# สกัดน้ำมันโอเมก้า 3 และ 6 สูง ด้วยเทคนิคความดันสูงและการพัฒนาแป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา (*Plukenetia volubilis*)

# Extraction of oil containing high omega 3 and 6 using high pressure technique and development of high protein flour from sacha inchi (*Plukenetia volubilis*)


**ฐารวี วชิราตรียากุล**

Tharawee Wachiratreeyakul


**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา**
**วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีประยุกต์**
**มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Applied Chemistry
Prince of Songkla University
2566


**ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

# สกัดน้ำมันโอเมก้า 3 และ 6 สูง ด้วยเทคนิคความดันสูงและการพัฒนาแป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา (*Plukenetia volubilis*)

# Extraction of oil containing high omega 3 and 6 using high pressure technique and development of high protein flour from sacha inchi (*Plukenetia volubilis*)

**ฐารวี วชิราตรียากุล**

Tharawee Wachiratreeyakul

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา**
**วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีประยุกต์**
**มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Applied Chemistry
Prince of Songkla University

**2566**

**ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

**ชื่อวิทยานิพนธ์** การสกัดน้ำมันโอเมก้า 3 และ 6 สูง ด้วยเทคนิคความดันสูงและการพัฒนาแป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา (*Plukenetia volubilis*)
**ชื่อผู้เขียน** นางสาวฐารวี วชิราตรียากุล
**สาขาวิชา** เคมีประยุกต์

---

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรศักดิ์ ปั้นวิชัย)

**คณะกรรมการสอบ**

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐพล ตั้งสุภูมิ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณยู ใคลคลาย)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรศักดิ์ ปั้นวิชัย)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เถกิง วงศ์ศิริโชติ)
รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรศักดิ์ ปั้นวิชัย)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นางสาวฐารวี วชิราตรียากุล)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....
(นางสาวฐารวี วชิราตรียากุล)
นักศึกษา

**ชื่อวิทยานิพนธ์** การสกัดน้ำมันโอเมก้า 3 และ 6 สูง ด้วยเทคนิคความดันสูงและการพัฒนาแป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา (*Plukenetia volubilis*)
**ผู้เขียน** นางสาวฐารวี วชิราตรียากุล
**สาขาวิชา** เคมีประยุกต์
**ปีการศึกษา** 2565

## บทคัดย่อ

การศึกษาการสกัดน้ำมันโอเมก้า 3 และ 6 สูง ด้วยเทคนิคความดันสูงและการพัฒนาแป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา (*Plukenetia volubilis*) ซึ่งการสกัดน้ำมันจากถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ ระยะเวลา 120 นาที มีปริมาณน้ำมันสูงสุดเท่ากับ 30.23±0.99 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกรด Linoleic acid (C18:2,Omega-6) เท่ากับ 39.33 เปอร์เซ็นต์ และ Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) เท่ากับ 48.81 เปอร์เซ็นต์ พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีปริมาณกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมก้า 3 และ 6 สูง บรรจุขวด 42 กรัม จำนวน 60 แคปซูล มีต้นทุนการผลิตต่อขวด 170 บาท กากถั่วดาวอินคาสกัดแยกน้ำมันสามารถพัฒนาเป็นแป้งโปรตีนสูงในเชิงพาณิชย์ ถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งและอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ระดับคะแนนสี กลิ่น ลักษณะปรากฏ ทุกตัวอย่างผู้บริโภคให้การยอมรับ มีระดับคะแนนเท่ากับ 7.37±0.15 และสามารถใช้งานในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้ มีต้นทุนการผลิตโดยประมาณเท่ากับ 35.50 บาท กำหนดราคาขาย 159 บาทต่อถุง จะได้กำไร 83.50 บาทต่อถุง

**คำสำคัญ :** เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์, ถั่วดาวอินคา, โอเมก้า 3, โอเมก้า 6

**Thesis Title** Extraction of oil containing high omega 3 and 6 using high pressure technique and development of high protein flour from sacha inchi (*Plukenetia volubilis*)
**Author** Miss Tharawee Wachiratreeyakul
**Major Program** Applied Chemistry
**Academic** 2022

## ABSTRACT

This study aims to development of flour high protein from sacha inchi and extraction of oil containing high omega 3 and 6 by using high pressure technique. The supercritical carbon dioxide extraction of sacha inchi at 35 ℃, 150 bar for 120 minute was showed the highest oil content 30.23±0.99 %, Linoleic acid (C18:2,Omega-6) was 39.33 % and Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) was 48.81 %. The development of dietary supplement with a high content of essential fatty acids omega 3 and 6 were packed in a bottle of 42 grams, 60 capsules.The production cost is 170 baht/bottle. The bagasse of sacha inchi after extraction oil can be used to a high-protein flour in commercial. Steamed and dried sacha inchi nuts at a temperature of 35 ° C for 72 hours, color rating, smell, appearance. All samples were accepted by panel with a score of 7.37±0.15 and can be used in bakery products. The production cost 35.50 baht/bag and the selling price 159 baht/bag will be get a profit 83.50 baht/bag.

**Keywords:** Supercritical Carbon Dioxide, Dow Inca peanut, Omega 3, Omega 6

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประสบความสำเร็จได้ด้วยความกรุณา และการช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่ง ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรศักดิ์ ปั้นวิชัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะในการแก้ปัญหา ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขรายละเอียดของเล่มวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่

ขอขอบพระคุณคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐพล ตั้งสุภูมิ ประธานกรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณยู ใคลคลาย กรรมการ ที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติม และแก้ไขข้อบกพร่องจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งใจและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) จัดสรรทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จัดสรรทุนอุดหนุนสนับสนุนการทำวิจัยและทุนสนับสนุนการศึกษา ที่คอยช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยอย่างดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีประยุกต์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และเจ้าหน้าที่บัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและให้กำลังใจในการเรียนมาโดยตลอด ที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษาอย่างใกล้ชิดมาโดยตลอด ตลอดทุกท่านที่มิได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องและช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้

ฐารวี วชิราตรียากุล

# สารบัญ


| **เรื่อง** | **หน้า** |
|---|---|
| บทคัดย่อ | (5) |
| ABSTRACT | (6) |
| กิตติกรรมประกาศ | (7) |
| รายการตาราง | (11) |
| รายการภาพประกอบ | (13) |
| สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ | (15) |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 1.4 ขอบเขตวิจัย | 2 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ | 3 |
| 2.2 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของถั่วดาวอินคา | 3 |
| 2.2.1 โปรตีน | 6 |
| 2.2.2 กลูเตน | 6 |
| 2.2.3 ลิปิด | 7 |
| 2.3 แป้งถั่วดาวอินคา | 10 |
| 2.4 กลิ่นถั่ว | 10 |
| 2.5 วิธีการกำกัดกลิ่นถั่ว | 11 |
| 2.6 การสกัดสารด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด | 12 |
| 2.7 การสกัดด้วยการบีบอัด | 14 |
| 2.8 การตกผลึกแยกกรดไขมันอิ่มตัว | 15 |
| บทที่ 3 วิธีการวิจัย | 16 |
| 3.1 วัสดุอุปกรณ์ | 15 |
| 3.1.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ | 16 |
| 3.1.2 สารเคมี | 16 |

# สารบัญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 3.2 วิธีดำเนินการ | 17 |
| 3.2.1 การเตรียมตัวอย่างถั่วดาวอินคา และวิเคราะห์คุณภาพกายภาพและเคมี | 17 |
| 3.2.1.1 วิเคราะห์ความชื้น (Moisture content) | 17 |
| 3.2.2.2 วิเคราะห์ปริมาณไขมันน้ำมันจากถั่วดาวอินคาด้วยวิธีตัวทำละลาย | 18 |
| 3.2.2.3 วิเคราะห์ปริมาณไขมันน้ำมันจากถั่วดาวอินคาด้วยวิธีการบีบสกัด | 18 |
| 3.2.2.4 วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty acid: FFA) | 19 |
| 3.2.2.5 วิเคราะห์เปอร์ออกไซด์ (peroxide value) | 19 |
| 3.2.2.6 วิเคราะห์ไอโอดีน (Iodine Value) | 19 |
| 3.2.2.7 วิเคราะห์ซาปอนนิฟเคชั่น (Saponification number) | 20 |
| 3.2.2.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid composition) | 20 |
| 3.2.2 ศึกษาการลดปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวจากน้ำมันถั่วดาวอินคาโดยการตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 4, 6, 8 และ 10 องศาเซลเซียส | 20 |
| 3.2.3 ศึกษาการสกัดไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical Carbon Dioxide; SCCO2) | 21 |
| 3.2.4 พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพ | 23 |
| 3.2.5 พัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งถั่วดาวอินคาจากผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมัน | 23 |
| 3.2.5.1 ผลของวิธีการให้ความร้อนเพื่อลดกลิ่นถั่วต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา | 23 |
| 3.2.5.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน | 24 |
| 3.2.5.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณกากใย | 25 |
| 3.2.5.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า | 25 |
| 3.2.5.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต | 25 |
| 3.2.5.1.5 การวิเคราะห์ปริมาณกลูเตน | 25 |
| 3.2.5.1.6 การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส (amylose) | 26 |
| 3.2.5.1.7 วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (aw) | 26 |

# สารบัญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 3.2.5.1.8 การวิเคราะห์ค่าการดูดซึมน้ำของแป้ง (Water adsorption) | 26 |
| 3.2.5.1.9 การวิเคราะห์ค่าสี | 26 |
| 3.2.5.1.10 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) | 27 |
| 3.2.6 ศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ของผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3, 6 สูง และผลิตภัณฑ์แป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา | 27 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล | 28 |
| 4.1 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคา | 28 |
| 4.2 ผลการลดปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวของน้ำมันถั่วดาวอินคา โดยการตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 4, 6, 8 และ 10 องศาเซลเซียส | 29 |
| 4.3 ผลของอุณหภูมิต่อการสกัดน้ำมันจากถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวด | 31 |
| 4.4 ผลของความดันต่อการสกัดน้ำมันจากถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวด | 33 |
| 4.5 ผลของระยะเวลาต่อการสกัดน้ำมันจากถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวด | 36 |
| 4.6 บรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพจากถั่วดาวอินคา | 39 |
| 4.7 ผลิตภัณฑ์แป้งถั่วดาวอินคาจากผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมัน | 41 |
| 4.7.1 ผลของวิธีการให้ความร้อนเพื่อลดกลิ่นถั่วต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา | 41 |
| 4.7.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เค้กจากแป้งถั่วดาวอินคา | 44 |
| 4.8 พัฒนาบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์แป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา | 48 |
| 4.9 ศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ | 49 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 50 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 50 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 50 |
| บรรณานุกรม | 51 |
| ประวัติผู้เขียน | 56 |

# รายการตาราง


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| ตารางที่ 1 คุณค่าทางอาหารของเมล็ดถั่วดาวอินคา | 5 |
| ตารางที่ 2 ปริมาณแร่ธาตุของเมล็ดถั่วดาวอินคา | 5 |
| ตารางที่ 3 ปริมาณโปรตีน และกรดไขมันที่สำคัญของถั่วดาวอินคาเปรียบเทียบกับเมล็ดน้ำมันชนิดอื่น | 6 |
| ตารางที่ 4 องค์ประกอบของกรดไขมันจากน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยวิธีสกัดเย็น | 10 |
| ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิค $SCCO_2$, Soxhlet และ Cold Pressing | 14 |
| ตารางที่ 6 ปริมาณโอเมก้า 3 และ6 น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิค $SCCO_2$ ความดัน 300 บาร์อุณหภูมิ 40 °C | 14 |
| ตารางที่ 7 การนึ่ง และระยะเวลาการอบแป้งถั่วดาวอินคา | 24 |
| ตารางที่ 8 องค์ประกอบของถั่วดาวอินคา | 28 |
| ตารางที่ 9 คุณสมบัติทางเคมีของไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคา | 29 |
| ตารางที่ 10 องค์ประกอบกรดไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคา | 29 |
| ตารางที่ 11 คุณสมบัติทางเคมีของไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยการบีบอัด ที่ผ่านขั้นตอนการตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำของน้ำหล่อเย็นระดับอุณหภูมิ 4, 6, 8 และ 10 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที | 30 |
| ตารางที่ 12 องค์ประกอบของกรดไขมันถั่วดาวอินคาที่ผ่านการตกผลึกแยกไขที่อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น | 30 |
| ตารางที่ 13 องค์ประกอบกรดไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคา สกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด (SCCO2) ที่อุณหภูมิ 35-100 องศาเซลเซียส ความดัน 74 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที | 33 |
| ตารางที่ 14 ปริมาณน้ำมันของน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวด ที่ความดัน 74-150 บาร์ อุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที | 36 |
| ตารางที่ 15 องค์ประกอบกรดไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด ระยะเวลา 30-120 นาที อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ | 39 |
| ตารางที่ 16 ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งที่ระยะเวลา 45 นาที ก่อนการอบแห้งด้วยลมร้อนระยะเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส | 42 |
| ตารางที่ 17 ค่าสีของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งที่ระยะเวลา 45 นาที ก่อนการอบแห้งด้วยลมร้อนระยะเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส | 42 |

## รายการตาราง (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| ตารางที่ 18 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อแป้งถั่วดาวอินคาผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งและไม่นึ่ง อบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง | 43 |
| ตารางที่ 19 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่ง ระยะเวลา 45 นาที อบแห้งด้วยลมร้อน อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง | 44 |
| ตารางที่ 20 คุณภาพกายภาพ สี และเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์เค้กแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งผสมแป้งสาลี อัตราส่วน 0:1 และ 1:1-1:4 | 46 |
| ตารางที่ 21 คุณภาพกายภาพ สี และเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์เค้กแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่นึ่งผสมแป้งสาลีอัตราส่วน 0:1 และ 1:1-1:4 | 46 |
| ตารางที่ 22 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เค้กแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งผสมแป้งสาลีอัตราส่วน 0:1 และ 1:1-1:4 | 47 |
| ตารางที่ 23 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของของผลิตภัณฑ์เค้กแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่นึ่งผสมแป้งสาลีอัตราส่วน 0:1 และ 1:1-1:4 | 47 |
| ตารางที่ 24 ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีปริมาณกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมก้า 3 และ 6 สูง จากถั่วดาวอินคา | 49 |
| ตารางที่ 25 ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์แป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา | 49 |

# รายการภาพประกอบ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| ภาพที่ 1 (ก) ลักษณะต้นถั่วดาวอินคา (ข) ลักษณะผลถั่วดาวอินคา (ค) เมล็ดถั่วดาวอินคา | 3 |
| ภาพที่ 2 การยึดกันของโปรตีนไกลอะดินและกลูเตนินด้วยพันธะไดซัลไฟท์ เกิดเป็นกลูเตนที่เหนียวและยืดหยุ่น | 7 |
| ภาพที่ 3 กรดไขมันอิ่มตัว (ก) Palmitic acid (16:0), (ข) Stearic acid (18:0) | 8 |
| ภาพที่ 4 กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว Oleic acid (18:1, n-9) | 8 |
| ภาพที่ 5 กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (ก) Linolenic acid (18:3, n-3), (ข) Linoleic acid (18:2, n-6) | 8 |
| ภาพที่ 6 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ Lipoxygenase | 11 |
| ภาพที่ 7 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของ n-haxanal โดยเอนไซม์ aldehyde dehydrogenase | 12 |
| ภาพที่ 8 เครื่องสกัด Supercritical $CO_2$ | 12 |
| ภาพที่ 9 เฟสไดอะแกรมของคาร์บอนไดออกไซด์ | 13 |
| ภาพที่ 10 เครื่องบีบสกัดน้ำมันแบบสกรูเพรส | 14 |
| ภาพที่ 11 เมล็ดถั่วดาวอินคาที่ผ่านการแยกเปลือก | 17 |
| ภาพที่ 12 เครื่องบีบสกัดน้ำมันสกรูเพลส | 18 |
| ภาพที่ 13 เครื่องสกัดสารด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวด รุ่น Speed SFE-2 | 21 |
| ภาพที่ 14 หลักการทำงานของเครื่อง Supercritical Carbon Dioxide; $SCCO_2$ | 24 |
| ภาพที่ 15 น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35 (A), 45 (B), 65 (C), 75 (D) และ 100 (E) องสาเซลเซียส ความดัน 74 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที | 32 |
| ภาพที่ 16 เปอร์เซ็นต์น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35-100 องศาเซลเซียส ความดัน 74 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที | 32 |
| ภาพที่ 17 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ และกรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่หลายพันธะ น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35-100 องศาเซลเซียส ความดัน 74 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที | 33 |
| ภาพที่ 18 น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด (SCCO2) ที่ความดัน (A) 74, (B) 80, (C) 90, (D) 100 และ (E) 150 บาร์ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที | 35 |
| ภาพที่ 19 เปอร์เซ็นต์น้ำมันทั้งหมดของถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด ($SCCO_2$) ที่ความดัน 74-150 บาร์ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที | 35 |

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

**เรื่อง** **หน้า**

ภาพที่ 20 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ และกรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่หลายพันธะ น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 74-150 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที 36

ภาพที่ 21 น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ ระยะเวลา 30 (A), 60 (B), 90 (C) และ 120 (D) นาที 37

ภาพที่ 22 เปอร์เซ็นต์น้ำมันทั้งหมดของถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ ระยะเวลา 30-120 นาที 38

ภาพที่ 23 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ และกรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่หลายพันธะ น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ ระยะเวลา 30-120 นาที 38

ภาพที่ 24 ตราสินค้า (Logo) ของผลิตภัณฑ์ (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่2 40

ภาพที่ 25 บรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีปริมาณกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมก้า 3 และ 6 สูง จากถั่วดาวอินคา (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่ 2 40

ภาพที่ 26 กากถั่วดาวอินคาหลังบีบน้ำมัน (ก) แป้งถั่วดาวอินคา นึ่งและอบแห้ง (ข) ไม่ผ่านการนึ่งก่อนอบแห้ง (ค) 42

ภาพที่ 27 เค้กแป้งสาลี (ก) เค้กแป้งถั่วดาวอินคาไม่ผ่านการนึ่งต่อแป้งสาลีอัตราส่วน 0:1 (ข)เค้กแป้งถั่วดาวอินคา ผ่านการนึ่งต่อแป้งสาลีอัตราส่วน 1:2 (ค) เค้กแป้งถั่วดาวอินคาผ่านการนึ่งต่อแป้งสาลีอัตราส่วน 1:3 (ค) 45

ภาพที่ 28 ภาพบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์แป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่ 2 48

# สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

| | | |
|---|---|---|
| $SCCO_2$ | = | Supercritical Carbon Dioxide |
| SFA | = | Saturated fatty acids |
| MUFA | = | Monounsaturated fatty acids |
| PUFA | = | Polyunsaturated fatty acids |

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ถั่วดาวอินคา (Sacha inchi) มีถิ่นกำเนิดจากประเทศเปรู มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Plukenetia volubilis* ถั่วชนิดนี้อยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae เป็นวงศ์เดียวกับยางพารา และสบู่ดำ ถั่วดาวอินคา มีปริมาณน้ำมันสูงถึง 35-60 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดไขมันที่จำเป็นปริมาณสูง มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 45-63 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันโอเมก้า 6 34-39 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันโอเมก้า 9 6-10 เปอร์เซ็นต์ เป็นกรดไขมันที่มีประโยชน์ต่อร่างกายทำให้ไขมันอุดตันในหลอดเลือดลดลง ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล (Cholesterol) และลิโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low density lipoprotein, LDL) ช่วยเพิ่มลิโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นสูง (High density lipoprotein, HDL) ลดอาการปวดและอาการอักเสบต่าง ๆ และมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ช่วยลดและชะลอการเสื่อมของเซลล์ในร่างกาย ลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง เป็นต้น ถั่วดาวอินคามีองค์ประกอบของโปรตีนสูง 27-33 เปอร์เซ็นต์ และอุดมไปด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด เช่น ซีสเตอีน (Cysteine) ไทโรซีน (Tyrosine) ทรีโอนีน (Threonine) และทริปโตเฟน (Tryptophan) คล้ายกับโปรตีนจากเมล็ดงาดอกทานตะวัน และถั่วลิสง มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ มีวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิด เช่น วิตามินเอ วิตามินอี และ ไอโอดีน (Fanali *et al*., 2011; Jagersberger, 2013; Maurer *et al*., 2011; Hans-Peter และ Markus, 2011; อุดมวิทย์ ไวทยการ และคณะ, 2557) คุณสมยศ ยงยิ่งศักดิ์ถาวร กรรมการผู้จัดการบริษัทคิงส์ไบโอโปรดักส์ จำกัด บริษัทคิงส์มิลลิ่ง (สุราษฎร์ธานี) จำกัด และบริษัท รีพับบลิค ฟู้ดส์ จำกัด ผู้ผลิตและจำหน่ายแป้งสาลีและผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลี ต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ตอบสนองความต้องการของลูกค้าผู้รักสุขภาพ ผู้มีปัญหาแพ้ผลิตภัณฑ์แป้งสาลีของบริษัทฯ และมองเห็นช่องทางการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์จากถั่วดาวอินคาที่มีกรดไขมันจำเป็นโอเมก้า 3 และ 6 สูง เป็นกรดไขมันจำเป็นต่อผู้บริโภค และแป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคาหลังการสกัดน้ำมันใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่มีปัญหาในการบริโภคผลิตภัณฑ์แป้งสาลีโรคแพ้กลูเตน (Celiac disease) หรือโปรตีนจากแป้งสาลี ตั้งแต่แรกเกิดพบมากขึ้นในทุก ๆ ปี โรคแพ้กลูเตน คือ โรคที่มีปัญหาในการย่อยกรดอะมิโนของโปรตีน ทำให้ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายสร้างแอนติบอดี้ (antibody) ต่อต้านโปรตีนดังกล่าวส่งผลให้เยื่อบุของลำไส้เล็กถูกทำลาย ไม่สามารถดูดซึมสารอาหารได้ (Demirkesen *et al.,* 2010 บริษัทคิงส์มิลลิ่ง (สุราษฎร์ธานี) จำกัด จึงสนใจเข้าร่วมโครงการพัฒนาแป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคาและสกัดน้ำมัน โอเมก้า 3 และ6 ด้วยเทคนิคความดันสูง โดยผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.ธีรศักดิ์ ปั้นวิชัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี เป็นหัวหน้าโครงการ ถั่วดาวอินคาสามารถปลูกได้ทุกพื้นที่ ทุกภาคและทุกสภาพดินของประเทศไทย การสกัดน้ำมันทำได้หลายวิธี เช่น การบีบอัด การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (Hexane) เป็นวิธีที่ง่ายแต่อาจพบการตกค้างของตัวทำละลายอินทรีย์ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม การสกัดด้วยความเย็น และการแยกองค์ประกอบของ

สารด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical Carbon Dioxide : $SCCO_2$) นิยมใช้สกัดแยกสารที่มีมูลค่าสูง เช่น น้ำมันปลา Vitamin A, Vitamin E หรือองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีมูลค่าสูง เป็นต้น การสกัดสารด้วยเทคนิค $SCCO_2$ เป็นการสกัดสารแบบใหม่ประสิทธิภาพการสกัดสูงเวลาสั้น ได้สารสกัดปริมาณมากมีความบริสุทธิ์ และไม่มีสารเคมีปนเปื้อน สามารถนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับมาใช้ใหม่ได้ (GE. Y *et al.,* 2002; Punvichai *et al.,* 2016) $SCCO_2$ เป็นเทคโนโลยีสะอาดเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เลือกสกัดสารที่ต้องการ และป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการสกัด ลดการเสื่อมคุณภาพ สามารถใช้ในการสกัดแยกองค์ประกอบของกรดไขมัน สารสำคัญที่มีมูลค่าสูง Pro-vitamin A ในปาล์มน้ำมัน และสารประกอบเรซินในพืชกัวยูล (Punvichai *et al.,* 2016)

ดังนั้นผู้วิจัย ต้องการพัฒนาสกัดน้ำมันจากถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมก้า 3 และ 6 สูงโดยใช้เทคนิคความดันสูงคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด (Supecitical Carbon Dioxide : $SCCO_2$) และพัฒนาแป้งถั่วดาวอินคาปริมาณโปรตีนสูงจากกากถั่วดาวอินคาที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกแล้วเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบเพื่อจัดจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

**1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1.2.1 เพื่อสกัดน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 สูง จากถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคความดันสูงเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

1.2.2 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคาที่ผ่านการสกัดไขมันโอเมก้า 3 และ 6

**1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ**

13.1 ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันเพื่อสุขภาพที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3, 6 สูงจากถั่วดาวอินคา ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมในเชิงพาณิชย์

13.2 ได้ผลิตภัณฑ์แป้งถั่วดาวอินคาที่ปราศจากกลูเตน และมีโปรตีนสูงใช้ในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ บะหมี่ วุ้นเส้น เป็นต้น

**1.4 ขอบเขตการวิจัย**

ศึกษาการสกัดกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 สูง จากถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคความดันสูงเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมในเชิงพาณิชย์ และพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมี ปริมาณไขมันน้ำมัน (% yield) ปริมาณกรดไขมันอิสระ (% FFA) ค่าไอโอดีน (Iodine value) ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) และองค์ประกอบกรดไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยเครื่อง Gas Chormatography พัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคาผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมัน วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมี วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต กากใย เถ้า ปริมาณกลูเต้น ค่าการดูดกลืนน้ำ (Water adsorbrance) ปริมาณอไมโลส (Amylose) ค่าสี (L*, a*, b*) ทดสอบการใช้งาน (Baking test) โดยทำเค้กตามวิธีการของฝ่ายพัฒนาผลิตภัณฑ์บริษัทคิงส์มิลลิ่ง (สุราษฎร์ธานี) และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation)

# บทที่ 2

# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ถั่วดาวอินคา มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Plukenetia Volubilis L.* วงศ์ Euphorbiaceae หรืออาจเรียกว่าซาคาอินชี (Sacha Inchi) หรือถั่วภูเขา มีถิ่นกำเนิดจากป่าอเมซอน ประเทศเปรู เติบโตในสภาพอากาศอบอุ่น เป็นไม้ยืนต้นมีความสูงประมาณ 2 เมตร ใบมีลักษณะเป็นรูปหัวใจ ขอบใบมีรอยหยักยาว 10-12 เซนติเมตร กว้าง 8-10 เซนติเมตร และก้านใบมีความกว้าง 2-6 เซนติเมตร เกสรตัวผู้จัดอยู่ในกลุ่มที่มีขนาดเล็กและมีสีขาว เกสรตัวเมียสองตัวตั้งอยู่ในฐานของช่อดอกไม้ ผลของถั่วดาวอินคา (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-5 เซนติเมตร ลักษณะเป็นแฉก 4-7 แฉก) มีสีเขียวและจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำเมื่อผลสุก โดยทั่วไปมี 4 แฉก เมล็ดเป็นรูปไข่สีน้ำตาลเข้ม เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5-2 เซนติเมตร ลักษณะต้นผล และเมล็ดถั่วดาวอินคา (ภาพที่ 1) (Hans-Peter *et al.,* 2011)

(ก) (ข) (ค)

**ภาพที่ 1** (ก) ลักษณะต้นถั่วดาวอินคา (ข) ลักษณะผลถั่วดาวอินคา (ค) เมล็ดถั่วดาวอินคา
ที่มา : Gonzales GF *et al.,* (2014)

## 2.2 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของถั่วดาวอินคา

เมล็ดถั่วดาวอินคาเป็นพืชที่มีปริมาณน้ำมันสูง Guillen และคณะ (2003) รายงานว่าเมล็ดถั่วดาวอินคามีปริมาณน้ำมันสูงถึง 35-60 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการรายงานของ Chiara และคณะ (2011) นอกจากนี้ Bondioli และคณะ (2006) รายงานว่าเมล็ดถั่วดาวอินคา มีน้ำมัน 34.42 เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่างของปริมาณน้ำมันอาจเป็นผลมาจากสายพันธุ์ย่อยของถั่วดาวอินคา สภาพทางภูมิศาสตร์ และลักษณะภูมิอากาศของพื้นที่ปลูก ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว หรือวิธีการสกัดน้ำมัน อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำมันของถั่วดาวอินคา มีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับน้ำมันจากเมล็ดฝ้าย น้ำมันดอกคำฝอย น้ำมันดอกคาโนลาหรือน้ำมันถั่วลิสง น้ำมันจากเมล็ดถั่วดาวอินคาสามารถนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม หรือเครื่องสำอางได้ โดยให้ผลดีเป็นที่ยอมรับ อย่างกว้างขวาง เพราะองค์ประกอบของไขมันส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว กลุ่มกรดไขมันโอเมก้า 3 (Omega-3 fatty acid) กรดไขมันโอเมก้า 6 (Omega-6 fatty acid) และกรดไขมันโอเมก้า 9 (Omega-9 fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น ช่วยทำให้การเกิดไขมันอุดตันใน

หลอดเลือดลดน้อยลง ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล (Cholesterol) และลิโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low density lipoprotein, LDL) ช่วยเพิ่มลิโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นสูง (High density lipoprotein, HDL) ช่วยลดอาการปวดและอาการอักเสบต่าง ๆ และมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ช่วยลดและชะลอการเสื่อมของเซลล์ในร่างกาย ลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง เป็นต้น จึงมีการนำมาใช้ผลิตเป็นอาหารเสริมอย่างแพร่หลายมากขึ้น (Hans-Peter *et al.,* 2011) Chiara และคณะ (2011) รายงานการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในน้ำมันถั่วดาวอินคาจากกระบวนการสกัดแบบบีบเย็น ได้แก่ ไตรเอซิลกลีเซอรอล (Triacylglycerols) โพลิฟีนอล (Polyphenols) และวิตามินอี (Tocopherols) โดยทำการวิเคราะห์ไตรเอซิลกลีเซอรอลและโพลิฟีนอลด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ร่วมกับ Photodiode array (PDA) และMass spectrometry (MS) ส่วนปริมาณวิตามินอี วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fluorescence (RF) นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ปริมาณของ Fatty acid methyl esters (FAMEs) ด้วยเทคนิค Gas Chromatography (GC) โดยใช้ตัวตรวจวัดชนิด Flame ionization พบว่าน้ำมันถั่วดาวอินคา มีปริมาณไขมันทั้งหมด 93 เปอร์เซ็นต์ โดยมีกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัวมากที่สุด ได้แก่กรดลิโนเลอิก (Linoleic) และกรดลิโนเลนิก (Linolenic) คิดเป็นประมาณ 50 และ 36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยไตรเอซิลกลีเซอรอลที่พบในตัวอย่างมีปริมาณสูงถึง 22.2 เปอร์เซ็นต์ วิตามินอี พบว่ามีวิตามินอีชนิดแกมมา ($\gamma$-tocopherols ) ในปริมาณมากที่สุดและสามารถตรวจพบสารประกอบโพลิฟีนอลในน้ำมันถั่วดาวอินคาอีกด้วย Hans-Peter (2011) รายงานว่าเมล็ดของถั่วดาวอินคา มีโปรตีนสูงถึง 33 เปอร์เซ็นต์ มีกรดอะมิโนจำเป็นทุกตัวที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก (FAO/WHO) (Gutierrez *et al.,* 2011) รายงานว่าเมล็ดถั่วดาวอินคาอุดมไปด้วยโปรตีน และกรดอะมิโนที่ต้องการในผู้ใหญ่ ปริมาณโปรตีนของถั่วดาวอินคา มีประมาณ 27 เปอร์เซ็นต์ และกรดอะมิโนจำเป็น เช่น ซีสเตอีน (Cysteine) ทรีโอนีน (Threonine) และทริปโตเฟน (Tryptophan) คล้ายกับโปรตีนจากเมล็ดงา ดอกทานตะวัน และถั่วลิสง ซึ่งมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 25, 24 และ 23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมล็ดถั่วดาวอินคามีกรดอะมิโนที่จำเป็นเพียงพอ ยกเว้นฮีสติดีน (Histidine) เมื่อเทียบกับที่องค์การอนามัยโลก (FAO/WHO) แนะนำเมล็ดถั่วดาวอินคา มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 30.9 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณไม่มากนักเพราะองค์ประกอบสำคัญเป็นปริมาณน้ำมันและโปรตีนที่สูง เมล็ดถั่วดาวอินคาให้พลังงาน 576 กิโลแคลลอรี่/100 กรัม องค์ประกอบทางเคมีโดยเฉลี่ยของเมล็ดถั่วดาวอินคา (ตารางที่ 1) เมล็ดถั่วดาวอินคายังมีส่วนประกอบพวกแร่ธาตุด้วยจำนวนมาก เช่น โพเทสเซียม พบมากที่สุดปริมาณ 5,563.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แมกนีเซียม 3,210 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แคลเซียม 2,406 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เหล็ก 103.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และสังกะสี 49 มิลลิกรัม/กิโลกรัม พบโซเดียมและคอปเปอร์ปริมาณเล็กน้อย อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของดินที่ปลูกมีผลกระทบต่อองค์ประกอบของแร่ธาตุของเมล็ดถั่วดาวอินคา เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันอื่น เช่น เมล็ดฝ้าย เมล็ดลินซีด ถั่วลิสง และเมล็ดทานตะวัน พบว่าเมล็ดถั่วดาวอินคา มีปริมาณสังกะสีสูงกว่าและมีปริมาณโซเดียม คอปเปอร์

และเหล็กต่ำกว่า องค์ประกอบด้านปริมาณแร่ธาตุของเมล็ดถั่วดาวอินคา (ตารางที่ 1 และ 2) เมล็ดถั่วดาวอินคายังมีวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิด เช่น วิตามินเอ วิตามิน อี และไอโอดีน (อุดมวิทย์ ไวทยการ และคณะ, 2557)

**ตารางที่ 1** คุณค่าทางอาหารของเมล็ดถั่วดาวอินคา

| Proximate | Content (%) |
|---|---|
| Moisture | 3.3±0.3 |
| Lipids | 42.0±1.1 |
| Protein | 24.7±0.5 |
| Ash | 4.0±0.7 |
| Total carbohydrate | 30.9±0.6 |

ที่มา: Gutierrez *et al.,* (2011)

**ตารางที่ 2** ปริมาณแร่ธาตุของเมล็ดถั่วดาวอินคา

| Composition | Content (mg/100g) |
|---|---|
| Potassium | 5563.5±6.4 |
| Magnesium | 3210.0±21.2 |
| Calcium | 2406.0±7.1 |
| Iron | 103.5±8.9 |
| Zinc | 49.0±1.1 |
| Sodium | 15.4±0.5 |
| Cooper | 12.9±0.3 |

ที่มา: Gutierrez *et al.,* (2011)

Hans-Peter (2011) รายงานปริมาณโปรตีนและกรดไขมันที่สำคัญของเมล็ดถั่วดาวอินคาเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น พบว่า เมล็ดถั่วดาวอินคา มีปริมาณน้ำมันและโปรตีนสูงกว่ามะกอก ถั่วเหลือง ข้าวโพด ถั่วลิสง ทานตะวันและปาล์ม (ตารางที่ 3) นอกจากนี้เมล็ดและน้ำมันถั่วดาวอินคามีศักยภาพสามารถนำไปใช้ทางการแพทย์ช่วยลดคอเลสเตอรอล โรคความดันโลหิตสูง โรคข้ออักเสบ โรคมะเร็งบางอย่าง เช่น มะเร็งเต้านม มะเร็งต่อมลูกหมาก เป็นต้น ยังมีแนวโน้มนำมาใช้ประโยชน์ในการรักษาผู้ป่วยที่มีสมาธิสั้น (Attention deficit hyperactivity disorder) โรคนี้เกี่ยวข้องกับการมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่ำในพลาสมาและเซลล์เม็ดเลือดแดง ในประเทศเยอรมนีมีการรักษาโรคสมาธิสั้นในเด็กโดยการเพิ่มกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเลือด รักษาโรคข้ออักเสบเกี่ยวข้องกับการที่พรอสตาแกลนดิน (Prostaglandins) เป็นส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวส่งผลเชิงบวกต่อการรักษา

**ตารางที่ 3** ปริมาณโปรตีน และกรดไขมันที่สำคัญของถั่วดาวอินคาเปรียบเทียบกับเมล็ดน้ำมันชนิดอื่น

| (%) | Dow Inca peanut | Palm | Olive | Soybean | Corn | Peanuts | Sunflower |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Protein | 33 | - | 2 | 28 | 13 | 23 | 24 |
| oil | 54 | 56 | 22 | 19 | 6 | 45 | 48 |
| Palmitic acid | 4.2 | 45 | 13 | 10.7 | 11 | 12 | 7.5 |
| Stearic acid | 2.5 | 4 | 3 | 3.3 | 2 | 2 | 5.5 |
| Oleic acid | 8.4 | 40 | 71 | 22.3 | 28 | 43.3 | 29.3 |
| Linoleic acid | 34.1 | 10 | 10 | 54.5 | 58 | 36.8 | 57.9 |
| Linolenic acid | 50.4 | - | 1 | 8.3 | 1 | - | - |

ที่มา: Hans-Peter *et al.,* (2011)

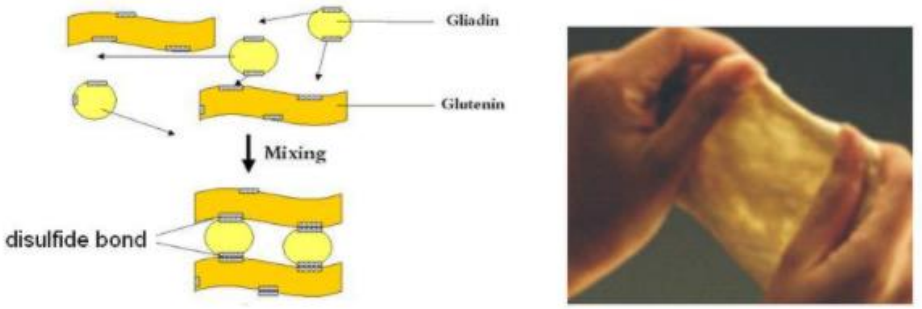
**2.2.1 โปรตีน**

โปรตีนเป็นสารประกอบชีวเคมี ประกอบด้วยพอลิเพปไทด์หนึ่งสายหรือมากกว่าพับกันเป็นรูปทรงกลมหรือเส้นใยโดยทำหน้าที่อำนวยกระบวนการทางชีววิทยา พอลิเพปไทด์เป็นพอลิเมอร์สายเดี่ยวที่เป็นเส้นตรงของกรดอะมิโนที่เชื่อมเข้ากันด้วยพันธะเพปไทด์ระหว่างหมู่คาร์บอกซิลและหมู่อะมิโนของกรดอะมิโนเหลือค้างที่อยู่ติดกัน ลำดับกรดอะมิโนในโปรตีนกำหนดโดยลำดับของยีน ซึ่งเข้ารหัสในรหัสพันธุกรรม โดยทั่วไปรหัสพันธุกรรมประกอบด้วยกรดอะมิโนมาตรฐาน 20 ชนิด เช่น อารจินีน (Arginine), ฮีสทิดีน (Histidine), ไอโซลิวซีน (Isoleucine), ลิวซีน (Leucine), ไลซีน (Lysine), เมทิโอนีน (Methionine), เฟนิลอะลานีน (Phenylalanine), เทรโอนีน (Threonine), ทริปโทเฟน (Tryptophan), และวาลีน (Valine) ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ (Turabi *et al.,* 2010)

**2.2.2 กลูเตน**

กลูเตน (Celiac disease) หรือไกลโคโปรตีน (Glycoproteins) พบในส่วนเอนโดสเปอร์มของธัญพืชบางชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโพด เกิดจากการรวมตัวของโปรตีนกลูเตนิน (glutenin) และไกลอะดิน (gliadin) ในสัดส่วนเท่ากัน โดยจะสร้างพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) ทำให้กลูเตนมีลักษณะเหนียว และยืดหยุ่น (ภาพที่ 2) ไม่ละลายในน้ำ โดยทั่วไปกลูเตนสกัดได้จากแป้งข้าวสาลี มาผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมทำให้เกิดโด (dough) แล้วนำโดที่ได้มาล้างด้วยน้ำ เป็นส่วนประกอบหลักในโปรตีนของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ กลูเตนสามารถเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นโดยยีสต์ หรือผงฟู เพื่อรักษารูปทรงของผลิตภัณฑ์ เช่น ขนมปัง โดนัท และขนมเค้ก ปัจจุบันพบโรคแพ้โปรตีนจากข้าวสาลี หรือ กลูเตน ตั้งแต่แรกเกิดถึงวัยชราพบมากขึ้นทุกปี โรคแพ้กลูเตน คือ โรคที่มีปัญหาในการย่อยกรดอะมิโนที่พบในส่วนของโปรตีนโปรลามิน (prolamin) พบในข้าวสาลี ข้าวไรน์ และข้าวบาร์เลย์ โปรลามินทำลายเยื่อบุของลำไส้เล็กส่งผลให้การดูดซึมของสารอาหารที่ลำไส้เล็กน้อยลง (Turabi *et al.,* 2010) หลังรับประทานผลิตภัณฑ์ที่มีกลูเตนเข้าไปทำให้ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายสร้างแอนติบอดี้ (antibody) ต่อต้านโปรตีนดังกล่าวส่งผลให้เยื่อบุของลำไส้เล็กถูกทำลาย ดังนั้นผู้ป่วยด้วยโรคแพ้กลูเตนจึงไม่สามารถดูดซึมสารอาหารได้ ดังนั้นจึงต้องหลีกเลี่ยงผลิตภัณฑ์ที่มีกลูเตนเป็นองค์ประกอบ (Demirkesen *et al.,* 2010) แนวทางการรักษา

โรคแพ้กลูเตน คือรับประทานอาหารที่ปราศจากกลูเตน (gluten-free diet) และหลีกเลี่ยงอาหารที่มีสวนผสมของกลูเตน ข้าวสาลีเป็นหนึ่งในองค์ประกอบหลักที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นส่วนผสมสำคัญของผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Jagersberger *et al.,* 2013)



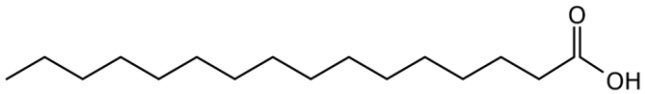

**ภาพที่ 2** การยึดกันของโปรตีนไกลอะดินและกลูเตนินด้วยพันธะไดซัลไฟท์ เกิดเป็นกลูเตนที่เหนียวและยืดหยุ่น
ที่มา : Turabi *et al.,* (2010)

**2.2.3 ลิปิด**

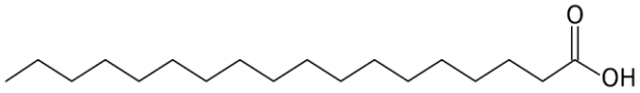
ลิพิดเป็นสารประกอบชีวโมเลกุลชนิดหนึ่งที่พบได้ทั้งในพืช และสัตว์เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์หรือเซลล์เมมเบรน โดยรวมอยู่กับโปรตีนเกิดเป็นลิโพโปรตีน และรวมอยู่กับคาร์โบไฮเดรตเรียกว่า ไกลโคลิปิดเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูง ลิพิดเป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดที่ไม่มีขั้วหรือนอนโพลาร์เล็กน้อย เช่น แอลกอฮอล์ และอะซีโตน ยกเว้นกรดไขมันที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ และสามารถละลายไดในน้ำ (รัฐพงศ ปกแกว, 2552) ลิปิดแบ่งออกได้หลายประเภท ส่วนใหญ่ประกอบด้วยองค์ประกอบที่เรียกว่ากรดไขมัน (Fatty acid) (สุกัญญา สุนทรส, 2553) กรดไขมันอิสระประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ ปลายเมธิล (Methyl end) ลูกโซ่คาร์บอน (Carbon chain) และปลายคาร์บอกซิล (Carboxy end) การจำแนกกรดไขมันตามจำนวน C บน carbon chain คาร์บอน 4-8 เป็น Short chain fatty acids คาร์บอน 10-12 อะตอม เป็น Medium chain fatty acids คาร์บอน 14-24 อะตอม เป็น Long chain fatty acids และการจำแนกกรดไขมันตามลักษณะของพันธะในสายลูกโซ่คาร์บอน แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ในสายโซ่คาร์บอนจับกันด้วยพันธะเดี่ยว เรียกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids) และกลุ่มที่ในสายโซ่คาร์บอนจับกันด้วยพันธะเดี่ยวและพันธะคู่เรียกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids)

กรดไขมัน แบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้ 2 ประเภท (ธีรศักดิ์ ปั้นวิชัย, 2565) ดังนี้

2.2.3.1 กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) โครงสร้างประกอบด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด ซึ่งกรดไขมันที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนตั้งแต่ 10 อะตอมขึ้นไป จะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าอุณหภูมิห้อง เช่น Palmitic acid (16:0), Stearic acid (18:0) (ภาพที่ 3) เป็นต้น



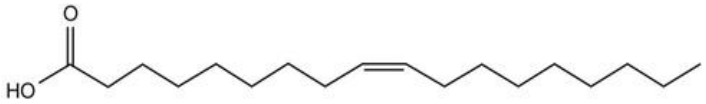

(ก)



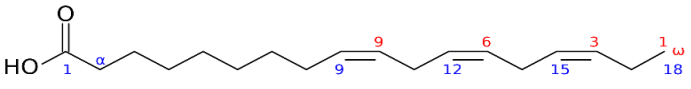

(ข)

**ภาพที่ 3** กรดไขมันอิ่มตัว (ก) Palmitic acid (16:0), (ข) Stearic acid (18:0)
ที่มา : (Gunstone *et al.,* 2007)

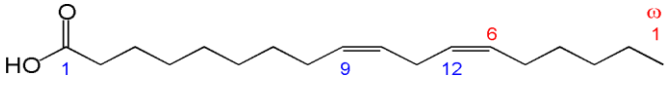
2.2.3.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) โครงสร้างมีพันธะคู่ตั้งแต่ 1-5 พันธะ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ Monounsaturated (ไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว) เช่น Oleic acid (18:1, n-9) (ภาพที่ 4) และ Polyunsaturated (ไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน) เช่น Linoleic acid (18:2, n-6), Linolenic acid (18:3, n-3) (ภาพที่ 5), EPA (20:5, n-3), DHA (22:6, n-3), Arachidonic acid (20:4, n-6) ซึ่งในถั่วดาวอินคาเป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็นประเภทโอเมก้า 3, 6 และ 9 สูง




**ภาพที่ 4** กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว Oleic acid (18:1, n-9)
ที่มา : (Gunstone *et al.,* 2007)




(ก)




(ข)

**ภาพที่ 5** กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (ก) Linolenic acid (18:3, n-3), (ข) Linoleic acid (18:2, n-6)
ที่มา : (Loreau *et al.,* 2020)

กรดไขมันโอเมก้า 3 เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่ (double bond) ของอะตอมคาร์บอน (C=C) เริ่มจากอะตอมคาร์บอนที่สามนับจากปลายห่วงโซ่คาร์บอน กรดไขมันโอเมก้า 3 จัดเป็นกรดไขมันชนิดดี ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกาย และเป็นส่วนประกอบที่ช่วยให้เนื้อเยื่อของเซลล์มีการเจริญเติบโต โอเมก้า 3 สามารถเปลี่ยนแปลงจากกรดอัลฟาไลโลเลนิก เรียกได้ว่าเป็นสารตั้งต้นของกลุ่มโอเมก้า 3 ที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดคือ กรดไอโคซาเพนทาอีโนอิกและกรดโดโคซาเฮกซาอีโนอิค (DHA, Docosahexa0enoic Acid) แม้ว่าร่างกายของเราจะสามารถเปลี่ยนกรดอัลฟาไลโนเลนิก (ALA) ไปเป็นกรดไอโคซาเพนโทอีโนอิก (DHA) ได้ก็ตาม แต่ยังมีสัตว์อื่นเช่น ปลาที่สามารถแปลงกรด ALA เป็นกรด EPA และ DHA ได้ดีกว่า คือได้จำนวนมากกว่ามนุษย์ สำหรับแหล่งที่มาของไขมันชนิดนี้ ซึ่งเป็นที่รู้กันว่าจะต้องเป็นปลาน้ำลึก เช่น ปลาแซลมอน ปลาเทราต์ ปลาซาร์ดีน ปลาทูน่า ปลาแมคเคอเรล เป็นต้น นอกจากนั้นก็ยังสามารถพบ โอเมก้า 3 ได้ในพืชน้ำมัน เช่น วอลนัท ถั่วเหลือง และถั่วดาวอินคา เป็นต้น การรับประทานอาหารที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 อย่างเหมาะสมจะทำให้ร่างกายทำงานได้ปกติร่างกายของเราจำเป็นต้องมีระดับคอลเลสเตอรอลชนิดดีและมีประโยชน์ ดังนี้ ช่วยลดการตอบสนองของร่างกายต่อการอับเสบ ลดอัตราการเป็นโรคหัวใจ และมะเร็ง ช่วยบำรุงระบบประสาทและสายตา ช่วยความจำความสามารถของสมองอารมณ์และพฤติกรรมการเรียนรู้ การคิด การจดจำ และการพัฒนาสมองในวัยเด็ก รวมทั้งช่วยลดการอุดตันของหลอดเลือด ซึ่งลดอาการหัวใจวายและสมองขาดเลือดได้

กรดไขมันโอเมก้า 6 เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่หลายอันโดยมีตำแหน่งของพันธะคู่แรกที่ตำแหน่ง 6 นับจากคาร์บอนของกรดไขมันด้านปลายที่มีหมู่เมทิล สำหรับแหล่งที่มาของกรดไขมันกลุ่มนี้ได้จากน้ำมันพืช เช่น ถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวัน รำข้าว จมูกข้าว มีประโยชน์ คือ เป็นสารตั้งต้นของการสร้างสารพรอสสตราแกลนดิน มีผลดีต่อสุขภาพ คือลดการทำงานของเกร็ดเลือด ทำให้เกิดไขมันอุดตันในหลอดเลือดน้อยลงทำให้ เลือดไหลเวียนได้ดีขึ้น และหัวใจทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลและลโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ เพิ่มลิโพที่มีความหนาแน่นสูง ช่วยลดอาการอับเสบต่าง ๆ ช่วยรักษาความชุ่มชื้นให้เซลล์ผิวหนัง ลดอาการแห้งกร้านแตกขุย ริ้วรอยต่าง ๆบนผิว รวมถึงรักษาอาการทางผิวหนังบางชนิด เช่น ผื่นผิวหนังเรื้อรัง ผิวลอกเป็นเกล็ด รังแค ผมร่วง เป็นต้น กรดไขมันโอเมก้า 9 เป็นกรดไขมันไม่จำเป็น ร่างกายสามารถสังเคราะห์ได้เอง ถ้าร่างกายขาดโอเมก้า 3 และ6 จะดึงกรดไขมันโอเมก้า 9 มาใช้แทน แต่ถ้าร่างกายขาดไขมันโอเมก้า 9 หรือมีในปริมาณไม่เพียงพอ แสดงอาการผิดปกติ ได้แก่ ผมร่วง มีรังแค ผิวแห้ง การเต้นของหัวใจผิดปกติ เจ็บตามข้อ เป็นต้น นอกจากนี้กรดไขมันโอเมก้า 9 ช่วยลดคอลเลสเตอรอลชนิดไม่ดี (LDL) และช่วยเพิ่มคอลเลสเตอรอลชนิดดี (HDL) ซึ่งเป็นคอลเลสเตอรอลที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ช่วยลดไตรกลีเซอไรด์ มีผลทำให้ระบบไหลเวียนโลหิตในร่างกายทำงานได้ปกติ หัวใจ สมอง ตับ ไต ทำงานได้ดีขึ้น ป้องการโรคหัวใจและกลุ่มหลอดเลือดแตก ตีบ ตันได้ กรดไขมันชนิดนี้สามารถพบได้ทั้งในพืช และสัตว์ เช่น น้ำมันมะกอก คาโนลา เป็นต้น

ชัชวาล โชติมากร (2562) รายงานว่าน้ำมันเมล็ดถั่วดาวอินคาสกัดเย็นมีกรดไขมันหลักที่เป็นส่วนประกอบจำนวน 5 ชนิด คือ palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), oleic acid (C18:1 n9),linoleic acid (C18:2) และ $\alpha$-Linolenic acid (C18:3) รวมกันในสัดส่วน 97.70$\pm$2.13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกรดไขมันชนิด $\alpha$-Linolenic acid และ linoleic acid มีปริมาณสูงถึง 47.04$\pm$2.03

และ 34.98±1.14เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และกรดไขมันทั้ง 2 ชนิดนี้รวมกันในปริมาณ 82.02±3.12 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4)

**ตารางที่ 4** องค์ประกอบของกรดไขมันจากน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยวิธีสกัดเย็น

| Fatty acid type | Yield (%) | Neutral lipid(%) | Free fatty (%) | Phospholipid (%) |
|---|---|---|---|---|
| palmitic acid (C16:0) | 3.98±0.02 | 3.63±0.01 | 3.33±0.02 | 28.22±0.05 |
| stearic acid (C18:0) | 3.12±0.01 | 3.90±0.01 | 3.34±0.01 | 13.69±0.07 |
| oleic acid (C18:1 n9) | 8.58±0.13 | 8.25±0.23 | 8.23±0.26 | 8.22±0.32 |
| Linoleic acid (C18:2) | 34.98±1.44 | 35.24±1.35 | 33.46±1.34 | 41.36±1.45 |
| α-Linolenic acid | 47.04±2.03 | 48.98±1.95 | 51.67±2.44 | 8.51±0.44 |

ที่มา : ชัชวาล (2562)

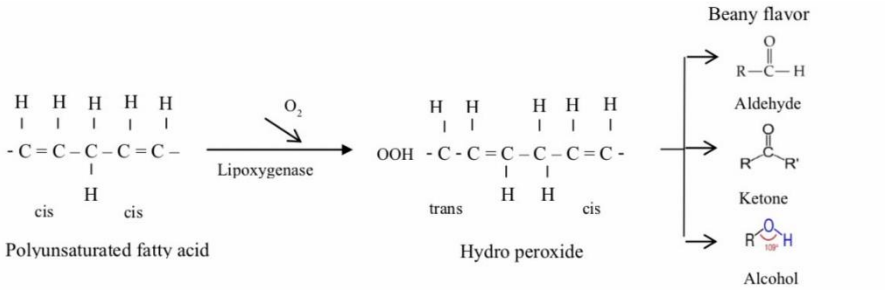
**2.3 แป้งถั่วดาวอินคา**

การนำเมล็ดถั่วดาวอินคามาสกัดน้ำมันด้วยกระบวนการบีบ จะมีผลพลอยได้ผลิตเป็นแป้งถั่วดาวอินคา โดยนำเมล็ดถั่วดาวอินคาทำความสะอาด กะเทาะเปลือกออกจากเมล็ด เลือกเมล็ดที่สมบูรณ์สกัดน้ำมันโดยการบีบด้วยไฮโดรลิก (Cold pressing with hydraulic press) ได้น้ำมันถั่วดาวอินคา (Extra virgin oil) และได้ส่วนกากที่บีบน้ำมันออกแล้ว (Press cake) จากนั้นนำส่วนกากนี้มาบีบน้ำมันออกอีกด้วยการผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรู (Expeller) และลำเลียงกากโดยการอัดผ่านเกลียว (Extrusion) จะได้กากถั่วดาวอินคาที่มีลักษณะเป็นแผ่นแห้ง (Dehydrated pellets) นำมาอบแห้งและบดเป็นผงละเอียด ร่อนผ่านกะแกรงขนาด 80 เมช จนได้เป็นแป้งถั่วดาวอินคาโปรตีนสูง ซึ่งมีโปรตีน 56.63 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 20.57 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 8.61 เปอร์เซ็นต์ ใยอาหารทั้งหมด 4.14 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 5.45 เปอร์เซ็นต์ และสารประกอบฟีนอลิก 155.41 มิลลิกรัม/100 กรัม (Jagersberger *et al.,* 2013)

**2.4 กลิ่นถั่ว**

พืชตระกูลถั่วส่วนใหญ่มีคุณค่าทางอาหารสูง โปรตีนที่สกัดจากถั่วสามารถนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลายชนิด แต่ปัญหาที่พบ คือ ถั่วจะมีกลิ่นถั่ว (Beany odor) หรือกลิ่นหญ้า (Grass odor) เป็นลักษณะเฉพาะตัวที่ไม่พึงประสงค์ ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค พบในถั่วหลายชนิด เช่น ถั่วเหลือง (Soybean) และถั่วหรั่ง (Bambara groundnut) เป็นต้น (สุมาลี ปัญญาจิรวุฒิ, 2554) สาเหตุของการเกิดกลิ่นถั่ว หรือกลิ่นรสถั่ว (Beany flavor) เกิดจากสารประกอบแอลดีไฮด์ n-hexanal และ pentanal ระหว่างกระบวนการผลิตเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในถั่ว เช่น กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid: C18:2) และกรดลิโนเลนิก (Linolenic acid: C18:3) อาศัยเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส (Lipoxygenase) ที่มีอยู่ในถั่วได้ผลิตภัณฑ์เป็นไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (Hydro-peroxide) (ภาพที่ 6) ส่งผลให้เกิดกลิ่นผิดปกติ (Off-flavor) (Achouri *et al.,* 2006) กลิ่นของถั่วเป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compound) เช่น ถั่วเหลืองดิบจะมีจำนวนของสารประกอบพวกแอลกอฮอล์สูงโดยเฉพาะ n-hexanol ในโปรตีนถั่วเหลืองตัวสำคัญ

ที่ทำให้เกิดกลิ่นคือ n-heptanol และ n-hexanol (Aria, 1970) และในถั่วเหลืองยังมีสารประกอบพวก Ethyl vinyl ketone ทำให้เกิดกลิ่นถั่วได้เช่นกัน (Mattick *et al.,* 1969) Kudre และคณะ (2013) รายงานแป้งถั่วหรั่ง มีองค์ประกอบของหมู่อัลดีไฮด์ (Medium chain aldehyde) เพนทานอล (Pentanol) เฮกซานอล (Hexanol) และเฮปทานอล (Heptanol) ทำให้มีกลิ่นถั่วที่ไม่พึงประสงค์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจากการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิจิเนส (Lipoxygenase)

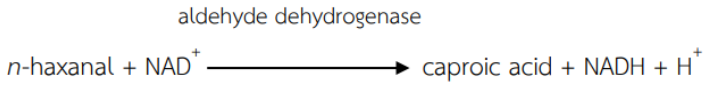



**ภาพที่ 6** ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ Lipoxygenase
ที่มา: Jiang *et al.,* (2016)

**2.5 วิธีการกำกัดกลิ่นถั่ว**

แนวทางในการกำจัดหรือลดกลิ่นถั่วในผลิตภัณฑ์แป้ง สามารถทำได้โดยวิธีการใช้ความร้อน (Heat treatment) เช่น การอบ (Roasting) การนึ่งด้วยไอน้ำ (Steaming) และวิธีไม่ใช้ความร้อน (Non-heat treatment) เช่น การแช่ในตัวทำละลาย และการใช้เอนไซม์ (Shin *et al.,* 2013; Kudre *et al.,* 2013; ลูกจันทร์ ภัครัชพันธุ์ และสุชาติ ภูษณะดิลก, 2525) แต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อด้วยแตกต่างกันไป การใช้ตัวทำละลาย มีข้อด้อยคือ ตัวทำละลายมักจะตกค้างแล้วทำให้มีผลต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ ตัวทำละลายบางชนิดถ้ากำจัดได้ไม่หมด อาจเป็นอันตรายกับร่างกายได้ (ลูกจันทร์ ภัครัชพันธุ์ และสุชาติ ภูษณะดิลก, 2525) ในขณะที่การลดกลิ่นถั่วในผลิตภัณฑ์แป้งโดยวิธีการให้ความร้อนมีข้อดี คือ เป็นวิธีที่ง่าย ไม่ต้องมีการใช้สารเคมีจึงช่วยลดการตกค้างของสารเคมีที่ไม่พึงประสงค์ได้ เป็นวิธีที่มีศักยภาพในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แป้ง (Marston *et al.,* 2016) Eldridge และคณะ (1977) รายงานถึงการปรับปรุงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองโดยใช้ วิธีการแช่ถั่วหรือบดถั่วในสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ พบว่าเมื่อใช้สารละลายแอลกอฮอล์เข้มข้น 40-60 เปอร์เซ็นต์ แช่ถั่วที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ปฏิกิริยา Lipoxygenase ในถั่วเหลืองลดลง ขณะเดียวกันการละลายของโปรตีน (Protein solubility index) ลดลงด้วย ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่ากลิ่นถั่ว กลิ่นเหม็นเขียว และรสขมลดลง และเมื่อทดสอบกับถั่วอื่น ๆ เช่น ถั่วลิสงพบว่าการแช่ในสารละลายแอลกอฮอล์ช่วยลดกลิ่นถั่วลงได้เช่นเดียวกัน Borhan และคณะ (1979) พบว่าถ้าแช่ถั่วเหลืองในสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 15 ถึง 45 ที่ อุณหภูมิ 40 ถึง 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ถึง 6 ชั่วโมง จะได้ถั่วเหลืองที่มีดัชนีการละลายได้ของโปรตีนสูงสุด และเอนไซม์ Lipoxygenase ลดลงมากที่สุด ถ้าเพิ่ม pH ของสารละลายที่แช่ทำให้อัตราการทำลายเอนไซม์ Lipoxygenase เพิ่มขึ้น และถ้ามีเกลือ carbonate ในน้ำที่แช่จะทำให้การละลาย

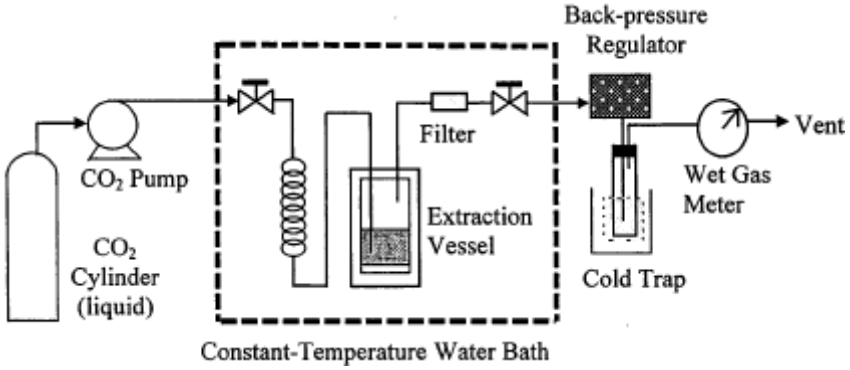
ของโปรตีนเพิ่มขึ้นอีกด้วย Hui (2006) รายงานการแก้ปัญหากลิ่นถั่วที่เกิดจากสารระเหย n-hexanal และ n-pentanal เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเอนไซม์ Lipoxygenase ที่มีอยู่ในถั่วเหลืองนั้น สามารถแก้ไขได้โดยการใช้เอนไซม์ Aldehyde dehydrogenase (ภาพที่ 7) Schroder และคณะ (1972) รายงานการลดกลิ่นถั่วในเต้าหู้โดยบดถั่วด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และทำให้ร้อนถึง 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที เมื่อกรองแยกกากถั่วออก อุณหภูมิจะลดลง 80 องศาเซลเซียส แล้วตกตะกอนด้วย $CaSO_4$ จะได้เต้าหู้ที่มีกลิ่นถั่วน้อยกว่าเต้าหู้ที่ได้จากการบดถั่วในน้ำเย็นธรรมดา




**ภาพที่ 7** การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของ n-haxanal โดยเอนไซม์ aldehyde dehydrogenase
ที่มา: Hui (2006)

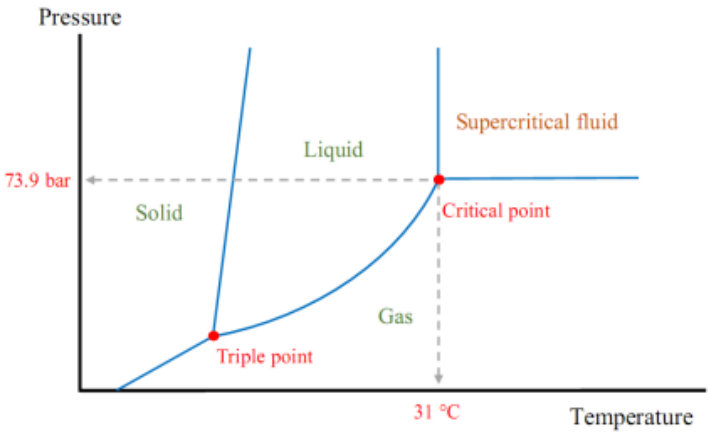
**2.6 การสกัดสารด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด (Supercritial Carbon Dioxide : SCCO2)**

ปัจจุบันการแยกองค์ประกอบของสารด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด (Supercritial Carbon Dioxide : $SCCO_2$) เป็นที่นิยมเป็นอย่างมาก การสกัดสารด้วยเทคนิค $SCCO_2$ เป็นการสกัดสารแบบใหม่ประสิทธิภาพการสกัดสูงใช้ระยะเวลาสั้น ได้สารสกัดปริมาณมากมีความบริสุทธิ์ และไม่มีสารเคมีปนเปื้อน (GE. Y *et al.,* 2002) $SCCO_2$ เป็นเทคโนโลยีสะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถเลือกสกัดสารที่ต้องการได้ และป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นระหว่างการสกัด ลดการเสื่อมคุณภาพ สามารถใช้ในการสกัดแยกองค์ประกอบของกรดไขมัน สารสำคัญที่มีมูลค่าสูง Pro-vitamin A ในปาล์มน้ำมัน และสารประกอบเรซินในพืชกัวยูล (Punvichai *et al.,* 2016)




**ภาพที่ 8** เครื่องสกัด Supercritical $CO_2$
ที่มา : (Smith *et al.,* 1987)

หลักการพื้นฐานของของเหลวยิ่งยวด (Supercritical fluid) สถานะของสารสามารถอยู่ในรูปของของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ขึ้นอยู่กับความดัน และอุณหภูมิ จะมีอยู่หนึ่งจุดที่สารมีพื้นที่ข้ามกันในสามสถานะเป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ และเหนือจากสถานะความเป็นไอและของเหลวเรียกว่าจุดวิกฤต หรือ Critical point (Pc) ซึ่งอุณหภูมิ และความดันในจุดนี้ช่วยในการสกัดสารประกอบอินทรีย์ที่คงสภาพและไม่เกิดการสูญเสียองค์ประกอบระหว่างกระบวนการสกัด (ภาพที่ 8) Supercritical $CO_2$ จุดวิกฤตของอุณหภูมิ (Tc) มีค่าเท่ากับ 31 องศาเซลเซียส และจุดวิกฤตของความดัน (Pc) มีค่าเท่ากับ 73.9 Bar (ภาพที่ 8) ปัจจุบันเป็นที่นิยมแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารและยา มีการใช้ Supercritical $CO_2$ ที่ระดับความดัน และอุณหภูมิต่าง ๆ ช่วยเลือกในการสกัดองค์ประกอบของสาร เพิ่มมูลค่าและเป็นวิธีการที่ป้องกันการเสื่อมเสียขององค์ประกอบสารได้ดี เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Punvichai *et al.,* 2016; Smith *et al.,*1987)




**ภาพที่ 9** เฟสไดอะแกรมของคาร์บอนไดออกไซด์
ที่มา : (Smith *et al.,* 1987)

Luis A *et al*., (2009) ศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิค $SCCO_2$, ตัวทำละลาย (Soxhlet) และ Cold Pressing (ตารางที่ 5) พบว่าน้ำมันถั่วดาวอินคาที่ได้จาก $SCCO_2$ มีปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นตามความดันที่ใช้ในการสกัดสำหรับทุกอุณหภูมิ และมีปริมาณสูงสุด คือ 50.1 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 400 บาร์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และมีปริมาณโอเมก้า 3 และ 6 สูง มีค่าเท่ากับ 50.45 และ 34.12 ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

**ตารางที่ 5** ปริมาณน้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิค $SCCO_2$, Soxhlet และ Cold Pressing

| Temperature (°C) | Pressure (bar) | Oil yield (g oil/100 g seeds) |
|---|---|---|
| 40 | 300 | 43.6 ± 0.3 |
| | 400 | 45.7 ± 0.9 |
| 50 | 300 | 41.9 ± 0.2 |
| | 400 | 46.4 ± 0.5 |
| 60 | 300 | 44.7 ± 0.7 |
| | 400 | 50.1 ± 0.6 |
| Soxhlet (hexane) | | 54.3 ± 2.0 |
| Cold Pressing | | 38.4 |

ที่มา : (Luis A *et al.,* 2009)

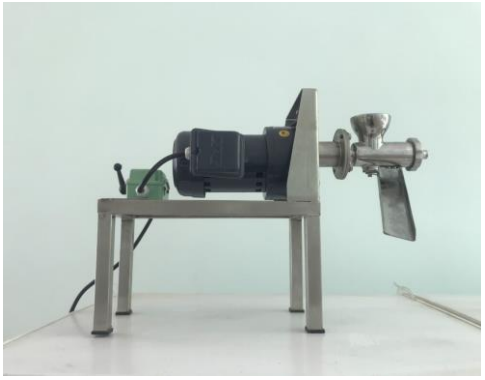
**ตารางที่ 6** ปริมาณโอเมก้า 3 และ6 น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิค $SCCO_2$ ความดัน 300 บาร์ อุณหภูมิ 40 °C

| Extraction method | Fatty acid (% of total fatty acids) | |
|---|---|---|
| | C18:3 | C18:2 |
| $SCCO_2$ | 50.45 | 34.12 |
| Soxhlet | 50.41 | 34.08 |

ที่มา : (Luis A *et al.,* 2009)

**2.7 การสกัดด้วยการบีบอัด (Mechanical pressing)**

เป็นการบีบสกัดด้วยความดันสูงเพื่อให้เหลือปริมาณน้ำมันในกากน้อยที่สุด เรียกการบีบแบบนี้ว่า Full press การบีบอัดใช้กับวัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำมันสูง (มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์) ได้แก่ ถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย งา และมะพร้าว เป็นต้น การใช้เครื่องบีบแบบสกรูเพลส (ภาพที่ 10) จะบีบน้ำมันออกจากวัตถุดิบโดยความดัน โรงงานสกัดน้ำมันพืชส่วน ใหญ่นิยมใช้เครื่องบีบแบบสกรูเพราะมีการทำงานต่อเนื่อง การบีบด้วยสกรูจะมีน้ำมันเหลือตกค้างในกากประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์



**ภาพที่ 10** เครื่องบีบสกัดน้ำมันแบบสกรูเพรส

**2.8 การตกผลึกแยกกรดไขมันอิ่มตัว**

การตกผลึกโดยใช้อุณหภูมิต่ำของน้ำเย็นเป็นวิธีการแยกไขมันที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันบริโภคเนื่องจากใช้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่ำที่สุด และกรรมวิธีการผลิตที่ไม่ซับซ้อน เป็นวิธีที่ใช้กันมานาน การตกผลึกด้วยอุณหภูมิต่ำให้ความเย็นกับไขมันเพื่อให้เกิดการตกผลึกแยกส่วนไขมันแข็งหรือไขมันอิ่มตัว และน้ำมันเหลว ออกจากไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมัน ในผลิตภัณฑ์น้ำมันจะประกอบไปด้วยกรดไขมันหลายชนิด เช่น กรดไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัวกรดไขมันที่มีสายโซ่ยาว และสายโซ่สั้นทำให้น้ำมันแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ แตกต่างกัน ไตรกลีเซอร์ไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะตกผลึกเป็นของแข็งก่อน เรียกว่า สเตรียริน (stearins) และไตรกลีเซอร์ไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำตกผลิตภายหลัง และส่วนของของเหลวที่ได้หลังจากการแยกผลึกออกแล้ว เรียกว่า โอเลอิน (Oleins) (ธีรศักดิ์ 2565; Bussey *et al.,* 1981)

# บทที่ 3

# วิธีการวิจัย

## 3.1 วัสดุอุปกรณ์

### 3.1.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

1. เครื่องบีบสกัดไขมันน้ำมัน
2. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง METTLER รุ่น AE200
3. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง OHAUS รุ่น ARC120
4. เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน Rotary evaporator รุ่น BUCHI R300
5. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) SHEL LAB รุ่น 1375FX
6. ตู้ดูดไอสารเคมี (Fume Hood) รุ่น GT-240TA
7. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง Hewlett®Packard รุ่น G1103A
8. เครื่องอบแบบถาดหมุน (Tray Dryer)
9. เครื่องซุปเปอร์คริติคอล (supercritical fluid) รุ่น Spe-ed SFE-2
10. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี Gas Chromatography รุ่น 7890 A
11. หม้อนึ่งความดัน
12. เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Filter)
13. เครื่องวัดวอเตอร์แอคติวิตี (ยี่ห้อ Aqulab รุ่น CX3TE)
14. เครื่องวัดสี (Colorimemter) Hunter LAB รุ่น MiniScan XE Plus
15. เครื่อง Texture analyzer (TA-XT2i Stable Microsystems, UK.)

### 3.1.2 สารเคมี

1. Alcoholic potassium hydroxide solution
2. Phenolphthaein 1 % (w/v) ใน 95 % ethanol
3. Ethanol
4. ปิโตรเลียมอีเทอร์
5. Isopropyl Alcohol
6. Acetric acid
7. Chloroform
8. สารละลายโพสแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว
9. Cychlohexane
10. Mercuric acetate
11. Wijs solution
12. น้ำแป้ง

**3.2 วิธีดำเนินการ**

**3.2.1 การเตรียมตัวอย่างถั่วดาวอินคา และวิเคราะห์คุณภาพกายภาพและเคมี**

เก็บตัวอย่างเมล็ดถั่วดาวอินคาที่ปลูกจากสวนฟาร์มเรือนแก้ว อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมกราคม 2564 ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง (ภาพที่ 11) กะเทาะเปลือกแยกระหว่างเปลือกและเมล็ดในออกจากกัน ร่อนด้วยตะแกรงแยกเปลือกและสิ่งปนเปื้อน และชั่งคำนวณหาน้ำหนักรวม ปริมาณความชื้นไม่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์ เก็บใส่ถุงซิปล๊อคใส ขนาด 500 กรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส รอการทดลอง บดให้ละเอียดวิเคราะห์ปริมาณไขมันน้ำมัน คุณภาพทางกายภาพและเคมี โปรตีน กากใย เถ้า คาร์โบไฮเดรต กลูเต้น ปริมาณอะไมโลส ปริมาณน้ำอิสระ ค่าการดูดซึมน้ำ ปริมาณความชื้น ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxid value) ค่าไอโอดีน (Iodine value) ค่าสปอนนิฟิเคชั่น (Saponification value) และองค์ประกอบของกรดไขมันด้วยเทคนิค Gas chromatography (GC)

**ภาพที่ 11** เมล็ดถั่วดาวอินคาที่ผ่านการแยกเปลือก

**3.2.1.1 วิเคราะห์ความชื้น (Moisture content)**

ชั่งตัวอย่างถั่วดาวอินคา 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมที่อบแห้ง และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน อบที่อุณหภูมิ 100 ถึง 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง นำเอามาใส่ในโถดูดความชื้น (desiccator) ทิ้งไว้ให้เย็นที่ อุณหภูมิห้อง นำมาใส่โถดูดความชื้น (desiccator) หาปริมาณน้ำหนักของถ้วยที่แน่นอน บันทึกน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียม ตามสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้นฐานเปียก (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

**3.2.2.2 วิเคราะห์ปริมาณไขมันน้ำมันจากถั่วดาวอินคาด้วยวิธีตัวทำละลาย**

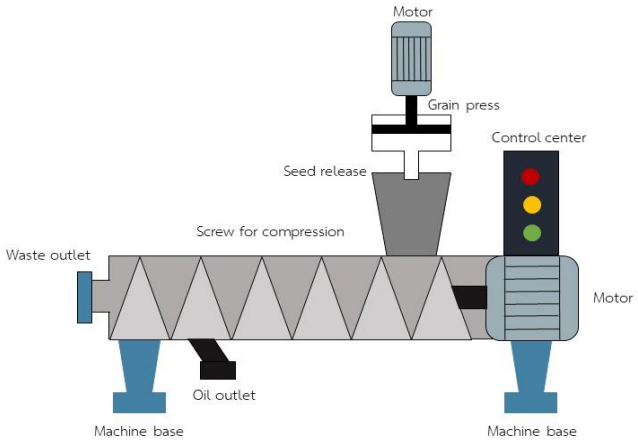
นำตัวอย่างถั่วดาวอินคาปริมาณ 10 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4 บรรจุใส่หลอดกระดาษสำหรับสกัด (Extraction Thimble) นำทิมเบิล ใส่ในชุดสกัดไขมันซอกห์เลต (Soxhlet extraction) ใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายบรรจุในขวดก้นกลม (Boiling flask) สกัดนาน 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็น แล้วนำขวดก้นกลมที่มีสารละลายรวมกับไขมัน น้ำมันที่สกัดได้ระเหยแยกตัวทำละลายเฮกเซนที่ความดันต่ำโดยเครื่องปั๊มสุญญากาศแบบโรตารี (Rotary vacuum) ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน คำนวณปริมาณน้ำมัน (% yield) ตามสูตร จากนั้นนำน้ำมันที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมีตามข้อ 3.2.4

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่สกัดได้ x 100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

**3.2.2.3 วิเคราะห์ปริมาณไขมันน้ำมันจากถั่วดาวอินคาด้วยวิธีการบีบสกัด**

นำตัวอย่างถั่วดาวอินคาปริมาณ 1,000 กรัม เปิดสวิชการทำงานของเครื่องบีบสกัด จากนั้นนำถั่วดาวอินคาใส่ในช่องตัวอย่างสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิ 27±29 องศาเซลเซียส น้ำมันถั่วดาวอินคาที่สกัดได้จะออกมาทางช่องใส่น้ำมัน ส่วนกากถั่วดาวอินคาออกมาทางช่องกากนำ น้ำมันถั่วดาวอินคาที่สกัดได้มากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Filter) โดยใช้ขนาดกระดาษกรองความละเอียด 0.46-0.50 มิลลิเมตร เพื่อแยกสิ่งปนเปื้อนที่มากับน้ำมัน ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน มาคำนวณปริมาณไขมัน (%) ตามสูตร นำน้ำมันที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมีตามข้อ 3.2.4

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่สกัดได้ x 100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$




**ภาพที่ 12** เครื่องบีบสกัดน้ำมันสกรูเพลส

**3.2.2.4 วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty acid: FFA)**

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างน้ำมันถั่วดาวอินคา 20 กรัม ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อุ่นสารละลายน้ำมันบนเตาให้ความร้อนจนสารละลายตัวอย่างใส เติมสารละลายฟีนอฟทาลีนความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล เขย่าให้เข้ากันจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูคงตัวอยู่ 30 วินาที คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ ตามสูตร

$$\text{FFA (\%)} = \frac{\text{ปริมาตรด่างที่ใช้ (มิลลิลิตร)} \times \text{ความเข้มข้นด่าง (นอร์มอล)} \times 25.6}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

**3.2.2.5 วิเคราะห์เปอร์ออกไซด์ (peroxide value)**

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างน้ำมันถั่วดาวอินคาปริมาณ 1.0 กรัม ในขวดรูปชมพู่ เติมสารตัวละลายอินทรีย์ผสมของ acetic acid และ chloroform ในอัตราส่วน 3:2 ปริมาตร 30.0 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันเติมสารละลายโพสแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัวปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟส ($Na_2S_2O_35H_2O$) เข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนกระทั่งสีเหลืองของสารละลายจางหายไป เติมน้ำแป้ง (Starch indicator) เข้มข้น 1% ประมาณ 0.5 มิลลิลิตร และไตเตรทต่อจนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป และนำค่าที่ได้คำนวณหาปริมาณเปอร์ออกไซด์ ตามสูตร

Peroxide value = $S \times M \times 1000$ / g sample

เมื่อ S = ml $Na_2S_2O_3$ (Blank corrected)

M = Molarity ของ $Na_2S_2O_3$ solution

**3.2.2.6 วิเคราะห์ไอโอดีน (Iodine Value)**

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างน้ำมันถั่วดาวอินคาปริมาณ 0.5 กรัม ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) เติม Cychlohexane 15 มิลลิลิตร, Wijs Solution 25 มิลลิลิตร, Mercuric acetate 10 มิลลิลิตร (Catalyst) ปิดจุก และเก็บไว้ในที่มืด 3 นาที เติม KI 10 เปอร์เซ็นต์ 20 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร หยดน้ำแป้งเป็น indicator ไตเตรทด้วย $Na_2S_2O_3$ 0.1 นอร์มอล จนถึงจุดยุติ คือสารละลายใสไม่มีสี นำค่าที่ได้คำนวณหาปริมาณไอโอดีน ตามสูตร

Iodine number = $(B\text{-}S) \times M \times 12.69$ / g sample

เมื่อ B = ml $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ในการไทเทรต Blank

S = ml $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ในการไทเทรต sample

M = Molarity ของ $Na_2S_2O_3$ solution

**3.2.2.7 วิเคราะห์ซาปอนนิฟเคชั่น (Saponification number)**

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างน้ำมันถั่วดาวอินคาปริมาณ 2 กรัม ใส flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปต Alcoholic potassium hydroxide solution 25 มิลลิลิตร ใสลงใน flask ตัวอยาง ปดจุกแลวตอ reflux condenser ทำการ reflux ประมาณ 60 นาที ใน boiling water bath นำสารใน flask มาไทเทรตดวย HCl standard solution นำค่าที่ได้คำนวณหาปริมาณซาปอนนิฟเคชั่น มีหน่วยเป็น mg KOH required to saponify 1 g fat ตามสูตร

| | | | |
|---|---|---|---|
| Saponification number | | = | 28.05 (B-S) / g sample |
| เมื่อ | B | = | ml 0.5 N HCl ที่ใชในการไทเทรต Blank |
| | S | = | ml 0.5 N HCl ที่ใชในการไทเทรต Sample |

**3.2.2.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid composition)**

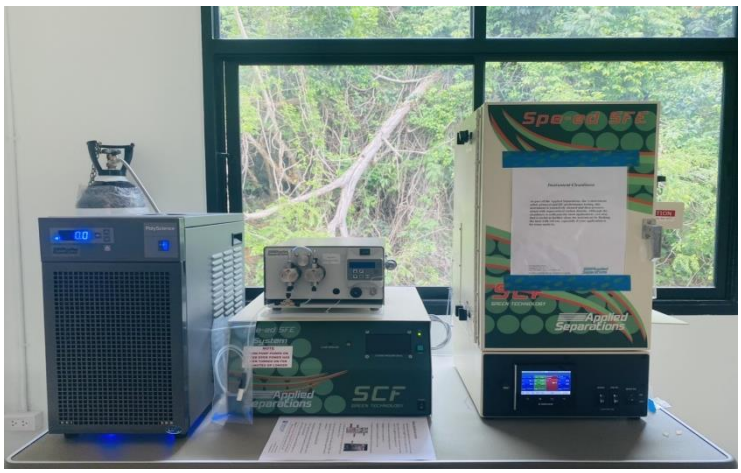
องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid composition) ของตัวอย่างน้ำมันที่สกัดได้จากถั่วดาวอินคา ตามวิธีของ AOAC Official Method (2019) ด้วยเครื่อง Gas Chromatography ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 7890B โดยใช้คอลัมน์ HP-88 column (Length 100 m, Inner Diameter 0.25 mm, Film Thickness 0.2 μm) ที่อุณหภูมิของคอลัมน์ 60 องศาเซลเซียส ฉีดตัวอย่างในรูปของ Fatty acid methyl ester (FAME) ปริมาตร 0.001 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส ใช้แก๊สฮีเลียม (Helium) เป็นแก๊สตัวพา ตรวจวัดด้วย Flame Ionization Detector (GC-FID) ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส อัตราเร็ว 0.65 มิลลิลิตรต่อนาที วิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันเทียบกับสารมาตรฐาน คำนวณชนิดและปริมาณของกรดไขมัน

**3.2.2 ศึกษาการลดปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวจากน้ำมันถั่วดาวอินคา โดยการตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 4, 6, 8 และ 10 องศาเซลเซียส**

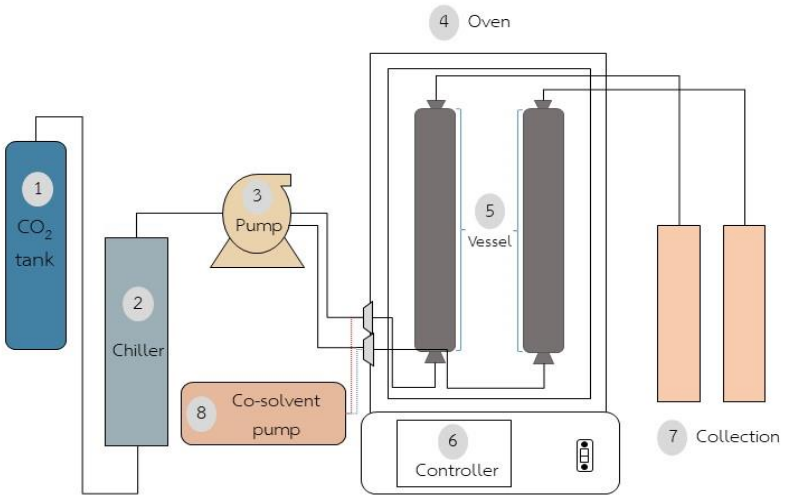
เตรียมตัวอย่างน้ำมันถั่วดาวอินคาในขวดดูแลนขนาดปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 37$\pm$2 องศาเซลเซียส ตกผลึกด้วยเครื่องหล่อเย็นด้วยน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้น 28$\pm$2 องศาเซลเซียส รอให้ตัวอย่างน้ำมันถั่วดาวอินคามีอุณหภูมิคงที่เท่ากับอุณหภูมิน้ำเย็น 28$\pm$2 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาประมาณ 60 นาที หลังจากนั่นเริ่มลดอุณหภูมิของน้ำเย็นให้ตัวอย่างน้ำมันถั่วดาวอินคามีอุณหภูมิ 10, 8, 6 และ 4 องศาเซลเซียส กรองแยกผลึกด้วยแผ่นกรอง (Membrane filter) แยกส่วนไขและส่วนใส แล้วนำส่วนใสมาวิเคราะห์ค่าวิเคราะห์ไอโอดีน (Iodine Value), ค่าซาปอนนิฟเคชั่น (Saponification number) และวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันด้วยเครื่อง Gas Chromatography ตามวิธีการในข้อที่ 3.2.2.8

**3.2.3 ศึกษาการสกัดไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical Carbon Dioxide; $SCCO_2$)**

การสกัดไขมันน้ำมันตัวอย่างถั่วดาวอินคา จังหวัดเชียงใหม่ ด้วยเครื่องเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical carbondioxide: $SCCO_2$) ยี่ห้อ Applied Separations รุ่น Spe-ed SFE-2 (ภาพที่ 13) ชั่งตัวอย่างบรรจุตัวอย่างถั่วดาวอินคาที่บดละเอียด 50 กรัม บรรจุลงใน Vessel ขนาด 50 ลิตร ปิดด้านหนึ่งของ vessel ด้วย end fitting บรรจุด้านล่างด้วย polypropylene wool เพื่อป้องการรั่วไหลของตัวอย่างเข้าไปในเครื่อง อัดให้แน่นด้วยแท่งเหล็กกลม (Tamping rod) จากนั้นใส่ตัวอย่างถั่วดาวอินคาลงไปใน vessel อัดให้แน่นด้วยแท่งเหล็กกลมจนเต็มปิดด้านบนด้วย polypropylene wool อีกครั้ง และปิดด้วย end fitting ให้แน่น นำ vessels ที่บรรจุถั่วดาวอินคาติดตั้งเข้ากับส่วนควบคุมอุณหภูมิ (Oven) เสียบเทอร์โมมิเตอร์สัมผัสกับคอลัมน์สกัด เพื่อให้เครื่องอ่านค่าของคอลัมน์ได้แม่นยำ รอจนอุณหภูมิและความดันได้ตามที่กำหนดทำการสกัดด้วยการเปิดถังแก๊ส ($CO_2$ tank) ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เปิด $CO_2$ Pump, $CO_2$ cylinder valve, oven และ valve ตามลำดับ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะไหลตามคอลัมน์สกัด เปิด Inlet valve (ให้ตรงกับ line ที่มีคอลัมน์ที่ต้องการสกัด) เปิด out line ให้ตรงกับ Inlet valve โดยตัวอย่างไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคาที่สกัดได้จะถูกส่งผ่านคอลัมน์ที่บรรจุตัวอย่าง เพื่อแยกตัวอย่างไขมันน้ำมัน ออกจากคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งควบคุมอัตราการไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์คงที่เท่ากับ 4 มิลลิลิตรต่อลิตร (ภาพที่ 14) ศึกษาการสกัดไขมันน้ำมัน และโอเมก้า 3 และ 6จากถั่วดาวอินคา มีขั้นตอนการสกัด คือ




**ภาพที่ 13** เครื่องสกัดสารด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวด รุ่น Spe-ed SFE-2




**ภาพที่ 14** หลักการทำงานของเครื่อง Supercritical Carbon Dioxide; $SCCO_2$

3.2.3.1 สกัดไขมันน้ำมันจากถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวด โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomize design: CRD) ตัวอย่างละ 3 สกัดไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิค $SCCO_2$ ที่อุณหภูมิ 35, 45, 65, 75 และ 100 องศาเซลเซียสความดัน 74 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที นำน้ำมันที่สกัดได้มาวิเคราะห์ผลเปอร์เซ็นต์ผลผลิต (% yield) วิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยเครื่อง Gas Chormatography วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และความแตกต่างทางสถิติด้วย SPSS เลือกตัวอย่างที่มีปริมาณโอเมก้า 3 สูงที่สุด สกัดในขั้นตอนถัดไป

3.2.3.2 เลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.2.3.1 ศึกษาสภาวะของการสกัดน้ำมันจากถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิค $SCCO_2$ ที่ความดัน 74, 80, 90, 100 และ 150 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที นำน้ำมันที่สกัดวิเคราะห์ผลเปอร์เซ็นต์ผลผลิต (% yield) วิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยเครื่อง Gas Chormatography วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และความแตกต่างทางสถิติด้วย SPSS เลือกตัวอย่างที่มีปริมาณโอเมก้า 3 สูงที่สุด สกัดในขั้นตอนถัดไป

3.2.2.3 เลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.2.2.1 และความดันที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.2.2.2 ศึกษาสภาวะของการสกัดน้ำมันจากถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิค $SCCO_2$ ที่ระยะเวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที นำน้ำมันที่สกัดได้มาวิเคราะห์ผลนำน้ำมันที่สกัดวิเคราะห์ผลเปอร์เซ็นต์ผลผลิต (% yield) วิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยเครื่อง Gas Chormatography วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และความแตกต่างทางสถิติด้วย SPSS

**3.2.4 พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพ**

เลือกตัวอย่างน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 สูง พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพบรรจุภาชนะที่เหมาะสม ออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการจัดจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

**3.2.5 พัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งถั่วดาวอินคาจากผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมัน**

พัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งถั่วดาวอินคาจากผลพลอยได้การสกัดน้ำมันด้วยวิธีบีบสกัด โดยนำวัตถุดิบแป้งถั่วดาวอินคาศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ และพัฒนาผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ โดยนำเมล็ดถั่วดาวอินคามาสกัดน้ำมันด้วยเครื่องบีบน้ำมันจากข้อ 3.2.2.3 นำแป้งถั่วดาวอินคาบรรจุในถุงซิปล๊อค ถุงละ 500 กรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส รอการทดลองในขั้นตอนต่อไป

**3.2.5.1 ผลของวิธีการให้ความร้อนเพื่อลดกลิ่นถั่วต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา**

นำส่วนกากข้อ 3.2.8 มาบีบน้ำมันซ้ำอีก 4 ครั้ง เพื่อลดปริมาณน้ำมันที่ตกค้างอยู่ในกากถั่ว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design : CRD) ทำการทดลองละ 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้กากถั่วดาวอินคา 50 กรัม นึ่งด้วยไอน้ำ 45 นาที อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง บดด้วยเครื่องบดความเร็วสูง 3,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที บรรจุแป้งถั่วดาวอินคาใส่ถุง Polypropylene ปิดผนึก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (26±2 องศาเซลเซียส) วิเคราะห์ความชื้น และวัดสีด้วยอุปกรณ์ Chromameter ในระบบ CIELAB ให้ค่าเป็น L*, a* และ b* ทุกๆ 12 ชั่วโมง จนตัวอย่างกากถั่วดาวอินคา มีความชื้นประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับกากถั่วที่ไม่ผ่านการนึ่ง โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาการอบต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาตามแผนการทดลองตารางที่ 7 วิเคราะห์คุณภาพกายภาพ และเคมี ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า คาร์โบไฮเดรต ปริมาณกลูเตนโดยใช้เครื่อง Glutomatic System Operation Manual ปริมาณ amylose ปริมาณน้ำอิสระ (aw) ค่าการดูดซึมน้ำของแป้ง (Water absorption) ค่าสีด้วยอุปกรณ์ Chromameter ในระบบ CIELAB ให้ค่าเป็น L*, a* และ b* และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) กลิ่นถั่วดาวอินคาเปรียบเทียบกับแป้งสาลีในระดับห้องปฏิบัติการ

**ตารางที่ 7** การนึ่ง และระยะเวลาการอบแป้งถั่วดาวอินคา

| ตัวอย่าง | นึ่ง/ไม่นึ่ง | ระยะเวลาในการอบ (ชั่วโมง) |
|---|---|---|
| ก | ไม่นึ่ง | 12 |
| | | 24 |
| | | 36 |
| | | 48 |
| | | 60 |
| | | 72 |
| ข | นึ่ง | 12 |
| | | 24 |
| | | 36 |
| | | 48 |
| | | 60 |
| | | 72 |

**หมายเหตุ** ก หมายถึง ตัวอย่างกากถั่วดาวอินคาที่ผ่านนึ่ง และ ข หมายถึงตัวอย่างกากถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่ง

**3.2.5.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน**

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยใช้วิธีการ Kjeldahl method เครื่อง Buchi จากบริษัทคิงส์มิวลิ่ง จำกัด โดยจะแบงออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ขั้นตอนการย่อย เปิดเครื่องปรับความร้อนไปที่เบอร์ 10 ชั่งตัวอย่างถั่วดาวอินคา 1 กรัม ผสมกับ Selenium mixture (Na2SO4 6 กรัม + CuSO4 3.5 กรัม + SeO2 0.5 กรัม) แล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิกรัม ลงในหลอด Buchi ต่อหลอด Buchi เขาช่องไม่มีความร้อนเพื่อพักไว้ ปิดฝาแล้วกดล็อคต่อขั้วน้ำทางด้านหลังของเครื่องเปิดน้ำ (เพื่อจับไอกรดที่เกิดขึ้น) ย้ายหลอด Buchi ไปยังช่องที่มีความร้อน ปรับความร้อนเป็นเบอร์ 8 ทิ้งไว้ให้เครื่องทำงาน (ประมาณ 45 นาที หรือตัวอย่างใส) เมื่อตัวอย่างใสยกหลอด Buchi ไปยังช่องที่ไม่มีความร้อน ตั้งไว้ให้เย็น ปิดน้ำ แล้วจึงปิดเครื่อง

2. ขั้นตอนการกลั่น เตรียม boric acid ที่มีความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ 50 มิลลิลิตร หยด methyl red เป็นอินดิเคเตอร์ นำตัวอย่างที่ผ่านการย่อยเติมน้ำกลั่นหลอดละ 50 มิลลิลิตร ต่อหลอด Buchi เข้ากับเครื่องแล้วจึงทำการเปิดเครื่อง เติม NaOH ความเข้มข้น 32% 100 มิลลิลิตร แล้วเปิด stream on เพื่อทำการกลั่น โดยใช้เวลากลั่นประมาณ 3-4 นาที เมื่อกลั่นเสร็จแล้วให้ปิด stream on นำตัวอย่างที่ได้ไปไตเตรทหาปริมาณโปรตีนด้วย HCl ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล บันทึกปริมาตร HCl ที่ใช้ไป คำนวณตามสูตร

ปริมาณโปรตีน (%) = (A – B) x N x 1.4007 x CF x 100 /น้ำหนักตัวอย่าง (g)

เมื่อ A = ปริมาณของ HCl ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่างอาหาร (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณของ HCl ที่ใช้ในการไตเตรท Blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของ HCl (นอร์มอล)

CF= Conversion Factor

**3.2.5.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณกากใย**

นำตัวอย่างที่สกัดเอาไขมันออกแล้ว มาหาปริมาณกากใย โดยนำตัวอย่างใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1275 โมลาร์ จำนวน 200 มิลลิลิตร แล้วต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที โดยตลอดเวลาที่ต้มจะต้องรักษาปริมาตรให้คงที่โดยการเติมด้วยน้ำกลั่น กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร 54 หรือ 531 โดยใช้ suction ล้างด้วยน้ำ ร้อนหลายๆครั้งจนกรดหมด แล้วเทกากใส่ในบีกเกอร์ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซดเข้มข้น 0.313 โมลาร์ 200 มิลลิลิตร แล้วต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที รักษาปริมาตรให้คงที่โดยการเติมด้วยน้ำกลั่น กรองผ่านกระดาษกรอง โดยใช้ suction ล้างด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้ง จนหมดด่าง แล้วเทกากใส่ในบีกเกอร์ ล้างกากด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1% แล้วตามด้วยน้ำร้อนจนกรดหมด คำนวณตามสูตร

น้ำหนักกากใย (g) = น้ำหนักแห้งของกาก (g) – น้ำหนักเถา (g)
ปริมาณกากใย (%) = น้ำหนักกากใย (g) x 100 /น้ำหนักตัวอย่าง

**3.2.5.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า**

นำ crucible มาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นใน desiccator นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งตัวอย่างถั่วดาวอินคาประมาณ 3 กรัม ใส่ลง crucible ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาว นำออกมาตั้งพักให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน คำนวณตามสูตร

ปริมาณเถ้า (%) = น้ำหนักเถ้า (g) x 100 / น้ำหนักตัวอย่าง (g)

**3.2.5.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต**

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตคำนวณจากสูตรเมื่อทราบปริมาณร้อยละของความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และกากใย นำค่าดังกล่าวนี้มา คำนวณตามสูตร

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%) = [100 - (ความชื้น+โปรตีน+ไขมัน+เถ้า+กากใย)]

**3.2.5.1.5 การวิเคราะห์ปริมาณกลูเตน**

ทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Glutomatic System Operation Manual ใส่ตะแกรง 88 ไมครอนลงในระบอกล้าง โดยพยายามให้แผ่นตะแกรงตึงเรียบที่สุด หยดน้ำลงให้ทั่วเพื่อให้เกิด capillary water bridge นำตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคามาชั่ง 10 กรัม ใส่ลงในกระบอกล้าง เขย่าให้แป้งกระจายตัว ดูดสารละลาย NaCl ใส่ในตัวอย่าง เขย่ากระบอกเบาๆ โดยหมุนรอบ 1 ครั้ง และเขย่าให้น้ำไหลผ่านผิวหน้าของแป้งอีก เพื่อให้น้ำกระจายทั่วถึงในแป้งตัวอย่าง การผสมและการล้างเครื่องจะทำงานอัตโนมัติ หลังจากผสมแล้ว โปรแกรมการล้างจะทำงานอัตโนมัติ นำมาชั่งน้ำหนักคำนวณค่า Gluten Index ตามสูตร

$$\text{Gluten Index} = \frac{\text{ปริมาณกลูเตนที่คงอยู่บนตะแกรง (กรัม)} \times 100}{\text{ปริมาณกลูเต้นทั้งหมด (กรัม)}}$$

**3.2.5.1.6 การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส (amylose)**

ชั่งตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคา 20 มิลลิกรัม ใสหลอดเซ็นติฟวก (centrifuge tube) ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมเอทธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร เขยาเบาๆ แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1.8 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปดฝาหลอด เขยาให้สารละลายเข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำสารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใสลงในหลอดทดลองขนาดกลาง เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิติก 1 โมลาร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร และเติมสารละลายไอโอดีน 400 ไมโครลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขยา ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที วัดความเข้มสีของสารละลาย ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอรที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร วัดคาการดูดกลืนแสง เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานคำนวณหาปริมาณอะมิโลส โดยใช้สารมาตรฐานอะมิโลสบริสุทธิ์ 0.04 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมเอทธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซดเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขยาให้สารละลายเข้ากัน

**3.2.5.1.7 วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$)**

โดยใช้เครื่องวัดวอเตอร์แอคติวิตี (ยี่ห้อ Aqulab รุ่น CX3TE) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างถัวดาวอินคาใส่ลงในภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่าง ปิดฝาช่องใส่ตัวอย่างจากนั้นกดปุ่มเริ่มทำงานวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

**3.2.5.1.8 การวิเคราะห์ค่าการดูดซึมน้ำของแป้ง (Water adsorption)**

ชั่งแป้งถั่วดาวอินคา 2.5 กรัม ลงในหลอดเซนตริฟิวส์ เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3000 xg เป็นเวลา 15 นาที พักไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที ชั่งน้ำหนัก สารละลายที่เหลือ (Bhat & binti Yahya, 2014) คำนวณตามสูตร

Water and oil absorption capacity = น้ำหนักน้ำหรือน้ำมันที่ดูดซับ (g) / น้ำหนักตัวอย่าง (g)

**3.2.5.1.9 การวิเคราะห์ค่าสี**

วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Colorimemter) Hunter LAB รุ่น MiniScan XE Plus ก่อนทำการวัดสี ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (Calibration) โดยการวางหัววัดทาบบนแผ่นสำหรับ Calibrate สีขาวแล้วกดปุ่ม Measure ซึ่งเครื่องวัดสีจะบันทึกข้อมูลค่าสี ขาวของแผ่นสำหรับ Calibrate นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสีโดยใส่ให้เต็มภาชนะไม่ให้มีช่องที่แสงผ่านได้ขณะวัด ตัวอย่างให้ใช้แผ่นสีดำปิดตัวอย่าง ทำการวัดสีของตัวอย่างด้วยระบบ CIE ซึ่งวัดค่า L* a* และ b* ซึ่งบอกค่าดังนี้ L* คือ ความสว่างโดยสีดำมีค่าเท่ากับ 0 และสีขาวมีค่าเท่ากับ 100 a* คือ ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยค่าบวกแสดงความเป็น สีแดง และค่าลบแสดง ความเป็นสีเขียว b* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีเหลือง และค่าลบ แสดงความเป็นสีน้ำเงิน

**3.2.5.1.10 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation)**

ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ของแป้งถั่วดาวอินคา ความในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้สเกลแบบ hedonic scale 1-9 point ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวนไม่น้อยกว่า 30 คน และความเห็นของพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพและวิจัย บริษัทคิงส์ไบโอ-โปรดักส์ จำกัด คุณภาพการยอมรับโดยรวม สี กลิ่น วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และความแตกต่างทางสถิติด้วย SPSS version 21 เลือกตัวอย่างที่ดีที่สุด ที่ผู้บริโภคให้การยอมรับทดสอบการใช้งานในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (Baking test) ทดสอบผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ โดยการทำเค้กที่มีส่วนผสมของแป้งถั่วดาวอินคา และแป้งสาลีของบริษัทคิงส์มิลลิ่ง (สุราษฎร์ธานี) จำกัด อัตราส่วน 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3 และ 1 : 4 ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้สเกลแบบ hedonic scale 1-9 point ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวนไม่น้อยกว่า 30 คน คุณภาพการยอมรับโดยรวม ทดสอบคุณภาพทางกายภาพ วัดค่าของสีด้วยอุปกรณ์ Chromameter ในระบบ CIELAB ให้ค่าเป็น L*, a* และ b* และวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture analyzer (TA-XT2i Stable Microsystems, UK.) ใช้หัววัด cylindrical probe ขนาด 25 มิลลิเมตร กดลงบนตัวอย่างด้วยอัตราความเร็ว 1 มิลลิเมตร/วินาที เป็นระยะทาง 50 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของตัวอย่าง 1 นิ้ว และกำหนดระยะเวลา ระหว่างการกดครั้งแรกและครั้งที่สองนาน 30 วินาที บันทึกความแน่นเนื้อ (Firmness) การคืนตัว (Springiness) การเกาะตัว (Cohesiveness) ความเหนียวคล้ายยาง (Gumminess) และความยากในการเคี้ยว (Chewiness)

**3.2.6 ศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ของผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3, 6 สูง และผลิตภัณฑ์แป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา**

ศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ของการผลิตอาหารเสริมที่มีปริมาณกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมก้า 3 และ 6 สูง และแป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา โดยวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต และระยะเวลาการคืนทุน

# บทที่ 4
# ผลการวิจัยและอภิปรายผล

## 4.1 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคา

เก็บตัวอย่างเมล็ดถั่วดาวอินคาที่ปลูกจากสวนฟาร์มเรือนแก้ว อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมกราคม 2564 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี พบว่ามีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 46.86±0.12 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้าเท่ากับ 3.85±0.23 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 22.66±0.12 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเส้นใยเท่ากับ 9.45±0.22 ปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) มีปริมาณเท่ากับ 0.95±0.18 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 4.40±0.02 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 8) นำมาสกัดน้ำมันด้วยวิธีการสกัดแบบใช้ตัวทำละลายเฮกเซนเทคนิค Soxhlet เปรียบเทียบกับเทคนิคการบีบอัด พบว่าการสกัดแบบใช้ตัวทำละลายเทคนิค Soxhlet ได้ปริมาณน้ำมันถั่วดาวอินคาสูงกว่าเทคนิคการบีบอัด มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 52.18±0.09 และ 42.57±0.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์มากกว่าเทคนิคการบีบอัดมีค่าเท่ากับ 0.83±0.03 เปอร์เซ็นต์ และ 0.71±0.07 meq/kg oil ตามลำดับ (ตารางที่ 9) องค์ประกอบกรดไขมันในถั่วดาวอินคา พบว่ากรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids: SFA) ในน้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนเทคนิค Soxhlet มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวมีค่าเท่ากับ 7.55 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ (Monounsaturated fatty acids: MUFA) และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพันธะคู่หลายพันธะ (Polyunsaturated fatty acids: PUFA) มีค่าเท่ากับ 8.94 และ 84.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีองค์ประกอบหลักของกรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่หลายพันธะ ได้แก่ Linolenic acid (C18:3, ALA,Omega-3) และ Linoleic acid (C18:2,Omega-6) มีปริมาณเท่ากับ 45.30 และ 38.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 10) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gutierrez และคณะ (2011) รายงานกรดไขมันจากน้ำมันถั่วดาวอินคาที่สกัดด้วยตัวทำละลายเทคนิค Soxhlet มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพันธะคู่หลายพันธะสูงถึง 84.2 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ และกรดไขมันอิ่มตัว พบในสัดส่วน 6.8 และ 9.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

**ตารางที่ 8** คุณสมบัติทางเคมีของไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคา

| ผลการวิเคราะห์ | ตัวทำละลาย (Soxhlet) | เครื่องบีบน้ำมัน |
|---|---|---|
| Protein (%) | 46.86±0.12 | - |
| Ash (%) | 3.85±0.23 | - |
| Carbohydrate (%) | 22.66±0.12 | - |
| Fiber (%) | 9.45±0.22 | - |
| Water activity ($a_w$) (%) | 0.95±0.18 | - |
| Moisture content (wt%) | 4.40±0.02[a] | 4.40+0.02[a] |

**หมายเหตุ**: ตัวเลขในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

**ตารางที่ 9** คุณสมบัติทางเคมีของไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคา

| ผลการวิเคราะห์ | ตัวทำละลาย (Soxhlet) | เครื่องบีบน้ำมัน |
|---|---|---|
| Oil (%) | 52.18±0.09[a] | 42.57±0.02[b] |
| Free fatty acid (%) | 0.83±0.03[a] | 0.71±0.07[b] |
| Peroxide value (meq/kg oil) | 0.83±0.25[a] | 0.73±0.25[b] |
| Iodine value ($I_2$/g) | 163.31±0.25[b] | 166.61±0.25[a] |
| Saponification value (mg-KOH/g) | 128.34±0.08[b] | 128.45±0.20[a] |

**หมายเหตุ**: ตัวเลขในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

**ตารางที่ 10** องค์ประกอบกรดไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคา

| Fatty acid composition | Result (%) | |
|---|---|---|
| | เทคนิค Soxhlet | เทคนิคเครื่องบีบน้ำมัน |
| **Saturated fatty acid** | **7.55** | **7.01** |
| - Myristic acid (C14:0) | 0.06 | 0.03 |
| - Palmitic acid (C16:0) | 4.18 | 3.87 |
| - Heptadecanoic acid (C17:0) | 0.15 | 0.09 |
| - Stearic acid (C18:0) | 3.10 | 3.02 |
| - Behenic acid (C22:0) | 0.06 | - |
| **Monounsaturated fatty acid** | **8.90** | **8.94** |
| - Palmitoleic acid (C16:1) | 0.08 | 0.08 |
| - Oleic acid (C18:1,Omega-9) | 8.82 | 8.86 |
| **Polyunsatureted fatty acid** | **83.55** | **84.05** |
| - Linoleic acid (C18:2,Omega-6) | 38.5 | 38.7 |
| - Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) | 45.0 | 45.3 |
| - Eicosadienoic acid (C20:2,Omega-6) | 0.05 | 0.05 |

### 4.2 ผลการลดปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวของน้ำมันถั่วดาวอินคา โดยการตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 4, 6, 8 และ 10 องศาเซลเซียส

การลดปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวของน้ำมันถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิต่ำของน้ำหล่อเย็นระดับอุณหภูมิ 4, 6, 8 และ 10 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที พบว่า ค่าไอโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง และมีค่าไอโอดีนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 168.58±0.42 รองลงมาที่อุณหภูมิ 6, 8 และ 10 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 168.25±0.41, 167.32±0.14 และ 167.24±0.17 $I_2$/g ตามลำดับ (ตารางที่ 11) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กรดไขมันอิ่มตัวจะมีความสามารถในการเป็นไข หรือตกผลึกที่อุณหภูมิสูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ และกรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่หลายพันธะ หลักการตกผลึกแยกไขกรดไขมันอิ่มตัวสามารถใช้ได้ในอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันพืชบริสุทธิ์ (ธีรศักดิ์, 2565) องค์ประกอบของกรดไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคาที่ผ่านการตกผลึกแยกไขที่อุณหภูมิต่ำของน้ำหล่อเย็น พบว่า น้ำมันถั่วดาวอินคาที่สกัดด้วยวิธีการบีบอัด

มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายพันธะ (PUFA) สูงกว่าสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) น้ำมันถั่วดาวอินคาที่เป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายชนิด Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) และ Linoleic acid (C18:2,Omega-6) หลังการตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำ 4 องศาเซลเซียส มีสัดส่วนรวมกันสูงถึง 84.52 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 12) การลดลงของสัดส่วนกรดไขมันอิ่มตัวและการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว เพราะเกิดกระบวนการทางกลและความร้อน (thermo-mechanical process) โดยกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง และกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำจะแยกตัวออกจากกันโดยขั้นตอนการตกผลึก กรดไขมันชนิด palmitic acid (C16:0) และstearic acid (C18:0)เกิดการตกผลึกแยกตัวออกมาก่อนแสดงถึงจุดหลอมเหลวที่สูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด Linolenic acid 18:3,ALA,Omega-3) และ Linoleic acid (C18:2,Omega-6) ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า (ธีรศักดิ์, 2565)

**ตารางที่ 11** คุณสมบัติทางเคมีของไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยการบีบอัด ที่ผ่านขั้นตอนการตกผลึกที่อุณภูมิต่ำของน้ำหล่อเย็นระดับอุณหภูมิ 4, 6, 8 และ 10 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

| ผลการวิเคราะห์ | อุณหภูมิ (˚C) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 10 | 8 | 6 | 4 |
| Iodine value ($I_2$/g) | 167.24±0.17$^{b}$ | 167.32±0.14$^{b}$ | 168.25±0.41$^{ab}$ | 168.58+0.42$^{a}$ |
| Saponification (mg KOH/g oil) | 128.42±0.02$^{b}$ | 128.25±0.06$^{a}$ | 128.50±0.20$^{c}$ | 128.32+0.08$^{bc}$ |

**หมายเหตุ:** ตัวเลขในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P<0.05$)

**ตารางที่ 12** องค์ประกอบของกรดไขมันถั่วดาวอินคาที่ผ่านการตกผลึกแยกไขที่อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 4-10 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

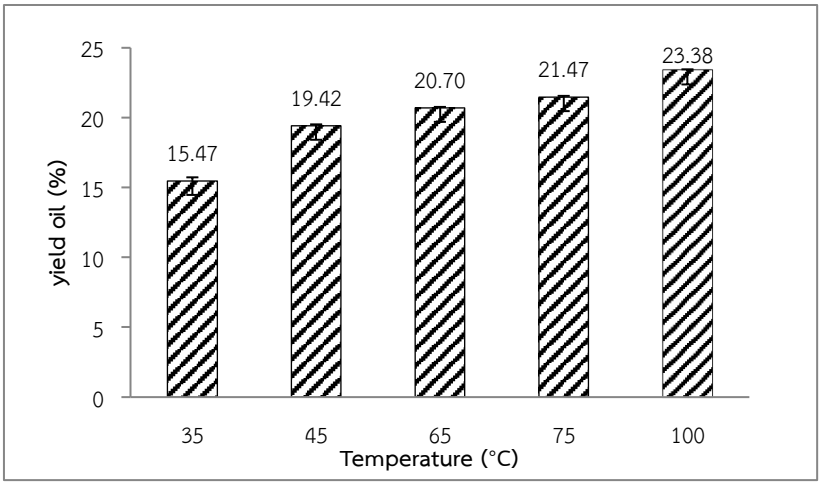
| Fatty acid composition | Result (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ถั่วดาวอินคา | 10 °C | 8 °C | 6 °C | 4 °C |
| **Saturated fatty acid** | **7.01** | **6.52** | **6.52** | **6.49** | **6.48** |
| - Myristic acid (C14:0) | 0.03 | - | - | - | - |
| - Palmitic acid (C16:0) | 3.87 | 3.66 | 3.66 | 3.66 | 3.64 |
| - Heptadecanoic acid (C17:0) | 0.09 | - | - | - | - |
| - Stearic acid (C18:0) | 3.02 | 2.86 | 2.86 | 2.83 | 2.84 |
| **Monounsaturated fatty acid** | **8.94** | **8.97** | **8.97** | **9.00** | **9.00** |
| - Palmitoleic acid (C16:1) | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| - Oleic acid (C18:1,Omega-9) | 8.86 | 8.93 | 8.93 | 8.96 | 8.96 |
| **Polyunsatureted fatty acid** | **84.05** | **84.51** | **84.51** | **84.51** | **84.52** |
| - Linoleic acid (C18:2,Omega-6) | 38.70 | 38.7 | 38.7 | 38.7 | 38.7 |
| - Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) | 45.30 | 45.76 | 45.76 | 45.76 | 45.77 |
| - Eicosadienoic acid (C20:2,Omega-6) | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

**4.3 ผลของอุณหภูมิต่อการสกัดน้ำมันจากถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวด**

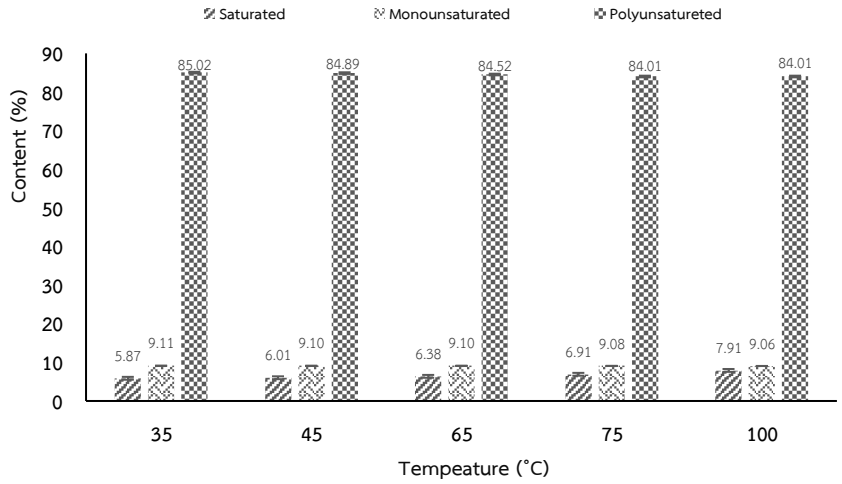
การสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35, 45, 65, 75 และ 100 องศาเซลเซียส ความดัน 74 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที พบว่าน้ำมันที่ได้มีลักษณะสีเหลืองใส ไม่มีตะกอน (ภาพที่ 15) อุณหภูมิมีผลต่อการสกัดปริมาณน้ำมัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีปริมาณเท่ากับ 23.38±0.02 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาที่อุณหภูมิ 75, 65, 45 และ 35 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 21.47±0.03, 20.70±0.02, 19.42±0.04 และ 15.47±0.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 16) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัย Sarawut และคณะ (2020) รายงานการสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 300 บาร์ ระยะเวลา 360 นาที พบว่าปริมาณเปอร์เซ็นต์ผลผลิตน้ำมันมีค่าสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 22.30 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิมีผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมันที่สกัดได้ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวด คือปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิการสกัดเพิ่มสูงขึ้น ตรงกันข้ามกับปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ (MUFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายพันธะ (PUFA) ลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 17) และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 74 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ (MUFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายพันธะ (PUFA) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 9.11 และ 85.02 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ซึ่งมี Linoleic acid (C18:2,Omega-6) และ Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) สูงสุดถึง 38.80 และ 46.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 13) ที่อุณหภูมิต่ำ 35 องศาเซลเซียสสามารถเลือกสกัดปริมาณ Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) ได้ดีตัวอย่างน้ำมันที่สกัดได้มีความเข้มข้นของ Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) สูง และสภาวะการสกัดที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยลดการเสื่อมสลาย (Decompose) ของสารที่มีความคงตัวน้อย เสถียรต่ำไวต่อการออกซิเดชั่น ประเภท Linolenic acid และLinoleic acid (Marcela L *et al.,* 2008) ดังนั้นเลือกอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับการศึกษาความดัน และระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการสกัดไขมันน้ำมันของถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวดการทดลองต่อไป

(A) (B) (C) (D) (E)

**ภาพที่ 15** น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35 (A), 45 (B), 65 (C), 75 (D) และ 100 (E) องศาเซลเซียส ความดัน 74 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที




**ภาพที่ 16** เปอร์เซ็นต์น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35-100 องศาเซลเซียส ความดัน 74 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที




**ภาพที่ 17** ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ และกรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่หลายพันธะ น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35-100 องศาเซลเซียส ความดัน 74 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที

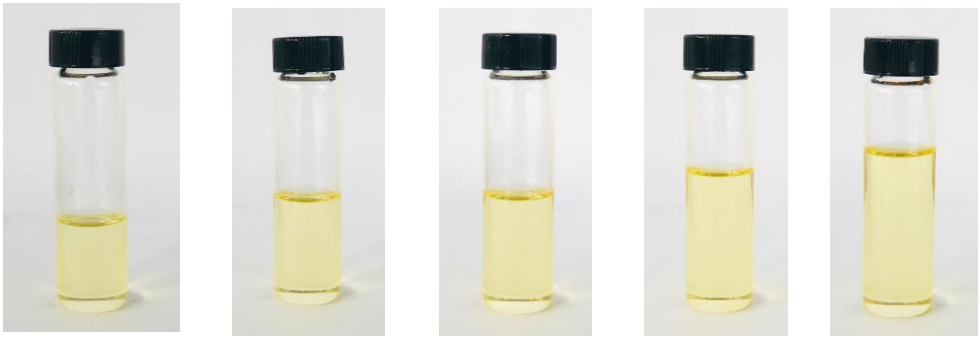
**ตารางที่ 13** องค์ประกอบกรดไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคา สกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด ($SCCO_2$) ที่อุณหภูมิ 35-100 องศาเซลเซียส ความดัน 74 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที

| Fatty acid composition | Result (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 35 °C | 45 °C | 65 °C | 75 °C | 100 °C |
| **Saturated fatty acid** | **5.87** | **6.01** | **6.38** | **6.91** | **7.91** |
| - Palmitic acid (C16:0) | 3.33 | 3.15 | 3.16 | 3.59 | 3.59 |
| - Stearic acid (C18:0) | 2.54 | 2.86 | 3.22 | 3.32 | 3.32 |
| **Monounsaturated fatty acid** | **9.11** | **9.10** | **9.10** | **9.08** | **9.06** |
| - Palmitoleic acid (C16:1) | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| - Oleic acid (C18:1,Omega-9) | 9.07 | 9.06 | 9.06 | 9.04 | 9.02 |
| **Polyunsatureted fatty acid** | **85.02** | **84.89** | **84.52** | **84.01** | **84.01** |
| - Linoleic acid (C18:2,Omega-6) | 38.80 | 38.80 | 38.80 | 38.80 | 38.80 |
| - Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) | 46.18 | 46.04 | 45.67 | 45.16 | 45.16 |
| -cis-11,14- Eicosadienoic acid (C20:2,Omega-6) | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

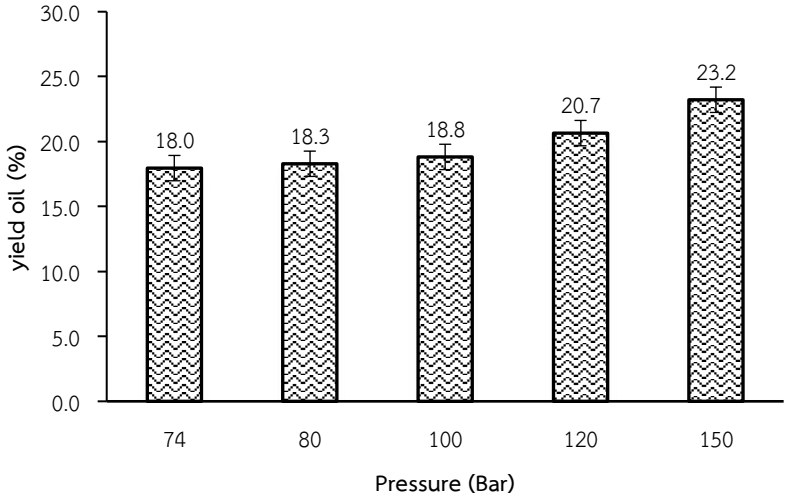
### 4.4 ผลของความดันต่อการสกัดน้ำมันจากถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวด

การสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสจากการทดลองที่ 4.3 ความดัน 74, 80, 90, 100 และ150 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที พบว่าน้ำมันถั่วดาวอินคา มีลักษณะสีเหลืองใส ไม่มีตะกอน (ภาพที่ 18) ความดันมีผลต่อ

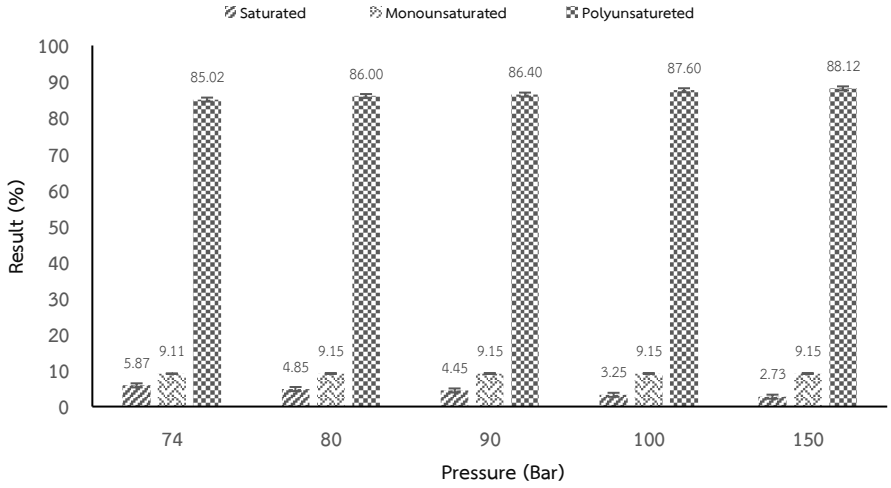
การสกัดปริมาณน้ำมัน เมื่อความดันเพิ่มมากขึ้นปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และมีปริมาสูงสุดที่ความดัน 150 บาร์ มีค่าเท่ากับ 23.21±0.12 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาที่ความดัน 100, 90, 80 และ74 บาร์ มีค่าเท่ากับ 20.70±0.07, 18.79±0.16, 18.30±0.08 และ 18.00±0.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 19) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Follegatti-Romero และคณะ (2009) รายงานการสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด ($SCCO_2$) ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียสความดัน 300 และ 400 บาร์ ระยะเวลา 360 นาที พบว่า ปริมาณน้ำมันมากขึ้นเมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้น และที่อุณหภูมิเท่ากันของไหลวิกฤติยิ่งยวดมีค่าใกล้เคียงกับของเหลวเมื่อนำมาใช้เป็นตัวทำละลายโมเลกุลของสารหรืออนุภาคของแข็งที่ต้องการละลายจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของของไหลวิกฤติยิ่งยวด และเกิดอันตรกิริยากัน (interaction) ทำให้พลังงานเอนทาลปี (enthalpy) ลดลงจนเกิดการละลายได้ดี ในขณะเดียวกันของไหลวิกฤติยิ่งยวด ยังมีความหนืด (viscosity) และสัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient) ที่ใกล้เคียงกับก๊าซทำให้สามารถแพร่แทรกเข้าไปในโครสร้างของของแข็งหรือแมททริกซ์ (matrix) ได้ดี ทำให้ตัวถูกละลายที่ละลายเข้าไปในของไหลวิกฤติยิ่งยวดกระจายออกจากบริเวณการสกัดไปบริเวณอื่นได้ง่าย ประสิทธิภาพของไหลวิกฤติยิ่งยวดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความดัน (Sahena *et al.,*2009) และความดันมีผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมันที่สกัดได้ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวด คือปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิการสกัดเพิ่มสูงขึ้น ตรงกันข้ามกับปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ (MUFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายพันธะ (PUFA) ปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 20) และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ (MUFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายพันธะ (PUFA) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 9.15 และ 88.12 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ซึ่งมี Linoleic acid (C18:2,Omega-6) และ Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) สูงสุดถึง 39.32 และ 48.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 14) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดันสูง 150 บาร์สามารถเลือกสกัดปริมาณ Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) ได้ดีตัวอย่างน้ำมันที่สกัดได้มีความเข้มข้นของ Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) สูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Saldna และคณะ (2006) พบว่าเมื่อเพิ่มความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดจาก 120 บาร์ เป็น 200 บาร์ สามารถสกัดบีต้า-แคโรทีน จากเปลือกแครอทได้ปริมาณมากขึ้น ดังนั้นเลือกอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ ใช้สำหรับการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการสกัดไขมันน้ำมันของถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวดการทดลองต่อไป




**ภาพที่ 18** น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด ($SCCO_2$) ที่ความดัน (A) 74, (B) 80, (C) 90, (D) 100 และ (E) 150 บาร์ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที




**ภาพที่ 19** เปอร์เซ็นต์น้ำมันทั้งหมดของถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด ($SCCO_2$) ที่ความดัน 74-150 บาร์ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที




**ภาพที่ 20** ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ และกรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่หลายพันธะ น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 74-150 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที

**ตารางที่ 14** องค์ประกอบกรดไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด ที่ความดัน 74-150 บาร์ อุณภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

| Fatty acid composition | Result (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 74 Bar | 80 Bar | 90 Bar | 100 Bar | 150 Bar |
| **Saturated fatty acid** | **5.87** | **4.85** | **4.45** | **3.25** | **2.73** |
| - Palmitic acid (C16:0) | 3.33 | 3.29 | 3.15 | 2.15 | 2.00 |
| - Stearic acid (C18:0) | 2.54 | 1.56 | 1.30 | 1.10 | 0.73 |
| **Monounsaturated fatty acid** | **9.11** | **9.15** | **9.15** | **9.15** | **9.15** |
| - Palmitoleic acid (C16:1) | 0.04 | - | - | - | - |
| - Oleic acid (C18:1,Omega-9) | 9.07 | 9.15 | 9.15 | 9.15 | 9.15 |
| **Polyunsatureted fatty acid** | **85.02** | **86.00** | **86.40** | **87.60** | **88.12** |
| - Linoleic acid (C18:2,Omega-6) | 38.80 | 39.10 | 39.30 | 39.30 | 39.32 |
| - Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) | 46.18 | 46.90 | 47.10 | 48.30 | 48.80 |
| -cis-11,14- Eicosadienoic acid (C20:2,Omega-6) | 0.04 | - | - | - | - |

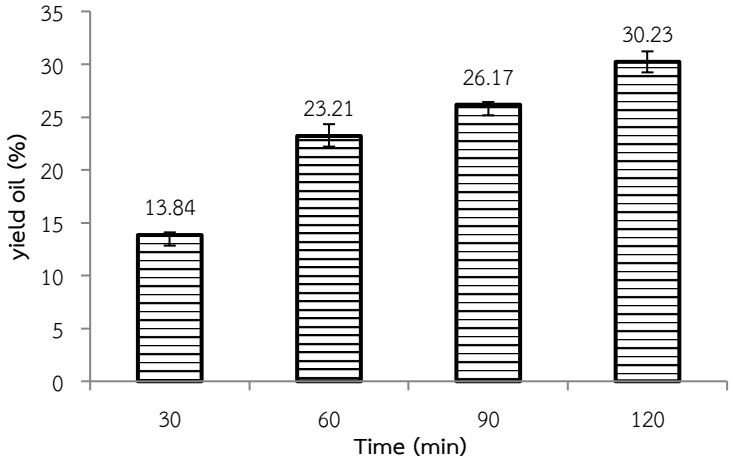
### 4.5 ผลของระยะเวลาต่อการสกัดน้ำมันจากถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวด

การสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ จากการทดลองที่ 4.4 ระยะเวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที พบว่า น้ำมันถั่วดาวอินคา มีลักษณะสีเหลืองใส ไม่มีตะกอน (ภาพที่ 21) ระยะเวลามีผลต่อการสกัดปริมาณน้ำมันเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้นปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และมีปริมาณ

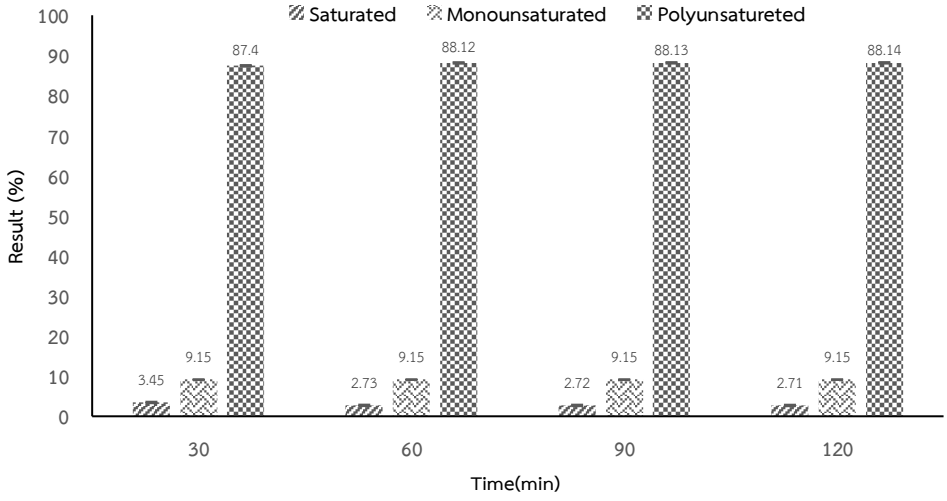
สูงสุดที่ระยะเวลา 120 นาที มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 30.23±0.99 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาที่ระยะเวลา 90, 60 และ 30 นาที มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 26.17±0.26, 23.21±0.12 และ13.84±0.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 22) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) Nicola De Zord และคณะ (2017) รายงานการศึกษาการสกัดน้ำมันวอลนัท ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่ความดัน 100-300 บาร์ อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 90-390 นาที ปริมาณน้ำมันจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความดัน อุณหภูมิ และระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น ระยะเวลามีผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมันที่สกัดได้ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวด คือ ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการสกัดเพิ่มสูงขึ้น ตรงกันข้ามกับปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ (MUFA) มีแนวโน้มคงที่ และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายพันธะ (PUFA) ปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 23) และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ (MUFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายพันธะ (PUFA) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 9.15 และ 88.12 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ซึ่งมี Linoleic acid (C18:2,Omega-6) และ Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) สูงสุดถึง 39.33 และ 48.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 15) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดันสูง 150 บาร์ ระยะเวลา 120 นาที สามารถเลือกสกัดปริมาณ Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) ได้ดีตัวอย่างน้ำมันที่สกัดได้มีความเข้มข้นของ Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) สูง และมีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มาก เพราะระยะเวลาในการสกัดที่นานขึ้นความสามารถในการละลายของกรดไขมันต่ำใน $SCCO_2$ อัตราส่วนการถ่ายโอนมวลของไขมันที่ต่ำกว่าส่วนประกอบของน้ำมันที่ต้องการสกัด ดังนั้นการสกัดที่แรงดันปานกลาง (mode rate) ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ จะได้ปริมาณน้ำมันที่น้อยกว่า (Nicola De Zord *et al.,* 2017) สรุปการสกัดน้ำมันจากถั่วดาวอินคาด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวดอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ ระยะเวลา 120 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันที่มีปริมาณโอเมก้า 3 และ 6 สูง

(A) (B) (C) (D)

**ภาพที่ 21** น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ ระยะเวลา 30 (A), 60 (B), 90 (C) และ 120 (D) นาที




**ภาพที่ 22** เปอร์เซ็นต์น้ำมันทั้งหมดของถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ ระยะเวลา 30-120 นาที




**ภาพที่ 23** ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ และกรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่หลายพันธะ น้ำมันถั่วดาวอินคาสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ ระยะเวลา 30-120 นาที

**ตารางที่ 15** องค์ประกอบกรดไขมันน้ำมันถั่วดาวอินคา สกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด ที่ระยะเวลา 30-120 นาที อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์

| Fatty acid composition | Result (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 30 min | 60 min | 90 min | 120 min |
| **Saturated fatty acid** | **3.45** | **2.73** | **2.72** | **2.71** |
| - Palmitic acid (C16:0) | 2.20 | 2.00 | 1.99 | 1.99 |
| - Heptadecanoic acid (C17:0) | 0.05 | - | - | - |
| - Stearic acid (C18:0) | 1.15 | 0.73 | 0.73 | 0.72 |
| - Arachidic acid (C20:0) | 0.05 | - | - | - |
| **Monounsaturated fatty acid** | **9.15** | **9.15** | **9.15** | **9.15** |
| - Palmitoleic acid (C16:1) | 0.01 | - | - | - |
| - Oleic acid (C18:1,Omega-9) | 9.14 | 9.15 | 9.15 | 9.15 |
| **Polyunsatureted fatty acid** | **87.40** | **88.12** | **88.13** | **88.14** |
| - Linoleic acid (C18:2,Omega-6) | 39.30 | 39.32 | 39.33 | 39.33 |
| - Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) | 48.10 | 48.80 | 48.80 | 48.81 |

**4.6 บรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพจากถั่วดาวอินคา**

การออกแบบโลโก้และบรรจุภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพจากถั่วดาวอินคา สำรวจข้อมูลตามท้องตลาดและความนิยมของผู้บริโภคอาหารเสริมผลิตภัณฑ์น้ำมัน และจากความต้องการของสถานประกอบการบริษัท คิงส์ไบโอ-โปรดักส์ จำกัด ประชุมทีมวิจัยกับฝ่ายควบคุมคุณภาพและวิจัยร่วมถึงฝ่ายการตลาด ออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการจัดจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภค รับประทานง่าย สะดวกต่อการใช้งานและพกพา บรรจุใส่ขวดขนาดมาตรฐานทั่วไปที่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยบรรจุ 60 แคปซูล ต่อขวดภายใต้ตราสินค้า (Logo) คือ ORGANICA (ภาพที่ 24) หลังจากได้ผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม (ภาพที่ 25) นำไปทดสอบผู้บริโภคในระดับห้องปฏิบัติการจำนวนผู้ทดสอบ 30 คน เป็นนักศึกษา บุคคลากรเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ที่มีพฤติกรรมบริโภคอาหารเสริม และผู้ประกอบการ บริษัท คิงส์ มิลลิ่ง (สุราษฎร์ธานี) จำกัด พบว่าผู้บริโภคและผู้ประกอบการให้การยอมรับบรรจุภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพมากที่สุด คือ แบบที่ 2 ภาพที่ 25 (ข) สำหรับใช้ในการผลิตอาหารเสริมน้ำมันถั่วดาวอินคาที่ผ่านการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ ระยะเวลา 120 นาที เพื่อจัดจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

(ก)

(ข)

**ภาพที่ 24** ตราสินค้า (Logo) ของผลิตภัณฑ์ (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่ 2

(ก)

(ข)

**ภาพที่ 25** บรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีปริมาณกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมก้า 3 และ 6 สูง จากถั่วดาวอินคา (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่ 2

**4.7 ผลิตภัณฑ์แป้งถั่วดาวอินคาจากผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมัน**

พัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งถั่วดาวอินคาจากผลพลอยได้การสกัดน้ำมันด้วยวิธีบีบสกัด โดยนำวัตถุดิบแป้งถั่วดาวอินคาศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ และพัฒนาผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ นำเมล็ดถั่วดาวอินคามาสกัดน้ำมันด้วยเครื่องบีบน้ำมันจากข้อ 4.1 นำแป้งถั่วดาวอินคาบรรจุในถุงซิปล๊อค ถุงละ 500 กรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส รอการทดลองในขั้นตอนพัฒนาคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา

**4.7.1 ผลของวิธีการให้ความร้อนเพื่อลดกลิ่นถั่วต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา**

นำส่วนกากถั่วที่ผ่านการบีบแยกน้ำมันข้อ 4.1 มาบีบน้ำมันซ้ำอีก 4 ครั้ง เพื่อลดปริมาณน้ำมันที่ตกค้างอยู่ในกากถั่ว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design : CRD) ทำการทดลองละ 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้กากถั่วดาวอินคา 50 กรัม นึ่งด้วยไอน้ำ 45 นาที อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง บดด้วยเครื่องบดความเร็วสูง 3,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที วิเคราะห์ความชื้น และวัดสีด้วยอุปกรณ์ Chromameter ในระบบ CIELAB ให้ค่าเป็น L*, a* และ b* ทุกๆ 12 ชั่วโมง จนตัวอย่างกากถั่วดาวอินคา มีความชื้นประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับกากถั่วที่ไม่ผ่านการนึ่ง ศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาการอบต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาตามแผนการทดลองตารางที่ 7 วิเคราะห์คุณภาพกายภาพ และเคมี ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า คาร์โบไฮเดรต ปริมาณกลูเตนโดยใช้เครื่อง Glutomatic System Operation Manual ปริมาณ amylose ปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) ค่าการดูดซึมน้ำของแป้ง (Water absorption) ค่าสีด้วยอุปกรณ์ Chromameter ในระบบ CIELAB ให้ค่าเป็น L*, a* และ b* ผลการทดลองตามตารางที่ 17-21 และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) กลิ่นถั่วดาวอินคาเปรียบเทียบกับแป้งสาลีในระดับห้องปฏิบัติการผลการทดลองตามตารางที่ 18 และ 19 การนึ่งกากถั่วดาวอินคาด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 98±2 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที ตัวอย่างมีความชื้นหลังผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม 4.83±0.12 เป็น 7.82±0.24 เปอร์เซ็นต์ นำมาอบด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งและไม่นึ่งมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการนึ่ง 72 ชั่วโมง (ตารางที่ 16) การให้ความร้อนด้วยการนึ่ง และการทำแห้งด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาแตกต่างกันมีผลทำให้แป้งถั่วมีลักษณะสีเข้มขึ้น (ภาพที่ 26) ค่าสี L* ความสว่างของสีมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการอบ และตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งมีค่าสี L* เริ่มต้น เท่ากับ 71.47+0.02 สิ้นสุดระยะเวลาการอบแห้ง 72 ชั่วโมง มีค่าสี L* ลดลงเหลือเท่ากับ 65.17±0.49 และค่าสี a* ค่าสีแดงและเขียว b* ค่าสีเหลืองและน้ำเงิน ของแป้งถั่วดาวอินคา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการอบ 72 ชั่วโมง (ตารางที่ 17) เนื่องจากความร้อนในการอบทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) และกรดอะมิโน (Amino acid) เกิดสารประกอบเมลานอยดินส์ (Melanoidins) เป็นสารประกอบสีน้ำตาล โดยปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเกิดได้รวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และทำให้เกิดลักษณะสีเข้มขึ้น (สมวิภา พวงมณี, 2547; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

**ตารางที่ 16** ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งที่ระยะเวลา 45 นาที ก่อนการอบแห้งด้วยลมร้อนระยะเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาการอบแห้ง (ชั่วโมง) | ปริมาณความชื้น (%) | |
|---|---|---|
| | นึ่งด้วยไอน้ำ | ไม่ผ่านการนึ่ง |
| 0 | 7.82±0.24[a] | 4.83±0.12[a] |
| 12 | 6.75±0.22[b] | 4.02±0.29[b] |
| 24 | 6.02±0.14[c] | 3.48±0.17[c] |
| 36 | 5.89±0.19[d] | 2.25±0.26[d] |
| 48 | 5.17±0.27[e] | 1.75±0.69[e] |
| 60 | 4.56±0.21[f] | 1.03±0.52[f] |
| 72 | 3.42±0.36[g] | 0.85±0.64[g] |

**หมายเหตุ:** ตัวเลขในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต(P<0.05)

**ตารางที่ 17** ค่าสีของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งที่ระยะเวลา 45 นาที ก่อนการอบแห้งด้วยลมร้อนระยะเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาการอบ (ชั่วโมง) | นึ่งด้วยไอน้ำ | | | ไม่ผ่านการนึ่ง | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | L* | a* | b* | L* | a* | b* |
| 0 | 71.47±0.02[a] | 1.69±0.23[g] | 15.64±0.79[g] | 71.95±0.57[a] | 1.72±0.09[g] | 14.62±0.25[g] |
| 12 | 70.74±0.41[b] | 1.74±0.51[f] | 16.45±0.23[f] | 70.81±0.78[b] | 1.95±0.25[f] | 15.21±0.14[f] |
| 24 | 69.47±0.52[c] | 2.23±0.03[e] | 17.54±0.02[e] | 69.56±0.52[c] | 2.03±0.13[e] | 16.08±0.09[e] |
| 36 | 68.22±0.36[d] | 2.97±0.41[d] | 18.74±0.74[d] | 68.41±0.14[d] | 2.61±0.57[d] | 18.69±0.22[d] |
| 48 | 67.43±0.71[e] | 3.24±0.12[c] | 19.54±0.62[c] | 67.52±0.85[e] | 3.49±0.47[c] | 19.29±0.09[c] |
| 60 | 66.21±0.68[f] | 4.57±0.08[b] | 20.47±0.54[b] | 66.24±0.96[f] | 3.84±0.08[b] | 20.41±0.74[b] |
| 72 | 65.17±0.49[g] | 4.98±0.74[a] | 21.35±0.4[a] | 65.10±0.17[g] | 4.07±0.41[a] | 21.22±0.52[a] |

**หมายเหตุ:** ตัวเลขในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต(P<0.05)

(ก) (ข) (ค)

**ภาพที่ 26** กากถั่วดาวอินคาหลังบีบน้ำมัน (ก) แป้งถั่วดาวอินคา นึ่งและอบแห้ง (ข) ไม่ผ่านการนึ่งก่อนอบแห้ง (ค)

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งและไม่นึ่ง อบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ทดสอบผู้บริโภคในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้สเกลวัดระดับความชอบแบบ hedonic scale 1-9 point โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ประเมินสี ความเข้มกลิ่นถั่ว และลักษณะปรากฏ โดยให้คะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 9 โดยคะแนน 0 หมายถึง ไม่ชอบมาก และ 9 คือชอบมากที่สุด (ตารางที่ 18) พบว่าเมื่อระยะเวลาการอบเพิ่มขึ้นระดับคะแนนสี กลิ่น ลักษณะปรากฏ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งตัวอย่างที่ผ่านการนึ่งและไม่นึ่งก่อนอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง มีคะแนนการยอมรับกลิ่นที่ผ่านการนึ่งระยะเวลาการอบ 72 ชั่วโมง มีระดับคะแนน 7.37±0.15 และไม่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง คะแนน 7.35±0.15 เพราะการให้ร้อนสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นถั่วซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้ (Kong *et al.,* 2008) ดังนั้นเลือกแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่ง และไม่ผ่านการนึ่ง อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ทดสอบผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (Baking test) ด้วยการทำเค้กในการทดลองต่อไป

**ตารางที่ 18** คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อแป้งถั่วดาวอินคาผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งและไม่นึ่ง อบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง

| ระยะเวลาการอบ (ชั่วโมง) | ผ่านการนึ่ง | | | ไม่ผ่านการนึ่ง | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | สี | กลิ่น | ลักษณะปรากฏ | สี | กลิ่น | ลักษณะปรากฏ |
| 0 | 5.21±0.32$^{g}$ | 3.69±0.28$^{g}$ | 4.57±0.32$^{e}$ | 6.74±0.41$^{e}$ | 3.51±0.08$^{g}$ | 5.79±0.32$^{g}$ |
| 12 | 6.30±0.47$^{f}$ | 4.24±0.18$^{f}$ | 5.71±0.07$^{d}$ | 7.24±0.71$^{d}$ | 4.30±0.14$^{f}$ | 6.21±0.07$^{f}$ |
| 24 | 6.50±0.85$^{e}$ | 5.14±0.10$^{e}$ | 6.22±0.77$^{c}$ | 7.52±0.65$^{b}$ | 5.24±0.05$^{e}$ | 6.97±0.77$^{e}$ |
| 36 | 6.97±0.12$^{d}$ | 6.38±0.71$^{d}$ | 6.27±0.81$^{c}$ | 7.69±0.11$^{a}$ | 6.28±0.41$^{d}$ | 7.12±0.81$^{d}$ |
| 48 | 7.10±0.43$^{c}$ | 7.21±0.15$^{c}$ | 6.81±0.74$^{b}$ | 7.74±0.25$^{a}$ | 6.61±0.15$^{c}$ | 7.34±0.74$^{c}$ |
| 60 | 7.22±0.52$^{b}$ | 7.38±0.41$^{b}$ | 7.17±0.31$^{a}$ | 7.35±0.21$^{c}$ | 7.20±0.41$^{b}$ | 7.44±0.09$^{b}$ |
| 72 | 7.40±0.28$^{a}$ | 7.37±0.15$^{a}$ | 7.20±0.45$^{a}$ | 7.31±0.25$^{c}$ | 7.35±0.15$^{a}$ | 7.57±0.14$^{a}$ |

**หมายเหตุ:** ตัวเลขในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต($p<0.05$)

เลือกแป้งถั่วดาวอินคาผ่านการนึ่งและไม่นึ่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีเปรียบเทียบกับแป้งสาลีที่ผลิตได้ของบริษัท คิงส์มิลลิ่ง (สุราษฎร์ธานี) จำกัด ผลการทดลองตามตารางที่ 19 ปริมาณความชื้นของแป้งสาลีมีค่าเท่ากับ 5.24±0.13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งและไม่นึ่งมีค่าเท่ากับ 3.42±0.36 และ 0.85±0.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณโปรตีน พบว่าแป้งถั่วดาวอินคานึ่งและไม่นึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงมีค่าเท่ากับ 41.21±0.78 และ 45.00±0.12 ตามลำดับ และมีปริมาณสูงกว่าแป้งสาลีที่มีค่าเท่ากับ 17.77±0.09 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ปริมาณไขมันแป้งถั่วดาวอินคานึ่งและไม่นึ่งมีค่าเท่ากับ 17.11±0.75 และ

18.64±0.27 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าแป้งสาลีที่มีค่าเท่ากับ 1.00±0.24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ปริมาณกลูเตน (gluten) แป้งถั่วดาวอินคาผ่านการนึ่งและไม่นึ่งมีปริมาณเท่ากับ 6.5±0.41 และ 6.63±0.11 ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งสาลีพบว่าแป้งสาลีมีปริมาณกลูเตนมากกว่าแป้งถั่วดาวอินคา มีค่าเท่ากับ 15.24±0.13 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 19) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ปัจจุบันผู้บริโภคมีการแพ้กลูเตนเพิ่มมากขึ้น การแพ้กลูเตนเกิดจากภาวะที่ร่างกายมีปฏิกิริยาไวต่อกลูเตนทำให้เกิดอาการปวดท้อง ท้องเสีย ท้องผูก และปัญหาระบบทางเดินอาหารอื่น ๆ สามารถป้องกันได้ด้วยการหลีกเลี่ยงอาหารที่มีกลูเตน ผู้บริโภคกลุ่มเหล่านี้ จำเป็นต้องบริโภคผลิตภัณฑ์แป้งจากธัญพืชทดแทนแป้งสาลี (Stoven *et al.,* 2012) เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคา มีปริมาณโปรตีนสูง กลูเต้นปริมาณน้อยเหมาะสำหรับการใช้บริโภคทดแทนแป้งสาลี หรือใช้ร่วมกับแป้งสาลีเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เพิ่มไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย โอเมก้า 3 และ 6 สูง รวมถึงปริมาณโปรตีนที่สูง แต่ไม่เหมาะกับผู้ที่แพ้กลูเต้นเนื่องจากยังมีกลูเตนเป็นส่วนประกอบ ดังนั้นนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำ อบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ทดสอบการใช้งานในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (Baking test) ในการทดลองต่อไป

**ตารางที่ 19** คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่ง ระยะเวลา 45 นาที อบแห้งด้วยลมร้อน อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง

| คุณภาพกายภาพและทางเคมี | ปริมาณ (%) | | |
|---|---|---|---|
| | แป้งสาลี | นึ่งด้วยไอน้ำ | ไม่ผ่านการนึ่ง |
| Moisture content (wt%) | 5.24±0.13$^{a}$ | 3.42±0.36$^{b}$ | 0.85±0.64$^{c}$ |
| Protein (%) | 17.77±0.09$^{c}$ | 41.21±0.78$^{b}$ | 45.00±0.12$^{a}$ |
| Oil (%) | 1.00±0.24$^{c}$ | 17.11±0.75$^{b}$ | 18.64±0.27$^{a}$ |
| Fiber (%) | 2.70±0.35$^{c}$ | 4.22±0.86$^{b}$ | 4.58±0.17$^{a}$ |
| Ash (%) | 0.16±0.02$^{c}$ | 4.01±0.52$^{b}$ | 4.36±0.04$^{a}$ |
| Carbohydrate (%) | 76.10±0.25$^{a}$ | 32.60±0.23$^{b}$ | 22.15±0.56$^{c}$ |
| Water activity (aw) (%) | 0.92±0.97$^{a}$ | 0.84±0.03$^{b}$ | 0.25±0.23$^{c}$ |
| Water adsorbance (g/g flour) | 5.10±0.74$^{a}$ | 1.87±0.28$^{b}$ | 1.79±0.43$^{c}$ |
| Amylose (%) | 22.39±0.48$^{a}$ | 3.06±0.05$^{b}$ | 3.08±0.05$^{b}$ |
| Gluten | 15.24±0.13$^{a}$ | 6.63±0.11$^{b}$ | 6.65±0.41$^{b}$ |

**หมายเหตุ:** ตัวเลขในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต($P<0.05$)

### 4.7.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เค้กจากแป้งถั่วดาวอินคา

นำแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำ อบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ทดสอบการใช้งานในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (Baking test) โดยผลิตเค้กอัตราส่วนแป้งถัวดาวอินคาต่อแป้งสาลี 1:0, 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 ทดสอบคุณภาพทางกายภาพ และเคมี ค่าสี L*, a*, b* เนื้อสัมผัสโดยใช้ texture analyzer และคุณภาพการยอมรับทางประสาทสัมผัสระดับ

ห้องปฏิบัติการโดยใช้สเกลวัดระดับความชอบแบบ hedonic scale 1-9 point โดยใช้ผู้ทดสอบกลุ่มเป้าหมาย จำนวน 30 คน เป็นชาย 10 คน หญิง 20 คน ทั้งหมดเป็นนักศึกษา บุคลากร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และรับความเห็นของพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพและวิจัย บริษัทคิงส์ไบโอ-โปรดักส์ จำกัด ประเมินลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมโดยให้คะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 9 โดยคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมาก และ 9 คือ ชอบมากที่สุด ผลการทดลองตามตารางที่ 20-23 เค้กจากแป้งถั่วดาวอินคา 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการนึ่ง สูตร 1:0 เค้กมีลักษณะสีเหลืองอ่อนปกติเหมือนกับเค้กทั่วไปที่ไม่ได้ใส่ถั่วดาวอินคาสูตร 0:1 (ภาพที่ 27) และทดสอบทำผลิตภัณฑ์เค้ก มีค่าความสว่างของสี L* เท่ากับ 76.65±0.02 ค่าสี a* เท่ากับ 6.79±0.01 และค่าสี b* เท่ากับ 22.79±0.05 มีค่าความแข็ง (Hardness) สูงสุดเท่ากับ 4,243.32±0.18 Kg force และมีค่าลดลงตามสัดส่วนของถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งต่อแป้งสาลีในการทำผลิตภัณฑ์เค้กอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 มีค่าเท่ากับ 3,731.23±1.58, 2672.74±0.15, 2323.07±0.78 และ 1436.33±0.08 Kg force ตามลำดับ (ตารางที่ 20) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับเค้กแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการนึ่งอัตราส่วนแป้งถั่วดาวอินคา 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแข็ง (Hardness) สูงสุดเท่ากับ 5953.33±0.58 Kg force และมีค่าลดลงตามสัดส่วนของถั่วดาวอินคาต่อแป้งสาลีในการทำผลิตภัณฑ์เค้กอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 มีค่าเท่ากับ 4,773.33±0.58, 3,313.67±0.58, 2,572.33±0.58 และ2,886.33±0.58 Kg force ตามลำดับ (ตารางที่ 21) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สอดคล้องกับคุณภาพการยอมรับของผู้บริโภคที่ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์เค้กถั่วดาวอินคาต่อแป้งสาลี อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 ทั้งนึ่งและไม่นึ่ง มีระดับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนน (ตารางที่ 22 และ 23) และผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์เค้กจากแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการนึ่งอัตราส่วนผสมถั่วดาวอินคาต่อแป้งสาลี 1:0 หรือ 100 เปอร์เซ็นต์ของเค้กแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการนึ่ง มีระดับคะแนนการยอมรับโดยร่วมมากกว่า 6 คะแนน (ตารางที่ 23)

(ก) (ข) (ค) (ง)

**ภาพที่ 27** เค้กแป้งสาลี (ก) เค้กแป้งถั่วดาวอินคาไม่ผ่านการนึ่งต่อแป้งสาลีอัตราส่วน 0:1 (ข)เค้กแป้งถั่วดาวอินคาผ่านการนึ่งต่อแป้งสาลีอัตราส่วน 1:2 (ค) เค้กแป้งถั่วดาวอินคาผ่านการนึ่งต่อแป้งสาลีอัตราส่วน 1:3 (ค)

**ตารางที่ 20** คุณภาพกายภาพ สี และเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์เค้กแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งผสมแป้งสาลีอัตราส่วน 0:1 และ 1:1-1:4

| คุณภาพ | อัตราส่วนแป้งถั่วดาวอินคาต่อแป้งสาลี | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0:1 | 1:0 | 1:1 | 1:2 | 1:3 | 1:4 |
| ค่าสี L* | 75.54±0.02$^{bc}$ | 76.65±0.01$^{a}$ | 75.67±0.02$^{bc}$ | 75.18±0.02$^{bc}$ | 74.38±0.33$^{d}$ | 74.17±0.02$^{d}$ |
| ค่าสี a* | 4.40±0.01$^{f}$ | 6.79±0.01$^{a}$ | 6.43±0.02$^{b}$ | 5.30±0.05$^{c}$ | 4.96±0.01$^{d}$ | 4.63±0.02$^{e}$ |
| ค่าสี b* | 22.66±0.11$^{cd}$ | 22.79±0.05$^{cd}$ | 22.63±0.03$^{d}$ | 23.38±0.01$^{a}$ | 22.70±0.02$^{cd}$ | 23.02±0.02$^{b}$ |
| Hardness (Kg force) | 2014.67±0.58$^{d}$ | 4243.32±0.18$^{a}$ | 3731.23±1.58$^{b}$ | 2672.74±0.15$^{c}$ | 2323.07±0.78$^{cd}$ | 1436.33±0.08$^{e}$ |
| Springiness | 14.63±0.81$^{a}$ | 13.40±0.17$^{a}$ | 13.35±0.39$^{a}$ | 12.07±0.06$^{bc}$ | 12.59±0.10$^{b}$ | 12.22±0.70$^{b}$ |
| Cohesiveness | 0.47±0.02$^{d}$ | 0.37±0.07$^{d}$ | 0.74±0.18$^{c}$ | 0.72±0.74$^{c}$ | 0.89±0.05$^{b}$ | 0.96±0.02$^{a}$ |
| Gumminess (Kg force) | 1270.67±0.58$^{f}$ | 1674.33±0.18$^{cb}$ | 1776.33±0.58$^{b}$ | 1645.33±0.58$^{cd}$ | 1987.33±0.58$^{a}$ | 1340.67±0.58$^{e}$ |
| Chewiness (Kg force) | 1743.67±0.58$^{c}$ | 1244.33±0.28$^{f}$ | 1578.67±0.74$^{e}$ | 1603.33±0.24$^{d}$ | 1931.67±0.78$^{a}$ | 1842.67±0.12$^{b}$ |

**หมายเหตุ:** ตัวเลขในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต($p<0.05$)

**ตารางที่ 21** คุณภาพกายภาพ สี และเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์เค้กแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่นึ่งผสมแป้งสาลีอัตราส่วน 0:1 และ 1:1-1:4

| คุณภาพ | อัตราส่วนแป้งถั่วดาวอินคาต่อแป้งสาลี | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0:1 | 1:0 | 1:1 | 1:2 | 1:3 | 1:4 |
| ค่าสี L* | 75.54±0.02$^{bc}$ | 77.64±0.01$^{a}$ | 75.18±0.02$^{c}$ | 75.67±0.02$^{b}$ | 74.38±0.33$^{d}$ | 74.17±0.02$^{d}$ |
| ค่าสี a* | 4.40±0.01$^{f}$ | 6.78±0.01$^{a}$ | 6.43±0.02$^{b}$ | 5.30±0.05$^{c}$ | 4.96±0.01$^{d}$ | 4.63±0.02$^{e}$ |
| ค่าสี b* | 22.66±0.11$^{cd}$ | 22.79±0.05$^{cd}$ | 22.63±0.03$^{d}$ | 23.38±0.01$^{a}$ | 22.70±0.02$^{cd}$ | 23.02±0.02$^{b}$ |
| Hardness (Kg force) | 2014.67±0.58$^{a}$ | 5953.33±0.58$^{f}$ | 4773.33±0.58$^{e}$ | 3313.67±0.58$^{d}$ | 2572.33±0.58$^{b}$ | 2886.33±0.58$^{c}$ |
| Springiness | 14.63±0.81$^{a}$ | 12.40±0.17$^{c}$ | 9.35±0.38$^{d}$ | 13.46±0.36$^{bc}$ | 12.52±0.20$^{c}$ | 12.22±0.70$^{d}$ |
| Cohesiveness | 0.47±0.02$^{a}$ | 0.32±0.04$^{c}$ | 0.42±0.02$^{a}$ | 0.35±0.04$^{ab}$ | 0.39±0.01$^{ab}$ | 0.36±0.02$^{ab}$ |
| Gumminess (Kg force) | 1270.67±0.58$^{d}$ | 1754.33±0.58$^{b}$ | 1876.33±0.58$^{a}$ | 1345.33±0.58$^{c}$ | 1734.33±0.58$^{b}$ | 1240.67±0.58$^{d}$ |
| Chewiness (Kg force) | 1743.67±0.58$^{b}$ | 1814.33±0.58$^{a}$ | 978.67±0.58$^{c}$ | 1703.33±0.58$^{b}$ | 1931.67±0.58$^{a}$ | 1742.67±0.58$^{b}$ |

**หมายเหตุ:** ตัวเลขในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($p<0.05$)

**ตารางที่ 22** คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เค้กแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งผสมแป้งสาลีอัตราส่วน 0:1 และ 1:1-1:4

| ผลการวิเคราะห์ | สูตร | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0:1 | 1:0 | 1:1 | 1:2 | 1:3 | 1:4 |
| ความชอบด้านลักษณะปรากฏ | 7.86±0.77$^{a}$ | 5.40±1.90$^{d}$ | 6.23±1.57$^{cd}$ | 6.83±1.14$^{b}$ | 6.73±0.91$^{c}$ | 6.23±1.63$^{cd}$ |
| ความชอบด้านสี | 8.00±0.78$^{a}$ | 5.96±1.21$^{d}$ | 7.37±1.12$^{b}$ | 4.36±1.56$^{e}$ | 7.37±1.13$^{b}$ | 6.56±2.12$^{cd}$ |
| ความชอบด้านกลิ่น | 7.40±1.07$^{a}$ | 5.66±1.58$^{d}$ | 6.56±1.25$^{c}$ | 6.53±1.50$^{cd}$ | 6.70±1.26$^{b}$ | 6.53±1.61$^{cd}$ |
| ความชอบด้านรสชาติ | 7.56±1.22$^{a}$ | 5.06±1.25$^{d}$ | 5.80±1.39$^{c}$ | 5.83±1.28$^{c}$ | 6.13±1.19$^{b}$ | 5.10±1.42$^{d}$ |
| ความชอบด้านเนื้อสัมผัส | 7.30±0.98$^{a}$ | 5.06±1.57$^{d}$ | 6.00±1.57$^{c}$ | 5.70±1.60$^{d}$ | 6.83±1.01$^{b}$ | 6.30±1.31$^{b}$ |
| ความชอบโดยรวม | 7.76±0.85$^{a}$ | 5.56±1.59$^{c}$ | 6.46±1.30$^{b}$ | 6.53±1.25$^{b}$ | 6.73±1.20$^{b}$ | 6.10±1.32$^{b}$ |

**หมายเหตุ:** ตัวเลขในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($p<0.05$)

**ตารางที่ 23** คุณภาพทางประสาทสัมผัสของของผลิตภัณฑ์เค้กแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่นึ่งผสมแป้งสาลีอัตราส่วน 0:1 และ 1:1-1:4

| ผลการวิเคราะห์ | สูตร | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0:1 | 1:0 | 1:1 | 1:2 | 1:3 | 1:4 |
| ความชอบด้านลักษณะปรากฏ | 7.87±0.78$^{a}$ | 6.87±1.25$^{b}$ | 7.07±1.14$^{b}$ | 7.40±0.93$^{b}$ | 6.23±1.47$^{c}$ | 6.27±1.55$^{c}$ |
| ความชอบด้านสี | 8.00±0.78$^{a}$ | 7.16±1.11$^{ab}$ | 7.10±1.32$^{ab}$ | 7.06±1.01$^{ab}$ | 6.46±1.65$^{b}$ | 7.06±0.98$^{ab}$ |
| ความชอบด้านกลิ่น | 7.40±1.69$^{a}$ | 6.43±1.47$^{bc}$ | 6.66±0.95$^{ab}$ | 6.73±1.20$^{ab}$ | 5.76±1.45$^{c}$ | 6.26±1.20$^{ab}$ |
| ความชอบด้านรสชาติ | 7.56±1.22$^{ca}$ | 5.83±1.51$^{c}$ | 6.86±1.95$^{bc}$ | 7.20±1.03$^{b}$ | 5.70±1.48$^{c}$ | 5.96±1.42$^{c}$ |
| ความชอบด้านเนื้อสัมผัส | 7.30±0.98$^{ca}$ | 6.03±1.32$^{ac}$ | 6.30±1.14$^{abbc}$ | 7.03±1.09$^{bb}$ | 5.96±1.56$^{ac}$ | 6.43±1.43$^{bc}$ |
| ความชอบโดยรวม | 7.76±0.85$^{ca}$ | 6.40±1.32$^{b}$ | 7.10±0.99$^{abca}$ | 7.20±0.80$^{bca}$ | 7.20±0.80$^{bca}$ | 6.53±1.27$^{ab}$ |

**หมายเหตุ:** ตัวเลขในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($p<0.05$)

**4.8 พัฒนาบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์แป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา**

การออกแบบบรรจุภัณฑ์แป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา สำรวจข้อมูลตามท้องตลาดและความนิยมของผู้บริโภคอาหารผลิตภัณฑ์เบเกอร์รี่ และจากความต้องการของสถานประกอบการบริษัท คิงส์ไบโอ-โปรดักส์ จำกัด ประชุมทีมวิจัยกับฝ่ายควบคุมคุณภาพและวิจัย ร่วมถึงฝ่ายการตลาด ออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการจัดจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภค ง่ายต่อการทำผลิตภัณฑ์เบเกอร์รี่ สะดวกต่อการใช้งานและพกพา บรรจุใส่ถุงซิปขนาดมาตรฐานทั่วไปที่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยบรรจุ 100 กรัม ต่อถุงภายใต้ตราสินค้า (Logo) คือ ORGANICA หลังจากได้ผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม (ภาพที่ 28) นำไปทดสอบผู้บริโภคในระดับห้องปฏิบัติการจำนวนผู้ทดสอบ 30 คน เป็นนักศึกษา บุคคลากรเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ที่มีพฤติกรรมบริโภคอาหารเบเกอร์รี่ และผู้ประกอบการ บริษัท คิงส์ มิลลิ่ง (สุราษฎร์ธานี) จำกัด พบว่าผู้บริโภคและผู้ประกอบการให้การยอมรับบรรจุภัณฑ์แป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคามากที่สุด คือ แบบที่ 2 ภาพที่ 28 (ข) สำหรับใช้ในการผลิตแป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคาที่เป็นผลพลอยได้จากการบีบสกัดน้ำมัน แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อจัดจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

(ก)

(ข)

**ภาพที่ 28** ภาพบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์แป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่ 2

**4.9 ศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์**

ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์การผลิตอาหารเสริมที่มีปริมาณกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมก้า 3 และ 6 สูง และแป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา โดยวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเป็นเงิน (บาท) ต่อผลิตภัณฑ์ตามตารางที่ 25 ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีปริมาณกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมก้า 3 และ 6 สูง บรรจุขวด 42 กรัม 60 แคปซูล มีต้นทุนวัตถุดิบน้ำมันต่อขวด 170 บาท บรรจุภัณฑ์แคปซูลซอฟเจล ราคา 120 บาท บรรจุภัณฑ์ขวด กล่อง และฉลาก ราคา 30 บาท ค่าน้ำ 0.50 บาท ค่าไฟ 0.50 บาท ค่าแรง 0.50 บาท ค่าขนส่ง 0.50 บาท ค่าบริหารจัดการ 1.50 บาท รวมต้นทุนการผลิตโดยประมาณเท่ากับ 323.50 บาท (ตารางที่ 24) ทางบริษัทกำหนดราคาขายจากผล การสำรวจและการยอมรับของผู้บริโภคอยู่ที่ 399 บาทต่อขวด จะได้กำไร 75.50 บาทต่อขวด และต้นทุนผลิตภัณฑ์แป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคาตามตารางที่ 26 ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์แป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคาบรรจุถุงแบบซองตั้งขนาด 100 กรัม ราคา 17 บาท บรรจุภัณฑ์ถุงแบบซองตั้งรวมรายละเอียดฉลากราคาถุงใบละ 15 บาท ค่าน้ำ 0.50 บาท ค่าไฟ 0.50 บาท ค่าแรง 0.50 บาท ค่าขนส่ง 0.50 บาท ค่าบริหารจัดการ 1.50 บาท รวมต้นทุนการผลิตโดยประมาณเท่ากับ 35.50 บาท (ตารางที่ 25) ทางบริษัทกำหนดราคาขายจากผล การสำรวจและการยอมรับของผู้บริโภคอยู่ที่ 159 บาทต่อถุง จะได้กำไร 83.50 บาทต่อถุง

**ตารางที่ 24** ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีปริมาณกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมก้า 3 และ 6 สูง จากถั่วดาวอินคา

| รายการ | ผลิตภัณฑ์อาหารเสริม | |
|---|---|---|
| | จำนวน | ราคา (บาท) |
| ถั่วดาวอินคา | 1 กิโลกรัม | 170.00 |
| บรรจุภัณฑ์ (ซอฟเจล) | 60 แคปซูล | 120.00 |
| บรรจุภัณฑ์ (ขวด กล่อง ฉลาก) | 1 ชิ้น | 30.00 |
| บริหารจัดการ | - | 1.50 |
| อื่นๆ (เช่น ค่าแรง ค่าน้ำ ค่าไฟ) | - | 2.00 |
| รวม | | 323.50 |

**ตารางที่ 25** ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์แป้งโปรตีนสูงจากถั่วดาวอินคา

| รายการ | ผลิตภัณฑ์แป้งโปรตีนสูง | |
|---|---|---|
| | จำนวน | ราคา (บาท) |
| ถั่วดาวอินคา | 1 กรัม | 17.00 |
| บรรจุภัณฑ์ (ถุง กล่อง ฉลาก) | 1 ชิ้น | 15.00 |
| บริหารจัดการ | - | 1.50 |
| อื่นๆ (เช่น ค่าแรง ค่าน้ำ ค่าไฟ) | - | 2.00 |
| รวม | | 35.50 |

# บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

1. การตกผลึกไขมันออกจากน้ำมันถั่วดาวอินคาที่ได้จากการบีบอัดเพื่อเพิ่มปริมาณโอเมก้า 3 และ 6 ให้สูงขึ้น ค่าไอโอดีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 168.58±0.42 $I_2$/g มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายพันธะ 84.52 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกรดไขมัน Linolenic acid (C18:3,ALA,Omega-3) เท่ากับ 45.77 เปอร์เซ็นต์

2. การสกัดน้ำมันจากถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 สูงโดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวด (Supecitical Carbon Dioxide : $SCCO_2$) อุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลามีผลต่อการสกัดน้ำมัน พบว่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ ระยะเวลา 120 นาที มีปริมาณน้ำมันสูงสุด มีค่าเท่ากับ 30.23±0.99 เปอร์เซ็นต์ พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีปริมาณกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมก้า 3 และ 6 สูง บรรจุขวด 42 กรัม จำนวน 60 แคปซูล มีต้นทุนการผลิตต่อขวด 170 บาท กำหนดราคาขาย 399 บาทต่อขวด

3. กากถั่วดาวอินคาจากการบีบสกัดน้ำมันสามารถใช้ทำแป้งโปรตีนสูง เพื่อจัดจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ สามารถใช้ผลิตเค้กจากแป้งถั่วดาวอินคาต่อแป้งสาลีได้ และผู้บริโภคให้การยอมรับ มีต้นทุนการผลิตโดยประมาณเท่ากับ 35.50 บาทต่อถุง ทางบริษัทกำหนดราคาขาย 159 บาทต่อถุง จะได้กำไร 83.50 บาทต่อถุง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ถั่วดาวอินคามีปริมาณน้ำมันที่มีโอเมก้า 3 และ 6 สูง และผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันกากถั่วมีปริมาณโปรตีนสูง ในอนาคตควรศึกษาทางเลือกของการใช้ประโยชน์จากน้ำมันที่สกัดได้ และพัฒนาผลิตภัณฑ์โปรตีนสูงจากแป้งถั่วดาวอินคา หรือใช้เป็นแหล่งของโปรตีนจากพืช (plant based protein)

2. ถั่วดาวอินคา มีอัลคาลอยด์เป็นองค์ประกอบ ผู้บริโภคบริโภคถั่วดาวอินคาจะทำให้เกิดอาการมึนเมาได้ อัลคาลอยด์อิสระไวต่อการสลายตัว จะสลายตัวได้ที่ความร้อนสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส (กฤษณา, 2529) ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ความร้อนกับแป้งถั่วดาวอินคาผ่านด้วยการและไม่นึ่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง นำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กโดยใช้อุณหภูมิในการอบเค้ก 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 40 นาที เพราะฉะนั้นแป้งถั่วดาวอินคาจึงไม่มีอัลคาลอยด์หลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์

# บรรณานุกรม


กนกอร นันตะธนะ. (2555). การใช้กากถั่วเหลืองเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในเค้กผลไม้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, วิทยาศาสตร์การอาหาร, อุตสาหกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กระวี ตรีอำนรรค. (2547).การศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันงาดิบด้วยวิธีการสกัดเย็น. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร,คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กระวี ตรีอำนรรค. (2551). การออกแบบสร้างเครื่องทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟในสุญญากาศ. ปทุมธานี:ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. (2548). เอกสารประกอบการสอน วิชา 311471 *เทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์ขนมอบ*. (Bakery Technology). มหาวิทยาลัยบูรพา: ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). เทคโนโลยีของแป้ง (พิมพ์ครั้งที่3). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คัดนางค์ ทองสุก. (2542). ถั่วเหลืองอาหารเพื่อสุขภาพ. *วารสารอาหาร*, *29*(3), 212-213.

จินธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2546). เบเกอรีเทคโนโลยีเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 7).กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จินตนา อุปดิสสกุล. (2540). การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จิรนาถ ทิพย์รักษา และนาตยา สินทวี. (2553). การใช้กากเมล็ดทานตะวันเสริมเส้นใยในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย.สาขาวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสยาม.

จันทร์เพ็ญ ภูมิ่งเดือน. (2552). การผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์และการประยุกต์ใช้ในเครื่องดื่มข้าวชนิดชงดื่ม. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, เทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ชุลีพร บุ้งทอง. (2558). ผลของปริมาณกลูเตนจากข้าวสาลี น้ำ ไฮโดรซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ซูโครสเอสเทอร์ และเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ที่มีต่อคุณภาพของขนมปังข้าวหอมนิล. วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยบูรพา

ณัฐธิดา มหาชัยราชัน, กมลวรรณ แจ้งชัด และอนุวัตร แจ้งชัด. (2554). *ผลของไฮโดรคอลลอยด์และความชื้นของส่วนผสมต่อคุณภาพของอาหารเช้าชนิดแผ่นจากแป้งข้าวกล้องงอกในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49*. (หน้า 398-405). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธงชัย สุวรรณสิชณน์. (ม.ป.ป). เทคนิคการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการวิเคราะห์. สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธัญญาภาณ์ ศิริเลิศ. (2550). การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร.วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 1, 6-13

ธีรศักดิ์ ปั้นวิชัย. 2565. เทคโนโลยีปาล์มฐ้ามัน ศูนย์วิจัยผลิตภัณฑ์มูลค่าโอเลโอเคมีคอลแบบครบวงจร. พิมพ์ครั้งที่ 1. ห้างหุ้นส่วนสามัญ หาดใหญ่ดิจิตอล พริ้นท์. หน้า 63-72.

นิติยา รัตนาปนนท์. (2554). หลักการวิเคราะห์อาหาร. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์

น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป, สุขสมาน สังโยคะ และปวีนา น้อยทัพ. (2555). การใช้กากถั่วลิสงหลังบีบน้ำมันเป็นสารเสริมโปรตีนในคุกกี้. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 20, 42-49

ปิยะรัชช์ กุลเมธี, อภิญญา จันทรวัฒนะ, หทัยชนก ศรีประไพ และภัทรพล เศรษฐโชดึก. (2553). การใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลืองแทนแป้งสาลีในผลิภัณฑ์ขนมปัง. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 20 (1), 97-105.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป) . Protein/โปรตีน. วันที่ค้นข้อมูล 15 สิงหาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1189/protein-โปรตีน

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป). Steaming/การนึ่ง. วันที่ค้นข้อมูล 3 พฤษภาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1612/steaming-การนึ่ง

ยุพร พืชกมุทร และวิญญ์ ผิวนิ่ม. (2554) .การปรับปรุงคุณภาพของขนมปังแซนด์วิชที่ใช้กากถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลี.วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 21 (ฉบับที่ 3).607-616

รัตนาภรณ์ถาแกว, วารุณอร จันต๊ะอิน และสุวรรณา เดชะรัตนางกูง. (ม.ป.ป). การทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วเหลืองในเสนขาวซอย.วันที่ค้นข้อมูล 15 สิงหาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.arda.or.th/kasetinfo/north/research_soybean/research_soybean38.pdf

วนิดา ชารีมุ้ย. (2556). อิทธิพลของการให้ความร้อนต่อการกะเทาะเปลือกถั่วเหลืองและสมบัติของแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม. วิศกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร,คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วรรณพร นวลศรีไพร. (2550). ผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยฟลาวร์กากเมล็ดทานตะวันไขมันต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบแท่ง. วิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สุภาวิณีแสนทวีสุข และมาลีน่า สันเต๊ะ. (2557). ผลของการใช้กากถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีต่อคุณภาพของบัตเตอร์เค้ก.วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 45 (2), 453-456

อุดมวิทย์ ไวทยการ,กัญญารัตน์ จำปาทอง และเถลิงศักดิ์ วีรวุฒิ. (2557). *ดาวอินคา พืชมหัศจรรย์ สุดยอดโภชนาการ*. เข้าถึงได้จาก http://www.doa.go.th/pibai/pibai/n17/v_10- nov/rai.html

อุทัยวรรณ ทองทั้งวงศ์ และสุนทรี สุวรรณสิชณน์.(2553). ผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวสีนิลต่อคุณภาพของบัตเตอร์เค้ก. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

Achouri, A. B, J.I., & Zamani, Y. (2006). Identification of compounds in soymilk using solid-phase microextraction-gasn chromatography. Food chemistry, 99, 759-766

Aditya, U. J., Liu, C., Sathe, S. K. (2015). Functional properties of select seed flours. Food Science and Technology, 60, 325-331

Amin, T., Bashir, A., Dar, B. N., & Naik, H. R. (2016). Development of high protein and sugar-free cookies fortified with pea (Pisum sativum L.) flour, soya bean (Glycine max L.) flour and oat (Avena sativa L.) flakes. International Food Research Journal, 23, 72-76

Andrade, J., Mandarino, J., Kurozawa, L., & Ida, E. (2016). The effect of thermal treatment of whole soybean flour on the conversion of isoflavones and inactivation of trypsin inhibitors. Food Chemistry, 194, 1095–1101.

Ayoola, P.B., & Adeyeye, A. (2010). Effect of Heating on the Chemical Composition and Physico -Chemical Properties of Arachis hypogea (Groundnut) Seed Flour and Oil. Pakistan Journal of Nutrition, 9, 751-754

Azizah, A.H., & Zainon, H. (1997). Effect of processing on dietary fiber contents of selected legumes and cereals. Journal of Nutrition, 3, 131-136

Benjakul, S., & Kudre (2013). Effects of binary organic solvents and heating on lipid removal and the reduction of beany odour in Bambara groundnut (Vigna subterranean) flour. Food Chemistry, 141, 1390–1397.

Bhat, R., & Binti Y. N. (2014). Evaluating belinjau (Gnetum gnemon L.) seed flour quality as a base for development of novel food products and food formulations Food Chemistry, 156, 42–49.

Blessing, I. A., & Gregory, I. O. (2010). Effect of Processing on the Proximate Composition of the Dehulled and Undehulled Mungbean [Vigna radiata (L.) Wilczek] Flours. Pakistan Journal of Nutrition, 9, 1006-1016,

David, O., Arthur, Eric., Kwadwo, S. O., Badu, E., Sakyi, P. (2015). Proximate Composition and Some Functional Properties of Soft Wheat Flour. Horticulture, Kwame Nkrumah University of Science & Technology.

Damodaran, S. (1996). Amino acids, peptides and proteins. In Food Chemistry, 3, 321-429

Eldridge, A. G., Warner, K., & Wolf, W. J. (1977). Alcohol treatment of soybeans and soybean protein products [Abstract]. Cereal Chemistry, 54, 1229 – 1237

Fanali, C., Dugo, L., Cacciola, F., Beccaria, M., Grasso, S., Dacha, M., Dugo, P., & Mondello, L. (2011). Chemical Characterization of Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) Oil. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59, 13043–13049

Gebhardt, S. E. & Thomas, R. G. (n.d.). Nutrient Composition of Retail Samples of Sorghum, Millet and Whole Wheat Flour.Beltsville Human Nutrition Research Center

Guilléna, M., Ruiza, A., Caboa, N., Chirinosb, R., & Pascualb, Gloria. (2003). Characterization of Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) Oil by FTIR Spectroscopy and 1H NMR. Comparison with Linseed Oil. Journal of the American Oil Chemists' Society, 80 (8), 755–762.

Hanssen, H.P., & Schmitz-Hubsch, M. (2011) .Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) Nut Oil and Its Therapeutic and Nutritional Uses.San Diego: Academic Press.

Jagersberger, J. (2013) . Development of novel products on basis of Sacha Inchi – Use of press cakes and hulls. Masterarbeit, University of Vienna.

Kato, H., Doi, Y., Tsugita, T., Kosai, K., Kamiya, T., & T. Kurata. (1981). Changes in volatile flavour components of soybeans during roasting. Food Chemistry, 7 (2), 87–94

Kim, J., Choi, I., Shin, W. K., & Kim, Y. (2015). Effects of HPMC (Hydroxypropyl methylcellulose) on oil uptake and texture of gluten-free soy donut [Abstract]. LWT - Food Science and Technology, 62, 620-627

Kudre, T. G., Benjakul, S. (2013) .Effects of binary organic solvents and heating on lipid removal and the reduction of beany odour in Bambara groundnut (Vigna subterranean) flour. Food Chemistry, 141, 1390-1397

Laure M. Benzing-Purdie, John A. Ripmeester, & Christopher I. Ratcliffe. Effects of temperature on Maillard reaction products. Agricultural and Food Chemistry, 33, 30-33

Machmudah, S., Maulana, N. A., Norman, A. S. M., Nyoto, V. M., Amrullah, I., Wahyudiono, Winardi, S., Wenten, I. G., & Goto, M. (2022). Oil removal from spent bleaching earth of vegetable oil refinery plant using supercritical carbon dioxide. Heliyon, 8(10)

Markom, M., Singh, H., & Hasan, H. 2001. Supercritical CO2 fractionation of crude palm oil. Journal of Supercritical Fluids. 20, 45–53.

Marston, K., houryieh, H., Aramouni, F. (2016). Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. LWT - Food Science and TechnologyII, 65, 637-644.

Maurer, N. E., Hatta-Sakoda, B., Pascual-Chagman, G., & Rodriguez-Saona, L. E. (2012). Characterization and authentication of a novel vegetable source of omega-3 fatty acids, sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) oil. Food Chemistry, 134, 1173-1180

Md Zaidul, I., Nik Norulaini, N., & Mohd Omar, A. (2006). Separation/fractionation of triglycerides in terms of fatty acid constituents in palm kernel oil using supercritical CO2. Journal of the Science of Food and Agriculture, 86(7), 1138-1145.

Montserrat-de la Paz, S., Marín-Aguilar, F., García-Giménes, M. D., & Fernández-Arche, M. A. 2014. Hemp (Cannabis sativa L.) seed oil: Analytical and phytochemical characterization of the unsaponifiable fraction. Journal of Agricultural and FoodChemistry. 62, 1105–1110.

Obaidy, H. M. and Siddhiqui, A. M. (1982) .Properties of broad bean lipoxygenase. Journal of Food Science, 46, 622

Schroder, D. J., & Jackson H. (1971). Preparation and evaluation of soybean curd reduced beany flavor [Abstract]. Journal of Food Science, 37, 450.

Wilken, W. F. (1967) .Effect of processing method on oxidative off flavor of soybean milk. Food Technology, 21, 960.

Wilson, L. A., Birmingham, V. A., Moon, D. P., & Snyder, H. E. (1978). Isolation and characterization of starch from mature soybeans. Cereal Chemistry, 55, 661-670.

Ziegler, G.R., & Foegeding, E.A. (1990). The gelation of proteins. Food Nutrition, 34, 203

# ประวัติผู้เขียน

**ชื่อ สกุล** นางสาวฐารวี วชิราตรียากุล
**รหัสประจำตัวนักศึกษา** 6340320403
**วุฒิการศึกษา**

| วุฒิ | ชื่อสถาบัน | ปีที่สำเร็จการศึกษา |
|---|---|---|
| วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีอาหาร) | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ | 2561 |

**ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)**

1. ทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร ปีงบประมาณ 2565

2.ทุนอุดหนุนวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีงบประมาณ 2564

3. ทุนสนับสนุนการศึกษา ศูนย์วิจัยผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงโอเลโอเคมีแบบครบวงจร ปีงบประมาณ 2564

**ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน (ถ้ามี)**

1. ผู้ช่วยนักวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี