม และ 10 มิลลิสมมูล/กิโลกรัม อาจเนื่องจากการสกัดแยกน้ำมันและไขมันจากเมล็ดเงาะใช้เวลานานหลายวัน เป็นผลให้น้ำมันจากเมล็ดเงาะในสภาพเก็บรักษาทั่วไปสัมผัสกับออกซิเจนได้มาก นำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้น้ำมันเมล็ดเงาะมีกลิ่นหืน. จากข้อมูลค่าความเป็นกรดและค่าเพอร์ออกไซด์ น้ำมันจากเมล็ดเงาะที่สกัดได้คุณภาพยังไม่ดี.

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3 ค่าไอโอดีน ซึ่งใช้วัดความไม่อิ่มตัวของน้ำมัน พบว่า น้ำมันจากเมล็ดเงาะมีค่าไอโอดีน 41.19 กรัม I_2 /100 กรัม สอดคล้องกับค่าไอโอดีนของไขมันเมล็ดเงาะ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 41.6–50.3 กรัม/100 กรัม (Sirisompong, Jirapakkul and Klinkesorn 2011; Solís-Fuentes *et al.* 2010; Yanty *et al.* 2013). แต่ค่าไอโอดีนของน้ำมันเมล็ดเงาะต่ำกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชหลายชนิด โดยมีค่าไอโอดีนอยู่ในช่วง 105–141 กรัม/100 กรัม (O'Brien 2004). ทั้งนี้ น้ำมันจากเมล็ดเงาะมีลักษณะเป็นน้ำมันไม่ระเหย เนื่องจากมีค่าไอโอดีนน้อยกว่า 100 กรัม/100 กรัม (Sirisompong *et al.* 2011).

ตารางที่ 3. การวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำมันเมล็ดเงาะ

พารามิเตอร์	ค่าที่วิเคราะห์ได้
ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัม KOH/กรัม)	19.11 ± 0.29
ค่าไอโอดีน (กรัม I_2 /100 กรัม)	41.19 ± 1.10
ค่าเพอร์ออกไซด์ (มิลลิสมมูล/กิโลกรัม)	16.57 ± 2.44
ค่าสปอนนิฟิเคชัน (มิลลิกรัม KOH/กรัม)	212.93 ± 5.45

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จำนวน 3 ซ้ำ

ค่าสปอนนิฟิเคชัน ดังแสดงในตารางที่ 3 ข้างต้น เป็นการบ่งบอกถึงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน พบว่า น้ำมันจากเมล็ดเงาะมีค่าสปอนนิฟิเคชัน 212.93 มิลลิกรัม KOH/กรัม น้ำมันสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชหลายชนิด โดยมีค่าสปอนนิฟิเคชันอยู่ในช่วง 182–195 มิลลิกรัม/กรัม (O'Brien 2004). นอกจากนี้ น้ำมันเมล็ดเงาะมีค่าสปอนนิฟิเคชันสูงกว่าไขมันเมล็ดเงาะ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 166–186 มิลลิกรัม/กรัม (Sirisompong, Jirapakkul and Klinkesorn 2011). จากผลค่าสปอนนิฟิเคชันดังกล่าวบ่งบอกว่าน้ำมันเมล็ดเงาะประกอบด้วยกรดไขมันขนาดกลาง ตามที่อธิบายในหัวข้อ 3.6.1.

3.5 การตรวจสอบองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดเงาะ

3.5.1 กรดไขมัน

องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดเงาะได้ ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า มีกรดไขมันอิ่มตัว ในปริมาณ 45.33 เปอร์เซ็นต์, กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว 51.52 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน 3.04 เปอร์เซ็นต์ โดยกรดโอเลอิกเป็นกรดไขมันหลัก ในปริมาณ 50.17 เปอร์เซ็นต์. นอกจากนี้ น้ำมันเมล็ดเงาะประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอื่นในปริมาณที่สูง ได้แก่ กรดแอร่าซิดิก, กรดสเตียริก และกรดปาล์มมิติก ในปริมาณ 16.22 เปอร์เซ็นต์, 12.21 เปอร์เซ็นต์ และ 10.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ.

ตารางที่ 4. องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดเงาะ

กรดไขมัน	ปริมาณ (กรัม/100 กรัม)
กรดไขมันอิ่มตัว	
กรดไมริสติก	0.04 ± 0.01
กรดปาล์มมิติก	10.33 ± 0.15
กรดสเตียริก	12.21 ± 0.14
กรดแอร่าซิดิก	16.22 ± 0.06
กรดเบเฮนนิค	6.53 ± 0.05
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว	
กรดปาล์มมิตอเลอิก	1.35 ± 0.05
กรดโอเลอิก	50.17 ± 0.38
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน	
กรดไลโนเลนิก	3.04 ± 0.05

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จำนวน 3 ซ้ำ.

สำหรับไขมันเมล็ดเงาะซึ่งเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง (26 ± 1 องศาเซลเซียส) ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยปริมาณที่สกัดได้ 16.0–23.0 กรัม/100 กรัม. จากตารางที่ 5 พบว่า ไขมันจากเมล็ดเงาะประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว, กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน ในปริมาณ 45.23 เปอร์เซ็นต์, 52.67 เปอร์เซ็นต์ และ 2.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ. ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของไขมันและน้ำมันจากเมล็ดเงาะ ได้แก่ กรดปาล์มมิติก, กรดสเตียริก, กรดแอร่าซิดิก, กรดเบเฮนนิค และกรดโอเลอิก ดังแสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 พบว่า มีความแตกต่างกันของปริมาณอยู่ในช่วง 2–5% เปอร์เซ็นต์.



รูปที่ 6. ไขมันเมล็ดเงาะ.

ตารางที่ 5. เปรียบเทียบองค์ประกอบกรดไขมันของไขมันเมล็ดเงาะจากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต (35 เมกะพาสคัล, 45 องศาเซลเซียส; วิธีที่ 1) กับการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน (วิธีที่ 2) (Sirisompong, Jirapakkul and Klinkesorn 2011)

กรดไขมัน	ปริมาณ (กรัม/100 กรัม)	
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2
กรดไขมันอิ่มตัว		
กรดไมริสติก	0.01 ± 0.01	0.02 ± 0.00
กรดปาล์มติก	7.39 ± 0.20	4.69 ± 0.15
กรดสเตียริก	16.58 ± 0.20	7.03 ± 0.08
กรดแอร่าซิดิก	12.34 ± 0.03	34.32 ± 0.01
กรดเบเฮนนิค	8.91 ± 0.03	3.10 ± 0.04
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว		
กรดปาล์มโทเลอิก	0.49 ± 0.03	0.49 ± 0.04
กรดโอเลอิก	52.18 ± 0.44	36.79 ± 0.16
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน		
กรดไลโนเลนิก	2.02 ± 0.01	6.48 ± 0.03

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จำนวน 3 ซ้ำ.

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันเมล็ดที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤตในการศึกษาครั้งนี้ เปรียบเทียบการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน (Sirisompong, Jirapakkul and Klinkesorn 2011) ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า ปริมาณกรดปาล์มมิติก, กรดสเตียริก, กรดเบเฮนนิค และกรดโอเลอิก มีความแตกต่างในทางที่สูงกว่า แต่ปริมาณกรดแอร่าซิดิกและกรดไลโนเลนิก มีความแตกต่างในทางที่น้อยกว่า อาจเนื่องมาจากวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีสมบัติต่างกัน ทำให้ได้ปริมาณกรดไขมันแตกต่างกัน.

3.5.2 ไฟโตสเตอรอล

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารไฟโตสเตอรอลในน้ำมันเมล็ดเงาะ ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า มีปริมาณสเตกมาสเตอรอล 779.48 มิลลิกรัม/กิโลกรัม. แต่อย่างไรก็ตาม ไม่พบสารปีตา-ซีโตสเตอรอล และแคมเปอสเตอรอล. สารสเตกมาสเตอรอลมีคุณสมบัติช่วยในลดคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด (Marangoni and Poli 2010; Fernandes and Cabral 2007). โดยพบว่า น้ำมันเมล็ดเงาะมีปริมาณสารสเตกมาสเตอรอลสูงกว่าไขมันเมล็ดเงาะ (320 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ที่รายงานในการศึกษาของ Sirisompong, Jirapakkul and Klinkesorn (2011) ส่วนสารปีตา-ซีโตสเตอรอลพบในไขมันเมล็ดเงาะ (610 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) แต่ไม่ตรวจพบในน้ำมันเมล็ดเงาะในการศึกษานี้. ทั้งนี้ การสูญเสียสารปีตา-ซีโตสเตอรอลในน้ำมันเมล็ดเงาะอาจเกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการแยกไขมัน.

ตารางที่ 6. ปริมาณสารไฟโตสเตอรอลในน้ำมันเมล็ดเงาะ

สารประกอบ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
สเตกมาสเตอรอล (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	779.48 ± 47.44
ปีตา-ซีโตสเตอรอล (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ไม่พบ
แคมเปอสเตอรอล (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ไม่พบ

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จำนวน 3 ซ้ำ

3.6 การตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเมล็ดเงาะ

ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบสต่อองค์ประกอบของแป้งเมล็ดเงาะ ดังแสดงในตารางที่ 7 พบว่า ปริมาณไขมัน, โปรตีน และอะไมโลสลดลง 9.1, 24.9 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น. ทั้งนี้ ปริมาณอะไมโลสมีค่าต่ำกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าในตารางที่ 1 อาจเนื่องจากตัวอย่างเมล็ดเงาะได้จากแหล่งที่แตกต่างกัน. อย่างไรก็ตาม จากผลที่ได้แสดงว่าการปรับสภาพด้วยสารละลายเบสเพียงขั้นตอนเดียวในเวลา 4 ชั่วโมง จะมีผลให้ปริมาณไขมันและโปรตีนจากแป้ง

เมล็ดเงาะลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น. ดังนั้น การศึกษาผลของการปรับสภาพหลายขั้นตอน และเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ จึงเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการเตรียมสตาร์ชเมล็ดเงาะต่อไป.

ตารางที่ 7. ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบส (0.075 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์) ต่อองค์ประกอบของแป้งเมล็ดเงาะ (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)

	ไม่ได้ปรับสภาพ	ปรับสภาพ
ไขมัน	6.64 ^a ± 0.31	4.99 ^a ± 0.01
โปรตีน	10.46 ^a ± 0.05	9.50 ^b ± 1.01
เถ้า	1.54 ^b ± 0.01	1.87 ^a ± 0.13
อะไมโลส	19.09 ^a ± 0.04	17.94 ^b ± 0.02

หมายเหตุ: a,b หมายถึง ค่าเฉลี่ยภายในแถวที่มีตัวอักษรกำกับไม่เหมือนกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบสต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเมล็ดเงาะ ดังแสดงในตารางที่ 8. เมื่อพิจารณาด้านสี พบว่า แป้งเมล็ดเงาะที่ไม่ได้ปรับสภาพ มีค่าความสว่าง (L*) มากกว่า แต่ค่าสี (a*, b*, Chroma) น้อยกว่า อาจเป็นเพราะสารอื่นถูกดูดซับไว้ แม้ว่าผ่านการล้างน้ำออกไปบางส่วน ส่งผลให้ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 7. ในด้านความชื้น แป้งเมล็ดเงาะที่ปรับสภาพมีค่าต่ำกว่า อาจเนื่องจากปริมาณไขมัน, โปรตีน และอะไมโลสที่น้อยกว่า มีผลให้ค่าการดูดซับแสงลดลง แต่ที่มีค่าความหนาแน่นสูงกว่า แสดงถึงการอัดตัวที่ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งเมล็ดเงาะที่ไม่ได้ปรับสภาพ.

เมื่อพิจารณาสมบัติการดูดซับ ดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่า แป้งเมล็ดเงาะที่ปรับสภาพมีค่าการดูดซับน้ำที่มากกว่า แต่ค่าการดูดซับน้ำมันที่น้อยกว่า เนื่องจากการดูดซับไอออนของโซเดียม (Na⁺) ในโครงสร้างภายในของแป้งเมล็ดเงาะ เกิดแรงดูดระหว่างประจุไฟฟ้ากับหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำ ทำให้มีลักษณะที่ชอบน้ำ จึงมีผลให้ปริมาณการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น (Nadiha *et al.* 2010). ส่วนแป้งเมล็ดเงาะที่ไม่ได้ปรับสภาพ มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงกว่า เนื่องจากการจับกับน้ำมันร่วมกับโปรตีนได้ดีกว่า (Siddiq *et al.* 2010). ในด้านการละลาย พบว่า แป้งเมล็ดเงาะที่ไม่ได้ปรับสภาพมีค่าสูงกว่า อาจเพราะมีสารละลายน้ำได้ปนอยู่ก่อนกำจัดออกไปบางส่วนโดยการปรับสภาพ. ในขณะที่แป้งเมล็ดเงาะที่ปรับสภาพมีการพองตัวสูงกว่า, ทั้งนี้ เนื่องจากไอออนของไฮดรอกซิล (OH⁻) ทำให้พันธะภายในอ่อนแอลง (Nadiha *et al.* 2010) เกิดการพองตัวอย่างอิสระมากขึ้น เมื่อเทียบกับแป้งเมล็ดเงาะที่ไม่ได้ปรับสภาพ.

จากตารางที่ 8 การปรับสภาพแป้งเมล็ดงาด้วยสารละลายเบส จะทำให้สมบัติด้านอิมัลชัน มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าไอออนในสารละลายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในด้านการดูดซับน้ำ และการพองตัวที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับสภาวะเริ่มต้นที่ไม่ได้ปรับสภาพ ตามที่อธิบายข้างต้น.

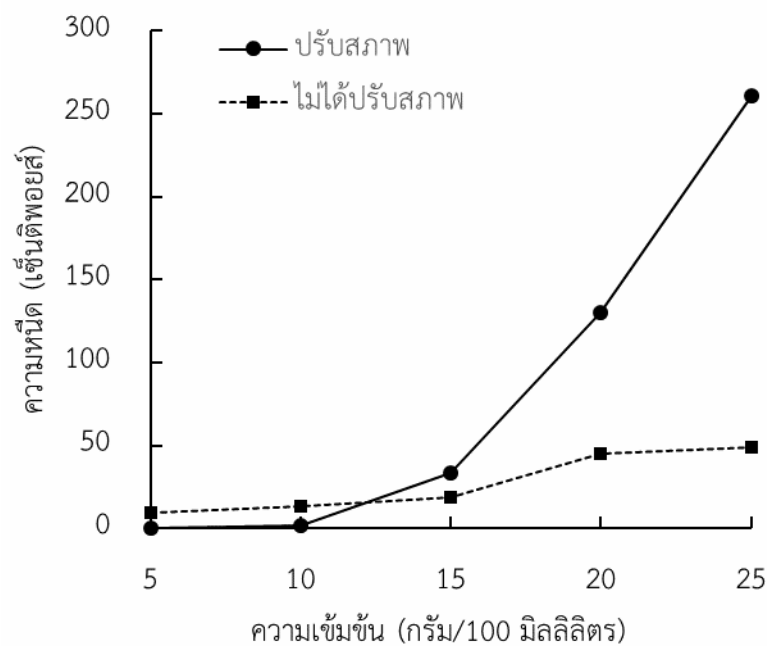
ตารางที่ 8. ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบส (0.075 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์) ต่อ สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งเมล็ดงา

การวิเคราะห์		ค่าที่วิเคราะห์ได้	
		ไม่ได้ปรับสภาพ	ปรับสภาพ
สมบัติกายภาพ			
สี	L*	92.14 ^a ± 0.24	90.26 ^b ± 0.16
	a*	4.09 ^b ± 0.04	4.84 ^a ± 0.01
	b*	9.26 ^b ± 0.05	11.14 ^a ± 0.32
	Chroma	10.13 ^b ± 0.10	12.15 ^a ± 0.29
ความขุ่น (การดูดแสงที่ 640 นาโนเมตร)		2.78 ^a ± 0.01	2.11 ^b ± 0.01
ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)		0.36 ^b ± 0.01	0.65 ^a ± 0.01
สมบัติเคมี			
การดูดซับน้ำ (กรัม/กรัม)		2.56 ^b ± 0.01	3.90 ^a ± 0.04
การดูดซับน้ำมัน (กรัม/กรัม)		1.41 ^a ± 0.04	1.25 ^a ± 0.05
การละลาย (กรัม/100 กรัม)		17.69 ^a ± 0.31	13.99 ^b ± 0.78
การพองตัว (กรัม/กรัม)		10.64 ^b ± 0.20	13.84 ^a ± 0.68
สมบัติอิมัลชัน			
ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (มิลลิลิตร/100 มิลลิลิตร)		47.69 ^b ± 1.54	61.22 ^a ± 1.94
ความคงตัวในการเกิดอิมัลชัน (มิลลิลิตร/100 มิลลิลิตร)		34.55 ^b ± 1.38	51.79 ^a ± 0.89

หมายเหตุ : a,b หมายถึง ค่าเฉลี่ยภายในแถวที่มีตัวอักษรกำกับไม่เหมือนกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบสต่อการเกิดเจลของแป้งเมล็ดงา ที่ความเข้มข้น 2-16 กรัม/100 มิลลิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 9 พบว่า แป้งเมล็ดงาเริ่มต้นที่ไม่ได้ปรับสภาพ จะเริ่มเกิดเจลที่ความเข้มข้น ≥ 10 กรัม/100 มิลลิลิตร และเกิดเจลทั้งหมดที่ ≥ 14 กรัม/100 มิลลิลิตร. ในขณะที่แป้งเมล็ดงาที่ปรับสภาพ เกิดเจลทั้งหมดที่ ≥ 8 กรัม/100 มิลลิลิตร แสดงว่าการปรับสภาพมีผลให้ค่าความเข้มข้นการเกิดเจลลดลง อาจเนื่องจากพันธะภายในอ่อนแอลง ทำให้การคืนตัวและจับตัวเกิดเจลเมื่อเย็นตัวลงง่ายขึ้น (Adebowale and Lawal 2003).

ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบสต่อค่าความหนืดปรากฏของแป้งเมล็ดงา ที่ความเข้มข้น 5-25 กรัม/100 มิลลิลิตร ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่า การปรับสภาพมีผลให้ค่าความหนืดปรากฏของแป้งเมล็ดงาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ที่ความเข้มข้น ≥ 10 กรัม/100 มิลลิลิตร สอดคล้องกับผลการเกิดเจลข้างต้น แสดงว่าไอออนของสารละลาย (Na^+ และ OH^-) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดอย่างมาก.



รูปที่ 7. ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบส (0.075 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์) ต่อความหนืดปรากฏของแป้งเมล็ดงา.

ตารางที่ 9. ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบส (0.075 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์) ต่อความเข้มข้นน้อยที่สุดที่เกิดเจลของแป้งเมล็ดงา

	ความเข้มข้น (กรัม/100 มิลลิลิตร)							
	2	4	6	8	10	12	14	16
ไม่ได้ปรับสภาพ	-	-	-	-	±	±	+	+
ปรับสภาพ	±	±	±	+	+	+	+	+

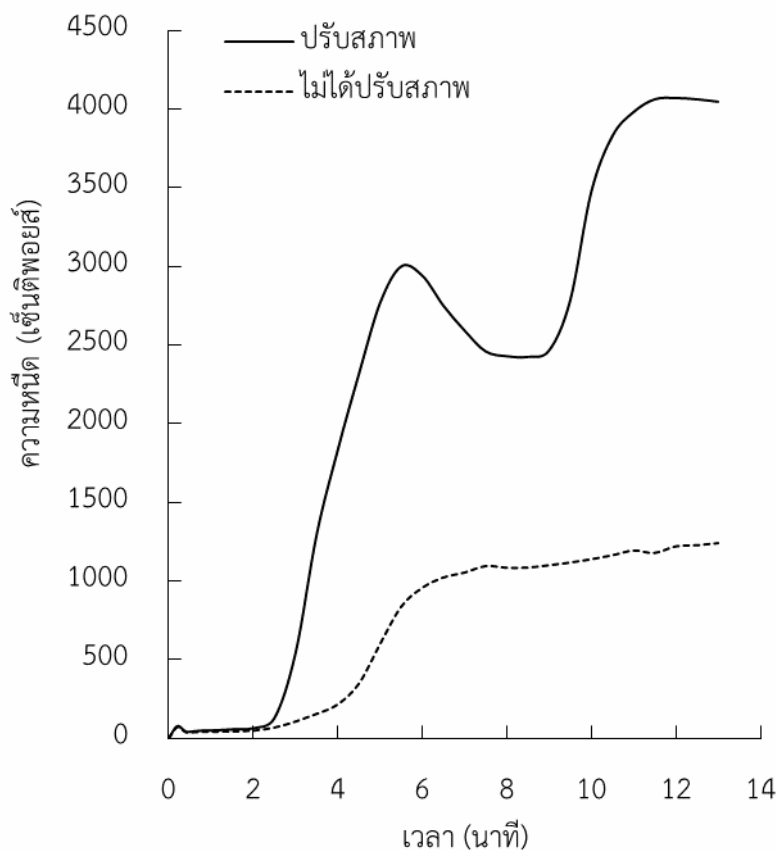
หมายเหตุ: ทำการทดลอง 2 ซ้ำ. ไม่เกิดเจล (□), เกิดเจลทั้งหมด (+) หรือเกิดเจลบางส่วน (±).

ตารางที่ 10. ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายต่าง (0.075 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์) ต่อพารามิเตอร์ความหนืดของแป้งเมล็ดงา

	ค่าที่วิเคราะห์ได้	
	ไม่ได้ปรับสภาพ	ปรับสภาพ
อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจล (องศาเซลเซียส)	85	68
ความหนืดสูงสุด (เซ็นติพอยส์)	1,056	3,055
ผลต่างของค่าความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดต่ำสุด (เซ็นติพอยส์)	86	647
ความหนืดสุดท้าย (เซ็นติพอยส์)	1,244	4,050
การคืนตัว (เซ็นติพอยส์)	275	1,643

หมายเหตุ: ทำการทดลอง 3 ซ้ำ.

ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบสต่อพฤติกรรมความหนืดของแป้งเมล็ดงา แสดงในรูปที่ 8 และผลสรุปแสดงในตารางที่ 10 พบว่า การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดงาที่ไม่ได้ปรับสภาพ จะเพิ่มขึ้นไม่มากนักเมื่อให้อุณหภูมิคงที่ (95 องศาเซลเซียส) จากนั้น เพิ่มอย่างช้าๆ เพียงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการทดสอบ ทั้งนี้ อาจเนื่องจากแป้งเมล็ดงามีพันธะภายในแบบร่างแห ที่มีความทนทานต่อความร้อน และแรงเฉือน ทำให้การเกิดเป็นเจลต่ำ (Taggart 2004). ส่วนแป้งเมล็ดงาที่ปรับสภาพ เกิดเป็นเจลที่อุณหภูมิต่ำกว่า แต่ค่าความหนืดสูงสุด ผลต่างของค่าความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดต่ำสุด ความหนืดสุดท้าย และการคืนตัว มีความแตกต่างในทางที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับพารามิเตอร์ดังกล่าวของแป้งเมล็ดงาที่ไม่ได้ปรับสภาพ ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจากพันธะภายในที่อ่อนแอลงต่อปัจจัยความร้อนและแรงเฉือน จึงทำให้เกิดเจลได้ดีกว่า และมีแนวโน้มการคืนตัว โดยค่าความหนืดเพิ่มสูงขึ้นมากเมื่อเย็นตัวลง.



รูปที่ 8. ผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายเบส (0.075 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์) ต่อความหนืดของแป้งเมล็ดงา.

3.7 การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันโดยการกินของน้ำมันเมล็ดเงาะ, ไขมันเมล็ดเงาะ และแป้งเมล็ดเงาะ

ผลการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวของหนูเพศผู้และเพศเมีย ที่ได้รับน้ำมันเมล็ดเงาะ, ไขมันเมล็ดเงาะ และแป้งเมล็ดเงาะ พบว่า มีการเจริญเติบโตเช่นเดียวกันกลุ่มในกลุ่มควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 11, 12 และ 13 ตามลำดับ.

ตารางที่ 11. ค่าเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นน้ำหนักตัวหนูในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองที่ได้รับน้ำมันเมล็ดเงาะ

วันที่	เพศ	ขนาด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)		
		0	2,000	5,000
1	ผู้	282.40±14.59	291.20±15.80	298.80±15.09
	เมีย	192.60±14.59	194.20±6.98	201.80±9.58
8	ผู้	308.40±21.20	316.20±16.84	324.60±13.60
	เมีย	222.20±1.16	220.40±13.39	229.60±12.78
15	ผู้	328.00±26.91	325.80±19.18	339.80±15.85
	เมีย	235.60±11.33	226.20±14.48	243.80±15.12

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จำนวน 5 ตัว/กลุ่ม.

ตารางที่ 12. ค่าเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นน้ำหนักตัวหนูในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองที่ได้รับไขมันเมล็ดเงาะ

วันที่	เพศ	ขนาด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)		
		0	2,000	5,000
1	ผู้	282.40±14.59	291.80±11.92	296.60±7.77*
	เมีย	192.60±14.59	194.20±12.13	203.00±10.17*
8	ผู้	308.40±21.20	316.00±18.81	328.80±13.33*
	เมีย	222.20±1.16	217.00±13.45	223.20±5.60
15	ผู้	328.00±26.91	327.00±14.75	340.80±10.87*
	เมีย	235.60±11.33	231.80±13.70	241.40±13.54*

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จำนวน 5 ตัว/กลุ่ม

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 13. ค่าเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นน้ำหนักตัวหนูในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองที่ได้รับแป้งเมล็ดงา

วันที่	เพศ	ขนาด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)		
		0	2,000	15,000
1	ผู้	252.80±6.38	241.00±8.72	240.80±5.45
	เมีย	201.20±4.66	205.00±6.44	203.00±6.56
8	ผู้	289.80±6.06	279.20±7.53	280.20±5.17
	เมีย	219.40±3.36	215.60±5.68	214.40±6.07
15	ผู้	348.80±5.45	302.60±13.13*	301.20±8.44*
	เมีย	230.20±3.19	232.80±5.40	233.40±5.27

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จำนวน 5 ตัว/กลุ่ม.

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$).

เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ ผลการชันสูตรซากตรวจไม่พบความผิดปกติของอวัยวะภายในของหนูทุกตัว ทั้งในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองที่ได้รับน้ำมันเมล็ดงา, ไขมันเมล็ดงา และแป้งเมล็ดงา. ดังนั้น ค่าพิษเฉียบพลันโดยการกิน (Lethal dose, LD₅₀) ของน้ำมันเมล็ดงา >5,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, ไขมันเมล็ดงา >5,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และแป้งเมล็ดงา >15,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัมตามลำดับ.

4. สรุปผลการวิจัย

ผลจากการศึกษานี้ ได้ให้ข้อมูลเบื้องต้นของน้ำมัน, ไขมัน และแบ่งจากเมล็ดเงาะ ด้วยเทคโนโลยีการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต สรุปดังนี้

1. น้ำมันเมล็ดเงาะ เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (26 ± 1 องศาเซลเซียส) ปริมาณที่ได้ 5.3–8.1 กรัม/100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณ 45.33 เปอร์เซ็นต์, กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว 51.52 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน 3.04 เปอร์เซ็นต์ โดยมีกรดไขมันที่สำคัญ ได้แก่ กรดโอเลอิก 50.17 เปอร์เซ็นต์, กรดแอราริติก 16.22 เปอร์เซ็นต์, กรดสเตียริก 12.21 เปอร์เซ็นต์ และกรดปาล์มมิติก 10.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ. น้ำมันเมล็ดเงาะมีค่าสี ($L^* 79.23$, $a^* -3.50$, $b^* 35.56$), ดัชนีหักเห 1.467, ความหนาแน่นสัมพัทธ์ 0.956, ค่าความเป็นกรด 19.11 มิลลิกรัม KOH/กรัม, ค่าไอโอดีน 41.19 กรัม I_2 /100 กรัม, ค่าเพอร์ออกไซด์ 16.57 มิลลีสมมูล/กิโลกรัม และค่าสaponนิฟิเคชัน 212.93 มิลลิกรัม KOH/กรัม. นอกจากนี้ น้ำมันเมล็ดเงาะมีสารสเตอรอล 779.48 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมีค่าพิษเฉียบพลันโดยการกิน (LD_{50}) $>5,000$ มิลลิกรัม/กิโลกรัม. อย่างไรก็ตาม น้ำมันเมล็ดเงาะที่ได้มีคุณภาพยังไม่ดี เนื่องจาก ทั้งค่าความเป็นกรด และค่าเพอร์ออกไซด์ สูงเกินค่ามาตรฐานน้ำมันพืชบริโภค 4.0 มิลลิกรัม/กรัม และ 10 มิลลีสมมูล/กิโลกรัม ตามลำดับ. จึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุงน้ำมันต่อไปด้วยวิธีการอื่นอีก.

2. ไขมันเมล็ดเงาะ เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง (26 ± 1 องศาเซลเซียส) ปริมาณที่ได้ 16.0–23.0 กรัม/100 กรัม ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว, กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน ในปริมาณ 45.23 เปอร์เซ็นต์, 52.67 เปอร์เซ็นต์ และ 2.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่า กรดไขมันหลัก ได้แก่ กรดโอเลอิก, กรดอะราซิดิก, กรดสเตียริก และกรดปาล์มมิติก มีความแตกต่างกัน ปริมาณที่ใกล้เคียงกับน้ำมันเมล็ดเงาะ อยู่ในช่วง 2-5 เปอร์เซ็นต์. เมื่อเทียบกับการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน (Sirisompong, Jirapakkul and Klinkesorn 2011) พบว่า ปริมาณกรดโอเลอิก, กรดสเตียริก, ปาล์มมิติก และกรดเบเฮนนิค มีความแตกต่างในทางที่สูงกว่า แต่ปริมาณกรดแอราริติก มีความแตกต่างในทางที่น้อยกว่า ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย ที่มีสมบัติต่างกัน ทำให้ได้ปริมาณกรดไขมันแตกต่างกัน. อนึ่ง ไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดด้วยวิธีนี้มีค่าพิษเฉียบพลันโดยการกิน (LD_{50}) $>5,000$ มิลลิกรัม/กิโลกรัม แต่ไม่ได้ครอบคลุมถึงการตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพ จึงจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบผลในส่วนที่แตกต่างกันด้านสมบัติทางเคมีกายภาพของไขมันเมล็ดเงาะที่สกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์.

3. แป้งเมล็ดงา เป็นผงบดหยาบขนาด 10–100 เมช ปริมาณที่ได้ 59.5–68.7 กรัม/100 กรัม ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตสูง (81.0–84.0 เปอร์เซ็นต์) และไขมันที่ลดลง (5.0–7.0 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่ปริมาณโปรตีน (9.2–10.5 เปอร์เซ็นต์) ใกล้เคียงโปรตีนของแป้งสาลี (9.0–12.0 เปอร์เซ็นต์). เมื่อพิจารณาองค์ประกอบในด้านโภชนาการ จึงมีความเป็นไปได้ในการนำแป้งเมล็ดงามาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร ซึ่งมีค่าพิษเฉียบพลันโดยการกิน (LD_{50}) >15,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม. จากการตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพ พบว่า แป้งเมล็ดงามีคุณภาพด้อยในด้านต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น, การดูดซับน้ำและน้ำมัน, การพองตัว, สมบัติ-อิมัลชัน และโดยเฉพาะพฤติกรรมทางความหนืด ซึ่งบ่งบอกถึงสมบัติของแป้งเมล็ดงาอยู่ในระดับต่ำ. แต่เมื่อทำการปรับสภาพแป้งเมล็ดงา พบว่า มีความแตกต่างของพารามิเตอร์ดังกล่าวในแนวโน้มที่ดี ขึ้นอย่างชัดเจน จำเป็นต้องทำการวิจัยเพิ่มเติม เพื่อพัฒนาสตาร์ชจากแป้งเมล็ดงาต่อไป.

5. แนวทางการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

แม้ว่าผลการศึกษาค้างนี้ยังให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ แต่เป็นการพัฒนางานวิจัยที่คาดว่าจะ เป็นจุดเริ่มต้นให้เกิดนวัตกรรมใหม่ๆ จากน้ำมัน, ไขมัน และแป้งจากเมล็ดเงาะ ที่สามารถนำไปต่อยอดได้ในอนาคต. อีกทั้ง เป็นการนำเทคโนโลยีการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ปลอดภัย และยอมรับในอุตสาหกรรมอาหาร (Mohamed and Mansoori 2002) แทนการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เฮกเซน ที่นิยมใช้ในการสกัดแบบดั้งเดิมในอุตสาหกรรมน้ำมันพืช. อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จจากดำเนินงานเกี่ยวกับน้ำมัน, ไขมัน และแป้งจากเมล็ดเงาะ สรุปดังนี้

กลุ่มเป้าหมาย (ภาคอุตสาหกรรม/ บริการ/สังคมชุมชน)	หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับ การนำผลงานวิจัยไปใช้ ประโยชน์	รูปแบบการ นำไปใช้ ประโยชน์/การ นำไปต่อยอดให้ เกิดมูลค่าเพิ่ม	ผลลัพธ์จาก การนำไปใช้ ประโยชน์	ผลกระทบที่คาดว่าจะ เกิดขึ้นทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม
ผู้ประกอบการ ผลิตภัณฑ์สุขภาพ	กระทรวงวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี, ผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์ สุขภาพ	-ผลิตภัณฑ์ ต้นแบบสบู่และ ลิปแท่งจาก ไขมันเมล็ดเงาะ -ผลิตภัณฑ์ ต้นแบบ แคปซูลจาก สตาร์ชของแป้ง เมล็ดเงาะ	ผลิตภัณฑ์ สุขภาพที่มี นวัตกรรมจาก ไขมันเมล็ด เงาะและ สตาร์ชของ แป้งเมล็ดเงาะ	ด้านเศรษฐกิจ -สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับ วัตถุดิบทางการเกษตร เหลือทิ้งที่ยังไม่มีการ นำไป ใช้ประโยชน์พัฒนา เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อ สุขภาพที่มีนวัตกรรม ด้านสิ่งแวดล้อม -ลดปริมาณของเสียที่ ส่งผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อม เนื่องจากการขาดแคลน พื้นที่ในการกำจัด ด้านสังคม -สร้างภาพลักษณ์ที่ดี ให้กับองค์กรจาก นวัตกรรมใหม่

6. ข้อเสนอแนะ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นของการนำเทคโนโลยีการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤตมาประยุกต์ใช้กับเมล็ดงา โดยมีผลผลิตเป็นน้ำมัน, ไขมัน และแฉ่ง. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพที่ได้ พบว่า น้ำมัน, ไขมัน และแฉ่งจากเมล็ดงา ยังมีคุณภาพไม่ดี. จากการประเมินความปลอดภัย (ความเป็นพิษเฉียบพลันโดยการกินในสัตว์ทดลอง) พบว่า ค่าพิษเฉียบพลันโดยการกิน (LD₅₀) ของน้ำมัน มากกว่า 5 กรัม/กิโลกรัม, ไขมัน มากกว่า 5 กรัม/กิโลกรัม และแฉ่ง มากกว่า 15 กรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำมัน, ไขมัน และแฉ่งจากเมล็ดงามาใช้ประโยชน์ได้ อาทิ ไขมันเมล็ดงานำมาใช้เป็นส่วนผสมในลิปแท่ง หรือรูปแบบอื่นๆ เช่น สบู่ เป็นต้น. สำหรับน้ำมันเมล็ดงายังไม่มีการทดลองพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากข้อจำกัดในด้านปริมาณที่ต้องใช้. นอกจากนี้ แฉ่งเมล็ดงาได้นำมาศึกษาเพิ่มเติม โดยการปรับสภาพแฉ่งเมล็ดงาด้วยสารละลายเบส (0.075 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์) พบว่า พารามิเตอร์เคมีกายภาพมีความแตกต่างในทางที่ดีขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับแฉ่งเมล็ดงาที่ไม่ได้ปรับสภาพ จึงมีแนวโน้มที่ดีในการวิจัยต่อยอด เพื่อพัฒนาเป็นสตาบิลจากแฉ่งเมล็ดงาต่อไป.

7. เอกสารอ้างอิง

- ชัยขจรวัฒน์, ภควรรณ. 2555. การผลิตไขมันทดแทนเนยโกโก้จากไขมันเมล็ดเงาะด้วยกระบวนการอินเตอร์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้เอนไซม์ไลเปส. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ศิรณานนท์, นัฐวี. 2551. การศึกษาการนำเอาเมล็ดเงาะจากอุตสาหกรรมผลิตเมล็ดเงาะกระป๋องมาใช้ในการผลิตเป็นไบโอดีเซล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สถาบันอาหาร. 2557. รายงานสถานการณ์อุตสาหกรรมไทยรายเดือน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.fic.nfi.or.th/>, [เข้าถึงเมื่อ 25 กันยายน 2558].
- AACC, 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th ed., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- Adebowale, K.O. and Lawal, O.S., 2003. Microstructure, physicochemical properties and retrogradation behavior of Mucuna bean (*Mucuna pruriens*) starch on heat moisture treatments. *Food Hydrocolloids*, 17, pp. 265–272.
- AOAC, 2000. Official method of analysis. 16th ed., Association of Official Analytical Chemists; Arlington, VA.
- AOCS, 2003. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. AOCS Press, USA.
- Chemat, F., Vian, M. A. and Cravotto, G., 2013. Green extraction of natural products: concepts and principles – a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 13, pp. 8615–8627.
- Fernandes, P. and Cabral, J.M.S., 2007. Phytosterols: applications and recovery methods a review. *Bioresource Technology*, 98, pp. 2335–2350.
- Hsu, S. Y. and Yu, S. H., 2002. Comparisons on 11 plant oil fat substitutes for low-fat Kung-wans. *Journal of Food Engineering*, 51, pp. 215–220.
- Jitngarmkusol, S., Hongsuwankul, J. and Tananuwong, K., 2008. Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted macadamia flours. *Food Chemistry*, 110, pp. 23–30.

- Marangoni, F. and Poli, A., 2010. Phytosterols and cardiovascular health a review. *Pharmacological Research*, **61**, pp. 193–199.
- Mohamed, R.S. and Mansoori, G.A., 2002. The use of supercritical fluid extraction technology in food processing. *Food Technology Magazine*, June, [online]. Available at: [https://www.uic.edu/labs/tr/1.OnlineMaterial/SCEinFood Technology.pdf](https://www.uic.edu/labs/tr/1.OnlineMaterial/SCEinFood%20Technology.pdf), [accessed 27 November 2015].
- Nadiha, M.Z.N. *et al.*, 2010. Comparative susceptibilities of sago, potato and corn starches to alkali treatment. *Food Chemistry*, **121**, pp. 1053–1059.
- Ng, K. F. *et al.*, 2014. Physicochemical, pasting and gel textural properties of wheat-ripe Cavendish banana composite flours. *International Food Research Journal*, **21**(2), pp. 655–662.
- O'Brien, R. D., 2004. *Fats and Oils: formulating and processing for applications*. Boca Raton: CRC Press.
- OECD, 2001. Guidelines for Testing of Chemicals Section 4: Health Effects. Test No. 420 Acute Oral Toxicity – Fixed Dose Method, adopted December 2001. OECD, Paris: France.
- Okaka, J.C. and Potter, N.N., 1977. Functional properties of cowpea-wheat flour blend in bread making. *Journal of Food Science*, **42**, pp. 828–833.
- Perera, C. and Hoover, R., 1999. Influence of hydroxypropylation on retrogradation properties of native, defatted and heat-moisture treated potato starches. *Food Chemistry*, **64**, pp. 361–375.
- Reverchon, E. and Macro, Ide., 2006. Supercritical fluid extraction and fractionation of Natural matter. *Journal of Supercritical Fluid*, **38**, pp. 146–166.
- Schoch, T.J. and Maywald, E.C., 1968. Preparation and properties of various legume starches. *Cereal Chemistry*, **45**, pp. 564–573.
- Siddiq, M. *et al.*, 2010. Physical and functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris L.*) flours. *LWT–Food Science and Technology*, **43**, pp. 232–237.

- Sirisompong, W., Jirapakkul, W. and Klinkesorn, U., 2011. Response surface optimization and characteristics of rambutan (*Nephelium lappaceum*) kernel fat by hexane extraction. *LWT – Food Science and Technology*, **44**, pp. 1946–1951.
- Solis-Fuentes, J.A. *et al.*, 2010. Composition, phase behavior and thermal stability of Natural edible fat from rambutan (*Nephelium lappaceum*) seeds. *Bioresource Technology*, **101**, pp. 799–803.
- Taggart, P., 2004. Starch as an ingredient: manufacture and implication. In: Elliason AC, editor. *Starch in Food*. England: CRC Press; pp. 363–392.
- Yanty, N.A.M. *et al.*, 2013. Physicochemical characterization of the fat from red-skin rambutan (*Nephelium lappaceum*) seed. *Journal of Oleo Science*, **62**(6), pp. 335–343.
- Yasumatsu, K. *et al.*, 1972. Whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agricultural Biochemistry*, **36**, pp. 719–727.

ภาคผนวก

การแสดงผลงานวิจัยโครงการในการประชุมวิชาการ

1. การประชุมวิชาการระดับชาติ

เอี่ยมวัฒน์, จิระวัฒน์; วัลภา, โศรดา และชำเป็รื่องเดช, สุกิจ. การเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันของเมล็ดเงาะในระหว่างการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต, สมบัติความหนืดของแป้งเมล็ดเงาะ และการใช้ทดแทนแป้งสาลีในขนมบิสกิต. ใน: *การประชุมวิชาการและแสดงผลงานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อน ครั้งที่ 9 วันที่ 3-4 กันยายน 2558*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

2. การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ (จัดในประเทศ)

Eiamwat, J., Wanlapa, S. and Kampruengdet, S. Physicochemical properties of defatted rambutan (*Nephelium lappaceum*) seed flour on alkali treatment. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Natural Products for Health and Beauty. 21-23 January 2016*. Khon Kaen, Thailand.

Eiamwat, J., Wanlapa, S., Sematong, T., Ruengpatthanapong, S., Phanthanapatet, W., Hankhuntod, N. and Kampruengdet, S. 2015. Rambutan (*Nephelium lappaceum*) seed flour prepared by fat extraction of rambutan seeds with SC-CO₂. *Isan Journal of Pharmaceutical Sciences*, **10** (Suppl.), pp. 138-146.

Thiensong, B., Eiamwat, J. and Natpinit, P. Composition and physicochemical characteristics of rambutan seed oil extracted by supercritical carbon dioxide. In: *Proceedings of the 17th Food Innovation Asia Conference. 18-19 June 2015*. Bangkok, Thailand, pp. 348-353.

Sematong, T., Eiamwat, J., Laovithayangoon, S., Natpinit, P. and Kampruengdet, S. Evaluation of rabbit skin irritation of SC-CO₂ extracted rambutan (*Nephelium lappaceum*) seed fat and oil. In: *Proceedings of Burapa University Interantional Conference 2014. 3-4 July 2014*. Pattaya, Thailand.

Eiamwat, J., Pengprecha, P., Thiensong, B., Sematong, T., Ruengpatthanapong, S., Natpinit, P., Kampruengdet, S. and Hankhuntod, N. Fatty acid composition and acute oral toxicity of rambutan (*Nephelium lappaceum*) seed fat and oil extracted with SC-CO₂. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Natural Product for Health and Beauty. 6-8 May 2014*. Phuket, Thailand.