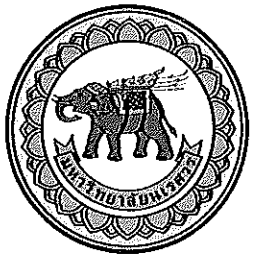


รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
FINAL REPORT

ผลของความแก่อ่อนและระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพของถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายและพิษณุโลก

Effect of maturity and time of harvest on chemical composition and quality of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivated in Chiangrai and Phitsanulok provinces

จัดทำโดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์

และ

รองศาสตราจารย์ ดร.สุดารัตน์ เจียมยั่งยืน

สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชากาการด้านไขมันและน้ำมัน

คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยนเรศวร

โครงการวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนจาก

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

ประจำปีงบประมาณ 2559

กรกฎาคม 2560

1038628

QK
495
.E9
K7318
2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง "ผลของความแก่อ่อนและระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพของถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายและพิษณุโลก" ได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา (HERP) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการในภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้านเทคนิคการปฏิบัติการต่าง ๆ ที่มีส่วนช่วยทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กรกฎาคม 2560

ชื่อภาษาไทย: ผลของความแก่อ่อนและระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพของถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายและพิษณุโลก

ชื่อภาษาอังกฤษ: Effect of maturity and time of harvest on chemical composition and quality of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivated in Chiangrai and Phitsanulok provinces

ผู้ศึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์
รองศาสตราจารย์ ดร. สุดารัตน์ เจียมยั่งยืน
สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชากาการด้านไขมันและน้ำมัน
คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลความแก่อ่อนและระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวต่อองค์ประกอบทางเคมี คุณภาพ และสารสำคัญของถั่วดาวอินคาที่ปลูกในที่แตกต่างกันและเก็บเกี่ยวในระยะเวลาที่ต่างกัน โดยเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคา 3 ระยะ ได้แก่ 1) เมื่อเปลือกเริ่มอ้า (เปลือกเขียว) 2) เมื่อเปลือกอ้ามากยิ่งขึ้น (เปลือกสีดำ) และ 3) เมื่อเปลือกอ้าและแห้ง (เปลือกสีน้ำตาล) จากแปลงเกษตรกรในจังหวัดเชียงรายและพิษณุโลก และเก็บเกี่ยวแปลงละ จำนวน 2 ครั้ง นำผลถั่วดาวอินคามาแกะเปลือกทันที อบแห้งเพื่อลดความชื้นให้เหลือ 3-5% ก่อนนำมาแยกเกรดโดยการลอยน้ำ อบแห้งอีกครั้ง กะเทาะกะลา แยกเนื้อใน เก็บรักษาเนื้อในในกระป๋องอะลูมิเนียมแบบสูญญากาศและเก็บในห้องแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18±2°C ก่อนนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี สารสำคัญ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ในแต่ละครั้งของการเก็บเกี่ยว คัดเลือกตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุดโดยใช้ถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวแบบปกติและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ปี เป็นตัวอย่างควบคุม พบว่าปริมาณความชื้นของเนื้อในพร้อมกะลาและเนื้อในมีค่าลดลงเมื่อถั่วดาวอินคามีความแก่มากขึ้น ส่วนเปอร์เซนต์เนื้อในแปรผันตรงกับความแก่ เนื้อในของถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดเชียงรายมีขนาดความกว้างและความยาวใหญ่กว่าที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดพิษณุโลก ค่า aw ค่าความแข็ง และค่าสีไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างตัวอย่าง ตัวอย่างควบคุมที่เก็บเกี่ยวจากเชียงรายมีปริมาณน้ำมัน (48.81%) และใยอาหาร (22.24%) สูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่เก็บเกี่ยวจากพิษณุโลก (41.88 และ 18.60%) แต่มีปริมาณโปรตีน (16.96%) และคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่า (7.70%) ในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 ตัวอย่างเปลือกอ้าและแห้งที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดเชียงรายมีปริมาณน้ำมันสูงที่สุด (47.26%) ในขณะที่ในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 ตัวอย่างเปลือกอ้าและแห้งที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดพิษณุโลกมีปริมาณน้ำมันสูงที่สุด (46.37%) ทุกตัวอย่างมีค่ากรดในช่วง 0.32-1.42 mg KOH/g ค่าเปอร์ออกไซด์ 0.48-0.49 meq/kg ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด 103-385 mg/100 g กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ FRAP 9.36-13.72% และ 5,803.99-10,700 mg Trolox equivalent ตามลำดับ เนื้อในของถั่วดาวอินคาประกอบด้วยกรดไขมัน 12 ชนิด โดยเป็นกรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโมโนและกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลี อย่างละ 4 ชนิด จากตัวอย่างถั่วดาวอินคา 14 ตัวอย่าง มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวเฉลี่ย 3.35 g/100 g กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโมโนเฉลี่ย 4.63 g/100 g และกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลีเฉลี่ย 30.91 g/100 g โดยกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลี ซึ่งคิดเป็น 79.48% ของกรดไขมันทั้งหมด ทุกตัวอย่างตรวจไม่พบ tran fats ไขมันส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 รองลงมาคือโอเมก้า 3 และ 9 ตามลำดับ และมีสัดส่วนโอเมก้า 6 ต่อ โอเมก้า 3 เท่ากับ 1.12-1.56 เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์

การคัดเลือกตัวอย่าง สรุปได้ว่า สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 คัดเลือกตัวอย่างเปลือกอ้าและแห้งที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดเชียงรายเป็นตัวอย่างที่เหมาะสำหรับการเก็บเกี่ยวมากที่สุด ส่วนการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 คัดเลือกตัวอย่างเปลือกอ้าและแห้งที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดพิษณุโลกเป็นตัวอย่างที่เหมาะสำหรับการเก็บเกี่ยวมากที่สุด นอกจากนี้ เนื้อในของถั่วดาวอินคายังประกอบไปด้วยกรดอะมิโน 19 ชนิด โดยกรดอะมิโนหลัก 5 ชนิดคือ lysine, tyrosine, leucine, glutamic acid และ isoleucine ซึ่งมีค่าเฉลี่ยจาก 2 ตัวอย่างควบคุมและ 2 ตัวอย่างที่ผ่านการคัดเลือกจากแหล่งที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกและเชียงราย คือ 5177 mg/100 g, 3454 mg/100 g, 2729 mg/100 g, 1772 mg/100 g และ 1541 mg/100 g ตามลำดับ และเนื้อในของถั่วดาวอินคามีปริมาณวิตามินอี (อัลฟ่า-โทโคฟีรอล) อยู่ในช่วง 1.02-1.42 mg/100 g ดังนั้น จะเห็น ได้ว่า เพื่อให้ได้เนื้อในถั่วดาวอินคาที่มีคุณภาพสูงและมีสารสำคัญต่อสุขภาพในปริมาณสูง ควรเก็บเกี่ยวผลถั่วดาวอินคาเมื่อเปลือกอ้าและแห้ง (เปลือกสีน้ำตาล) จากแปลงเกษตรกรที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกและเชียงราย

คำสำคัญ: ความแก่อ่อน, ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว, ปริมาณน้ำมัน, กรดไขมัน, ถั่วดาวอินคา

Abstract

This research was aimed to study the effect of maturity and time of harvest on the chemical composition, quality and some important compounds in Sacha inchi that cultivated at different places and harvested at different stages of matuirty. Three maturity stages of Sacha inchi were harvested from Phitsanulok and Chiangrai provinces' farms as 1) when the shuck is still green but splitted, 2) when the shuck is black and splitted, and 3) when the shuck is brown, dried and splitted. Two harvesting times were carried out for each farm. After harvest, the shuck was immediately removed, nut-in-shell samples were dried to a moisture content of 3-5%, graded by floating in water, dried again, cracked, separated kernels from shell, packed in vacuum aluminium cans and stored at -18$\pm$2^{o}C until analyzed for the chemical composition, some important compounds and antioxidant activity. The sample with highest oil content at each harvest was selected. Normal harvest sample that kept for 1 year was used as a control. It was found that the moisture content of nut-in-shell and kernel decreased as the maturity increased. Kernel percentage was directly proportional to the maturity. Samples harvested from Chiangrai province had the kernel width and length greater than those from Phitsanulok province. The a_w, hardness and color showed no significant different between the samples. The control sample from Chiangrai province had oil content of 48.81%, and fiber content of 22.24% which were higher than the control sample from Phitsanulok province which had 41.88% and 18.60%, respectively. However, the control sample from Chiangrai province had lower protein (16.96%) and carbohydrate (7.70%) content. For the first harvest time, the sample with brown, dried and splitted shuck, harvested from Chiangrai province had the highest oil content (47.26%) whereas for the second harvest time, the sample with brown, dried and splitted shuck, harvested from Phitsanulok province had the highest oil content (46.37%). All samples had the acid value between 0.32-1.42 mg KOH/g, peroxide value between 0.48-0.49 meq/kg, total phenolic content between 103-385 mg/100 g and antioxidant activity of DPPH and FRAP assays of 9.36-13.72% and 5,803.99-10,700 mg Trolox equivalent, respectively. There were 12 fatty acids found in the kernels of which four types for each saturated fatty acids (SFA), monounsaturated fatty acids (MUFA) and polyunsaturated fatty acids (PUFA). From 14 samples the average SFA, MUFA and PUFA were 3.35 g/100 g, 4.63 g/100 g and 30.91 g/100 g, respectively. PUFA was the major fatty acid found and accounted for 79.48% of total fatty acid content. There was no trans fat detected in all samples. Most of the fat was omega 6, followed by omega 3 and 9, respectively and had omega 6/omega 3 ratio of 1.12-1.56. When consider the oil content as a selection criteria, it was found that the sample with brown, dried and splitted shuck, harvested from Chiangrai province and the sample with brown, dried and splitted shuck, harvested from Phitsanulok province were selected for the most appropriated stage of maturity and time of harvest for the first and second harvest, respectively. There were 19 amino acids found in the kernels with the 5 major ones were lysine, tyrosine, leucine,

glutamic acid and isoleucine. The average content of these five amino acids from those selected samples from both provinces were 5177 mg/100 g, 3454 mg/100 g, 2729 mg/100 g, 1772 mg/100 g and 1541 mg/100 g, respectively. The average vitamin E content (α-tocopherol) was 1.02-1.42 mg/100 g. Therefore, due to obtain the highest quality and essential compounds benefit to health, Sacha inchi cultivated in Phitsanulok and Chiangrai provinces should be harvested when the shuck was brown, dried and splitted.

Keywords: maturity, time of harvest, lipid content, fatty acids, Sacha inchi

สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	iii
บทคัดย่อ	iv
Abstract	vi
สารบัญเรื่อง	viii
สารบัญตาราง	x
สารบัญภาพ	xi
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย	xii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น ด้านวิชาการ ด้านนโยบาย ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์ ด้านสังคมและชุมชน รวมถึงการเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	3
1.6 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย	4
บทที่ 2 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ถั่วดาวอินคา (Sacha inchi)	5
2.2 การเก็บเกี่ยวผลไม้แห้งเปลือกแข็ง	7
2.3 ปริมาณน้ำมันของผลไม้แห้งเปลือกแข็ง	8
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	10
3.1 วัตถุดิบและการเก็บเกี่ยวัตถุดิบ	10
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย	10
3.3 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	11
3.4 สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	11
3.5 ภาพประกอบการทดลอง	11
บทที่ 4 ผลการศึกษา	17
4.1 รหัสตัวอย่างและคำอธิบายที่ใช้สำหรับงานวิจัย	17
4.2 ปริมาณความชื้นของเนื้อในพร้อมกะลาและเนื้อในของถั่วดาวอินคาก่อนและหลังการลดความชื้น	17
4.3 การทดสอบลอยน้ำ ผลผลิตหลังกะเทาะกะลา และปริมาณความชื้นของเนื้อในที่ผ่านการทำแห้ง	20
4.4 จำนวนเนื้อในต่อกิโลกรัมและขนาดเนื้อใน	21
4.5 คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อในถั่วดาวอินคา	22
4.6 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเนื้อในถั่วดาวอินคา	26

4.7 ค่ากรดและค่าเปอร์ออกไซด์ของเนื้อในถั่วดาวอินคา 29
4.8 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อในถั่วดาวอินคา 30
4.9 ชนิดและปริมาณของกรดไขมัน 33
4.10 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโน 37
4.11 ปริมาณวิตามินอี (อัลฟ่า-โทโคฟีรอล) 38
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา 40
5.1 สรุปผลการศึกษา 40
5.2 ข้อเสนอแนะ 41
เอกสารอ้างอิง 42

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบที่สำคัญของถั่วดาวอินคาเปรียบเทียบกับพืชชนิดต่างๆ และปลา	7
2	พลังงานและปริมาณกรดไขมันที่พบในผลไม้แห้งเปลือกแข็งชนิดต่างๆ	9
3	รหัสตัวอย่างและคำอธิบายที่ใช้สำหรับการทดลอง	17
4	จำนวนเนื้อในพร้อมกะลาสดต่อกิโลกรัม ปริมาณความชื้นของเนื้อในพร้อมกะลาของถั่วดาวอินคาในระหว่างขั้นตอนการทำแห้ง และน้ำหนักสุดท้ายหลังผ่านการอบเพื่อลดปริมาณความชื้น	19
5	การทดสอบลอยน้ำ ผลผลิตหลังกะเทาะกะลา และปริมาณความชื้นของเนื้อในที่ผ่านการทำแห้ง	20
6	จำนวนเนื้อในต่อกิโลกรัมและขนาดเนื้อใน	22
7	คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อในถั่วดาวอินคา	25
8	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเนื้อในถั่วดาวอินคา	28
9	ค่ากรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อในถั่วดาวอินคา	32
10	ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในเนื้อในถั่วดาวอินคา	35
11	ปริมาณของกรดไขมัน PMS ratio, trans fat และ omega ในเนื้อในถั่วดาวอินคา	36
12	ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในเนื้อในถั่วดาวอินคาที่ได้รับคัดเลือก	38
13	ปริมาณ Vitamin E (α-Tocopherol) ในเนื้อในถั่วดาวอินคาที่ได้รับคัดเลือก	39

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ถั่วดาวอินคาที่มีความแก่อ่อนแตกต่างกัน	2
2	แปลงถั่วดาวอินคาที่เชียงรายและพิษณุโลก	12
3	ตัวอย่างถั่วดาวอินคาที่ 3 ระยะความแก่อ่อน	12
4	ถั่วดาวอินคาหลังจากแกะเปลือกออกแล้ว	12
5	เนื้อในพร้อมกะลาและเนื้อในถั่วดาวอินคา	13
6	กะเทาะกะลา บดเนื้อใน และวัดปริมาณความชื้น	13
7	ตู้อบลมร้อนสำหรับลดปริมาณความชื้นของเนื้อในพร้อมกะลาถั่วดาวอินคา	14
8	การคัดแยกเกรดโดยการลอยน้ำ	14
9	การกะเทาะกะลา	15
10	การแยกเอาเนื้อในออกจากกะลา	15
11	การบรรจุเนื้อในถั่วดาวอินคาลงในกระป๋องอะลูมิเนียมและอัดก๊าซไนโตรเจน	16
12	อัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่สัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ที่ระดับต่างๆ	23

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย (List of Abbreviations)

คำย่อ	คำจำกัดความ
PHCT	ถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดพิษณุโลก ตัวอย่างควบคุม
PH101	ถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดพิษณุโลกครั้งที่ 1 ความแก่อ่อนระยะที่ 1
PH102	ถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดพิษณุโลกครั้งที่ 1 ความแก่อ่อนระยะที่ 2
PH103	ถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดพิษณุโลกครั้งที่ 1 ความแก่อ่อนระยะที่ 3
CHCT	ถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดเชียงราย ตัวอย่างควบคุม
CH101	ถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดเชียงรายครั้งที่ 1 ความแก่อ่อนระยะที่ 1
CH102	ถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดเชียงรายครั้งที่ 1 ความแก่อ่อนระยะที่ 2
CH103	ถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดเชียงรายครั้งที่ 1 ความแก่อ่อนระยะที่ 3
PH201	ถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดพิษณุโลกครั้งที่ 2 ความแก่อ่อนระยะที่ 1
PH202	ถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดพิษณุโลกครั้งที่ 2 ความแก่อ่อนระยะที่ 2
PH203	ถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดพิษณุโลกครั้งที่ 2 ความแก่อ่อนระยะที่ 3
CH201	ถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดเชียงรายครั้งที่ 2 ความแก่อ่อนระยะที่ 1
CH202	ถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดเชียงรายครั้งที่ 2 ความแก่อ่อนระยะที่ 2
CH203	ถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดเชียงรายครั้งที่ 2 ความแก่อ่อนระยะที่ 3
ตัวอย่างควบคุม	ผลถั่วดาวอินคาที่เกษตรกรเก็บเกี่ยวปกติและเก็บไว้ระยะเวลาไม่เกิน 1 ปีที่อุณหภูมิห้อง
ความแก่อ่อนระยะที่ 1	ผลถั่วดาวอินคามีเปลือกสีเขียว-เทา สด และเปลือกแตกอ้าเล็กน้อย
ความแก่อ่อนระยะที่ 2	ผลถั่วดาวอินคามีเปลือกสีเขียว-ดำ สด และเปลือกแตกอ้าออกมากกว่าระยะที่ 1
ความแก่อ่อนระยะที่ 3	ผลถั่วดาวอินคามีเปลือกสีดำ แห้ง และเปลือกแตกอ้า
NIS	Nut-in-shell
AV	Acid value
mg KOH/g oil	Milligram potassium hydroxide/gram oil
PV	Peroxide value
meq/kg oil	Milliequivalents of active oxygen/kilogram oil
TPC	Total phenolic content
DPPH	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
SFA	Saturated fatty acids
MUFA	Monounsaturated fatty acids
PUFA	Polyunsaturated fatty acids
UFA	Unsaturated fatty acids
PMS ratio	Polyunsaturated fatty acids: Monounsaturated fatty acids: Saturated fatty acids

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

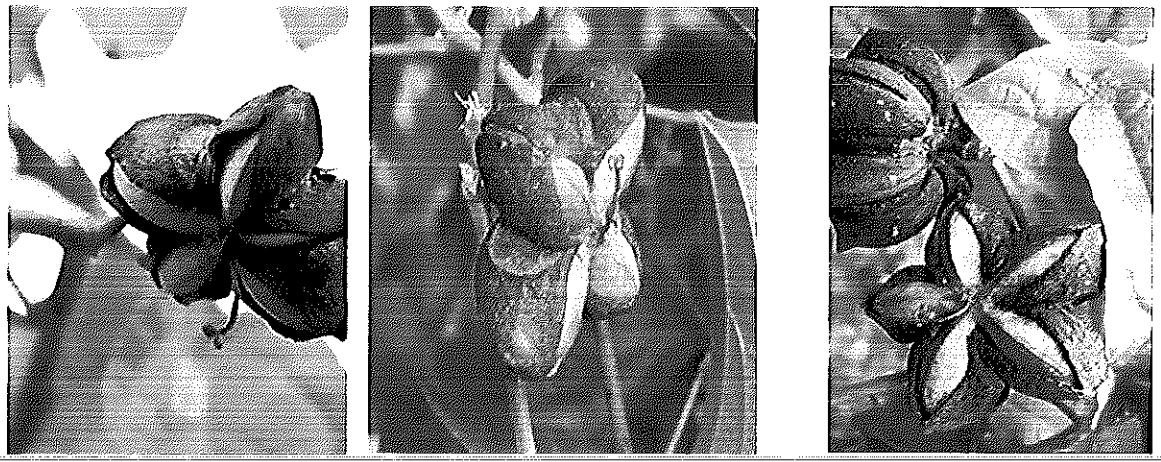
Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) เป็นที่รู้จักในนามของ Inca peanut (ถั่วอินคา หรือถั่วดาวอินคา) จัดเป็นพืชที่ให้น้ำมัน (oleaginous plant) อยู่ในตระกูล Euphorbiaceae หรือ ภาษาท้องถิ่นเรียกอีกชื่อว่า "องุ่นสีเขียว" หรือ "แบริ่งฝัก" (Twining) เป็นไม้เถาทรงพุ่ม เจริญเติบโตในแถวในระดับความสูง 2-3 เมตร ต้องการแสงแดดและความชื้นสูง เป็นพืชจากป่าอะเมซอนของประเทศเปรู พืชชนิดนี้เติบโตในสภาพอากาศอุ่น (10-36°C) และเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับความสูงตั้งแต่ 100 เมตร (ป่าต่ำ) ถึง 2,000 เมตร (ป่าสูง) จากระดับน้ำทะเล ช่วงชีวิตของถั่วดาวอินคาคือ 10-50 ปี ผลมีรูปร่างเหมือนดาว เมื่อสกัดเมล็ดจะมีน้ำมัน หลังจากการสกัดน้ำมันที่ "เค้ก" แล้วจะได้แป้งและโปรตีนที่มีคุณค่าทางชีวภาพสูง

เมล็ดถั่วดาวอินคามีปริมาณน้ำมันสูง (มากกว่า 50%) มีปริมาณกรดไขมันที่จำเป็นและโอเมก้า 3, 6, 9 สูง มีสารต้านอนุมูลอิสระ วิตามิน A และวิตามินอี (อัลฟา-โทโคฟีรอล) ส่วนกากหลังจากสกัดน้ำมันแล้วจะมีโปรตีนในปริมาณสูงและอุดมด้วยกรดอะมิโนจำเป็นและไม่จำเป็นที่มีความสำคัญต่อสุขภาพ

น้ำมันถั่วดาวอินคาเป็นน้ำมันที่ไม่มีพิษหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือมีข้อจำกัดในการบริโภคของมนุษย์ และได้รับรางวัลเหรียญทองด้านคุณภาพที่ดีเยี่ยม ในงาน World Edible Oils Competition ซึ่งจัดขึ้นที่กรุงปารีสในปี 2004 โดยน้ำมันชนิดอื่น ๆ ที่อุดมไปด้วย Omega 3 เช่น ลินซีด และ perilla มีสารพิษ ดังนั้น จึงไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้สำหรับการบริโภคของมนุษย์ในบางประเทศ

ผลการวิจัยล่าสุดได้แสดงให้เห็นว่า น้ำมันถั่วดาวอินคา เป็นน้ำมันที่ดีและมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์โดยมีกรดไขมันที่จำเป็น 84% ซึ่งในจำนวนนี้เป็นกรดไขมันโอเมก้า 3 มากกว่า 48% ไม่มีคอเลสเตอรอล แต่มีกรดไขมันโอเมก้า 3, 6 และ 9 ซึ่งจะช่วยในการลดระดับคอเลสเตอรอล และป้องกันการแข็งตัวของเลือด ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงของโรคหัวใจ ความดันเลือดสูง ช่วยลดระดับไตรกลีเซอไรด์และความดันโลหิตสูง ป้องกันการเป็นโรคเบาหวาน/ลดน้ำหนักควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ลดอาการซึมเศร้า/สุขภาพจิตแจ่มใส รักษาความลื่นไหลและความแข็งแกร่งของเยื่อหุ้มเซลล์ ช่วยลดการอักเสบของหลอดเลือด โรคไขข้อ รักษาโรคผิวหนัง หอบหืด แผล ไมเกรน ต้อหิน และยังมีสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยป้องกันโรคหัวใจ โรคมะเร็งได้ น้ำมันถั่วดาวอินคา นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง และยา (http://www.narasha.com/723923/)

พืชตระกูลผลไม้แห้งเปลือกแข็ง (nut) เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ จะเกิดการแตกหรืออ้าของเปลือก (ภาพที่ 1) ซึ่งใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวเร็วในฤดูกาลและเพื่อป้องกันไม่ให้ผลไม้แห้งเปลือกแข็งสัมผัสกับสภาวะอากาศและสภาวะแวดล้อมที่ทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพได้ถ้ารอให้ผลแก่อย่างเต็มที่หรือแห้งจนร่วงลงพื้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งจากผลการวิจัยในพืชตระกูลผลไม้แห้งเปลือกแข็ง เช่น พีคาน (pecan) อัลมอนด์ (almond) เกาลัด (chestnut) เป็นต้น ชี้ให้เห็นว่าเมื่อเปลือกเริ่มอ้าแสดงว่าผลเจริญเติบโตเต็มที่และพร้อมสำหรับการเก็บเกี่ยว แต่ต้องมีขั้นตอนการแกะเปลือกและทำแห้งเพื่อลดความชื้นทันทีก่อนการกะเทาะกะลาหรือการเก็บรักษา ซึ่งจะทำให้ได้ผลไม้แห้งเปลือกแข็งที่มีคุณภาพที่ดีกว่าการปล่อยให้ผลแห้งคาต้นและร่วงหล่นลงพื้นแล้วค่อยนำมาแปรรูปดังเช่นที่เกษตรกรปฏิบัติกันในปัจจุบัน การเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาเมื่อเปลือกเริ่มอ้าไปจนกระทั่งแห้งนั้นยังไม่มีข้อมูล ดังนั้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้



ภาพที่ 1 ถั่วดาวอินคาที่มีความแก่อ่อนแตกต่างกัน

เนื่องจากสารสำคัญที่พบในถั่วดาวอินคา ซึ่งได้แก่ กรดไขมันที่จำเป็น โอเมก้า 3, 6 และ 9 สารต้านอนุมูลอิสระ วิตามินเอ และวิตามินอี (อัลฟาโทโคฟีรอล) โดยสารดังกล่าวพบอยู่ในส่วนน้ำมันของถั่วดาวอินคา ดังนั้น ปริมาณน้ำมันในเนื้อในถั่วดาวอินคาจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่จะทำให้มีปริมาณสารดังกล่าวสูง วัตถุดิบเริ่มต้นที่ดีจะส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ดีตามไปด้วย ดังนั้น การเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาในช่วงที่มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุด จึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่เกษตรกรควรปฏิบัติเพื่อให้ได้สารสำคัญดังกล่าวในปริมาณที่สูง ประกอบกับ ณ ปัจจุบัน ยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาที่ปลูกในประเทศไทย รวมทั้งยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของความแก่อ่อนต่อคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของถั่วดาวอินคา งานวิจัยนี้ จึงเป็นงานวิจัยชิ้นแรกที่จะศึกษาในเรื่องนี้ โดยจะศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวโดยใช้สีและลักษณะการอ้าของเปลือกเป็นตัวบ่งชี้ต่อคุณภาพของถั่วดาวอินคา (น้ำมัน) และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และสารสำคัญของถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวในระยะเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้ทราบระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาที่มีคุณภาพและปริมาณสารสำคัญสูง และทราบดัชนีการเก็บเกี่ยวโดยดูจากลักษณะทางกายภาพ คือ สีของเปลือกและการอ้าของเปลือก ซึ่งเมื่อทราบระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวแล้ว จะทำให้เก็บเกี่ยวและจำหน่ายถั่วดาวอินคาหรือน้ำมันถั่วดาวอินคาได้ในราคาที่สูงขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรและผู้ประกอบการถั่วดาวอินคา ทั้งยังเป็นการลดการสูญเสียหรือเสื่อมคุณภาพของถั่วดาวอินคาจากการสัมผัสกับอากาศหรือถูกทำลายโดยแมลงและเชื้อโรคเป็นระยะเวลายาวนานเกินไปหลังการแก่เต็มที่บนต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาผลความแก่อ่อนและระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวต่อองค์ประกอบทางเคมี คุณภาพ และสารสำคัญของถั่วดาวอินคาที่ปลูกในที่แตกต่างกันและเก็บเกี่ยวในระยะเวลาที่ต่างกัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ จะทำการเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคา 3 ระยะ ได้แก่ 1) เมื่อเปลือกเริ่มอ้า (เปลือกเขียว) 2) เมื่อเปลือกอ้ามากยิ่งขึ้น (เปลือกสีดำ) และ 3) เมื่อเปลือกอ้าและแห้ง (เปลือกสีน้ำตาล) จากแปลงเกษตรกรในจังหวัดเชียงรายและพิษณุโลก จังหวัดละ 2 แปลง โดยแต่ละแปลงจะทำการเก็บผลถั่วดาวอินคาจาก

3 ตำแหน่งของแปลง และทำการเก็บถั่วดาวอินคา จำนวน 2 ครั้ง นำผลถั่วดาวอินคามาแกะเปลือกทันที อบแห้งจนเหลือปริมาณความชื้น 3-5% ก่อนนำมาแยกเกรดโดยการลอยน้ำ อบแห้งอีกครั้ง กะเทาะกะลาแยกเนื้อใน และทำการเก็บรักษาเนื้อในในกระป๋องอะลูมิเนียมแบบสูญญากาศและเก็บในห้องแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18±2^{o}C ก่อนนำมาวิเคราะห์ โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและ สารสำคัญของถั่วดาวอินคา และการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ คัดเลือกตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุด นอกจากนี้ ยังนำถั่วดาวอินคาที่ผู้ประกอบการเก็บเกี่ยวแบบปกติที่ทำกันอยู่ในปัจจุบัน (ตัวอย่างถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวเมื่อเปลือกอ้าและแห้งโดยมีเปลือกสีน้ำตาล) และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ปี (ตัวอย่างควบคุม) ควบคู่กับตัวอย่างถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยว 3 ระยะ ในการทดลองนี้ ดังนั้น จะมีตัวอย่างสำหรับการทดสอบ 12 ตัวอย่าง (3 ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว x 2 จังหวัด x 2 ครั้งการเก็บเกี่ยว) และตัวอย่างที่เก็บเกี่ยวปกติอีก 2 ตัวอย่าง ดังนั้น มีตัวอย่างทั้งหมด 14 ตัวอย่าง

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

โดยทั่วไป ปริมาณน้ำมันเป็นดัชนีคุณภาพและการตลาดที่สำคัญที่สุดของผลไม้แห้งเปลือกแข็ง (nuts) สารสำคัญ (essential compounds) ที่มีผลต่อสุขภาพของผู้บริโภคที่มีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของถั่วดาวอินคา ได้แก่ กรดไขมันจำเป็น ชนิดโอเมก้า 3 และ 6 วิตามินเอและอี พบในน้ำมันถั่วดาวอินคา ดังนั้น การเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาในช่วงที่มีปริมาณน้ำมันสูงจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่พึงปฏิบัติ ทั้งนี้เพื่อให้ได้สารสำคัญดังกล่าวในปริมาณที่สูง และราคาที่สูงตามไปด้วย นอกจากนี้ ดัชนีการเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาทางกายภาพ เช่น สีของเปลือกและลักษณะการอ้าของเปลือกซึ่งมีความสอดคล้องกับความแก่อ่อนของถั่วดาวอินคาสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความแก่อ่อนของถั่วดาวอินคาได้ ซึ่งง่ายแก่เกษตรกรในการนำมาใช้ประโยชน์ในการกำหนดวันเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น ด้านวิชาการ ด้านนโยบาย ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์ ด้านสังคมและชุมชน รวมถึงการเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

- ผลการวิจัยที่ได้ไปเผยแพร่ในวารสารทางวิชาการระดับชาติที่มีผู้ประเมินอิสระจากภายนอกอย่างน้อยจำนวน 1 เรื่อง และระดับชาติ 1 เรื่อง
- ถ่ายทอดผลงานวิชาการสู่สังคม ภาคการผลิตหรือภาคบริการ ซึ่งส่งผลให้เกิดประโยชน์เชิงประจักษ์จำนวน 1 เรื่อง
- หน่วยงานวิจัยที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ ได้แก่ เกษตรกร ผู้ประกอบการถั่วดาวอินคา สถาบันการศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และกลุ่มวิสาหกิจชุมชน
- ทราบดัชนีการเก็บเกี่ยวและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายและพิษณุโลก ทั้งนี้จะช่วยในการบริหารจัดการการเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและลดการสูญเสียคุณภาพของถั่วดาวอินคา
- ทราบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และสารสำคัญของถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวในระยะเวลาที่แตกต่างกันหรือที่ความแก่อ่อนแตกต่างกัน
- ผลงานวิจัยนี้ จะให้ข้อมูลพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมถั่วดาวอินคาที่ปลูกในประเทศไทย

1.6 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

เมื่อเสร็จสิ้นโครงการวิจัย จะมีการเผยแพร่งานวิจัยโดยการตีพิมพ์ผลงานวิชาการในวารสารวิชาการระดับนานาชาติอย่างน้อย 1 เรื่อง และระดับชาติ 1 เรื่อง และถ่ายทอดผลงานวิชาการสู่สังคม ภาคการผลิตหรือภาคบริการ ซึ่งส่งผลให้เกิดประโยชน์เชิงประจักษ์จำนวน 1 เรื่อง

บทที่ 2
การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วดาวอินคา (Sacha inchi)

ถั่วดาวอินคา (*Plukenetia volubilis* L.) มีต้นกำเนิดที่ป่าอะเมซอน ประเทศเปรู ถั่วอินคาเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศที่อบอุ่นในเขตพื้นที่ที่มีความสูงตั้ง 1,500 เมตรจากระดับน้ำทะเลขึ้นไป เป็นพืชกระเทยขนาดเล็กที่มีดอกขนาดเล็กที่ผลิตฝักขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลาง 3-5 เซนติเมตร) ฝักมีสีเขียวสดใสเมื่อหนุ่มและมีสีน้ำตาลเข้มเมื่อแก่เต็มที่ ที่ฝักมักจะมี 4-6 แฉก โดยหนึ่งเมล็ดพันธุ์ มีขนาดกว้าง 15-20 มิลลิเมตร และหนา 7-8 มิลลิเมตร น้ำหนักของเมล็ดพันธุ์อยู่ประมาณ 0.8-1.4 กรัม เมล็ดอุดมไปด้วยสารอาหารและกรดไขมันที่จำเป็น

ผลหรือฝักของถั่วดาวอินคา เป็นรูปดาว เมื่ออ่อนมีผลสีเขียวและเมื่อแก่เต็มที่มีผลสีน้ำตาลเข้ม มีเปลือกที่คลุมเนื้อใน 3 ชั้น โดย 1 ฝักมีเมล็ด 3-7 เมล็ด

ถั่วดาวอินคาสามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่อปลูกเพียงแค่ 7-8 เดือน หลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกก็สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้อีกหลายครั้งตลอดทั้งปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการดูแลเอาใจใส่ของผู้ปลูก แหล่งน้ำ และการใส่ปุ๋ย สามารถให้ผลผลิตได้นานหลายสิบปี ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของถั่วดาวอินคาจะต่ำกว่าการผลิตพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ

ถั่วดาวอินคา เป็นพืชที่ให้ผลผลิตยาว 15-50 ปี โดยให้ผลผลิตสูงมากกว่า 4,000-5,000 กิโลกรัมต่อ 6 ไร่ และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงมากเมื่อเปรียบเทียบต่อไร่ (http://www.narasha.com/723923/)

ถั่วดาวอินคามีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ ปริมาณไขมัน 54% และปริมาณโปรตีน 33% ซึ่งสูงกว่าถั่วเหลืองและถั่วลิสง โดยองค์ประกอบของไขมันของถั่วดาวอินคานั้น ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว 93.60% โดยเป็นกรดไขมันจำเป็น 84.86% ซึ่งมีชนิดโอเมก้า 3, 6 และ 9 ในปริมาณสูง (Niu *et al.*, 2014) (http://www.sacha-inchi-oil.com/) โดยการบริโภคกรดไขมันชนิดโอเมก้า 3 จะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ (Maurer *et al.*, 2012)

เมล็ดถั่วดาวอินคาอุดมด้วยน้ำมัน (35-60%) และโปรตีน (27-33%) และประกอบด้วยสารที่ทนความร้อนสูงที่มีรสชาติขม (Chirinos et al., 2013) น้ำมันในถั่วดาวอินคาประกอบด้วยกรดไขมันจำเป็น (essential fatty acids) หลายชนิด โดยเฉพาะ โอเมก้า 3 (C18:3, ω3) (α-Ln, cis, cis, cis-9,12,15-octadecatrienoic acid; α-linolenic) โอเมก้า 6 (C18:2, ω6) (L, cis-cis-9, 12-octadecadienoic acid; α-linoleic) ซึ่งคิดเป็น 82% ของน้ำมันทั้งหมด และอัตราส่วนของปริมาณ ω6 ต่อ ω3 ในเมล็ดถั่วดาวอินคามีค่าโดยประมาณเท่ากับ 0.81 (Hamaker et al., 1992) นอกจากนี้ ยังประกอบด้วยโอเมก้า 9 อีกด้วย ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบที่สำคัญของถั่วดาวอินคาเปรียบเทียบกับพืชชนิดต่างๆ และปลา พบว่าถั่วดาวอินคามีปริมาณน้ำมันและโปรตีนสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ พบว่าในน้ำมันถั่วดาวอินคายังประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด ได้แก่ โทโคฟีรอล (Follegatti-Romero et al. 2009) สารประกอบฟีนอลิค (Fanali et al., 2011) แคโรทีน (Hamaker et al., 1992) และปริมาณไฟโตสเตอรอล (Bondioli et al., 2006) โดยทั่วไปประชาชนนิยมนำเมล็ดถั่วดาวอินคามาใช้ประโยชน์ในหลายรูปแบบ เช่น น้ำมันจากเมล็ดนำมาบริโภคและผสมในเครื่องสำอางค์ เมล็ดนำมาผ่านการอบและบริโภคเป็นขนมขบเคี้ยว ใบถั่วดาวอินคาสามารถนำมาประกอบอาหารได้ (Fanali et al., 2011) และยังพบว่ามีการนำสารสกัดเมล็ด ถั่วดาวอินคามาใช้เป็นยารักษาโรคเกี่ยวกับไขข้อและการปวดเมื่อยของกล้ามเนื้อ

โปรตีนที่พบในถั่วดาวอินคานอกจากจะมีปริมาณสูงแล้วยังเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิด โดยเฉพาะ cysteine, tyrosine, threonine และ tryptophan ซึ่งมีปริมาณที่สูงกว่าในเมล็ดพืชที่ให้น้ำมันหลายๆ ชนิด (Hamaker et al., 1992) โปรตีนที่สำคัญที่สุดในเมล็ดถั่วดาวอินคาได้แก่ โปรตีนสะสม 3 S Storage ซึ่งเป็นโปรตีนอัลบูมิน (albumin) ที่ละลายน้ำได้ซึ่งคิดเป็น 1 ใน 3 ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด และประกอบด้วยโพลีเปปไตด์ประเภท glycosylated polypeptides 2 ชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 32.8 และ 34.8 kDa ตามลำดับ จากองค์ประกอบโปรตีนในถั่วดาวอินคาทำให้องค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) และ องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) แนะนำว่าโปรตีนจากถั่วดาวอินคาเป็นโปรตีนคุณภาพสูงและมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์โดยเฉพาะในผู้ใหญ่ จากการศึกษาพบว่า โปรตีนถั่วดาวอินคามีกรดอะมิโน tryptophan อยู่มากถึง 44 mg/g และมีกรดอะมิโน phynylalanine ในปริมาณที่น้อยเพียง 3 mg/g (Hanssen and Schmitz-Hübsch, 2011) นอกจากนี้โปรตีนจากถั่วดาวอินคาจัดเป็นโปรตีนที่ย่อยง่าย (digestibility in vitro) (Sathe et al., 2002) จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ปัจจุบันเริ่มมีการนำผงโปรตีนสกัดจากเมล็ดถั่วดาวอินคามาผลิตเพื่อจำหน่ายทางการค้า เนื่องจากมีความเข้มข้นของกรดอะมิโนสูงและเป็นผงโปรตีนชนิดเดียวที่มี โอเมก้า 3, 6, และ 9 เป็นอาหารทางโภชนาการสำหรับผู้แพ้โปรตีนจากเนื้อสัตว์ หรือผู้ต้องการบำรุงสุขภาพทั่วๆ ไป จากการศึกษา พบว่าโปรตีนจากถั่วดาวอินคามีคุณสมบัติและประโยชน์ต่อสุขภาพ ดังต่อไปนี้ 1) เสริมสร้างกล้ามเนื้อให้ร่างกาย 2) เป็นอาหารเสริมโปรตีนที่อุดมไปด้วยโอเมก้า 3, 6, และ 9 3) ทำหน้าที่เป็นตัวแทนสารต้านอนุมูลอิสระโรคภูมิคุ้มกัน 4) รักษาการทำงานของไตที่เหมาะสม 5) เป็นแหล่งโปรตีนและกรดอะมิโนที่ครบถ้วนตามที่ร่างกายต้องการ และ 6) ผงโปรตีนถั่วดาวอินคาเป็นอีกทางเลือกนอกเหนือจากเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากนม

จากการศึกษาคัดเลือกพันธุ์ถั่วดาวอินคาให้เหมาะสมกับพื้นที่ปลูกในประเทศไทยทำให้ได้ผลผลิตต่อไร่ที่สูงขึ้นและทำให้เพิ่มปริมาณน้ำมันของถั่วดาวอินคา จากคุณสมบัติที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทำให้ถั่วดาวอินคามีข้อได้เปรียบมากกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในการผลิตน้ำมันและโปรตีนคุณภาพสูงที่มีศักยภาพในการนำมาบริโภค โดยเฉพาะการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม เครื่องสำอาง และ nutraceutical products เนื่องจากเนื้อในถั่วดาวอินคามีปริมาณน้ำมันสูงมากกว่า 50% การสกัดโดยการบีบเย็นจึงทำได้ง่ายและไม่ต้องใช้การกลั่นหรือการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการสกัดน้ำมัน โครงการวิจัยนี้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาในขณะที่แก่เต็มที่หรือมีปริมาณน้ำมันสูงสุด เพื่อให้ได้ถั่วดาวอินคาที่มีคุณภาพสูงและสม่ำเสมอ เพื่อการนำมาแปรรูปหรือนำมาสกัดน้ำมันแบบบีบเย็น ทั้งนี้ผลสำเร็จของงานวิจัยนี้เป็นการส่งเสริมให้เกษตรกรเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาเมื่อมีคุณภาพสูงสุดและสม่ำเสมอเพื่อการจำหน่ายและแปรรูป โดยจะนำมาซึ่งการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรและผู้ประกอบการ ลดการสูญเสียและเสื่อมคุณภาพของถั่วดาวอินคาได้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบที่สำคัญของถั่วดาวอินคาเปรียบเทียบกับพืชชนิดต่างๆ และปลา

สารอาหาร (%)	Sacha Inchi	มะกอก	ถั่วเหลือง	ข้าวโพด	ถั่วลิสง	ดวงอาทิตย์ดอกไม้	ฝ้าย	ปาล์ม	แฟลกซ์ (2 tbls)	ปลา (1 tbls)
โปรตีน	33	1.6	28	-	23	24	32	-	3.78g	0
น้ำมันโดยรวม	54	22	19	-	45	48	16	-	-	-
Palmitic	3.85	13	10.7	11	12	7.5	18	45	-	-
สเตียริกอิ่มตัว	2.54	3	3.3	2	2.2	5.3	3	4	-	-
ไขมันอิ่มตัว	6	16	14	13	14	13	21	49	0.62g	4
โมโนโอเลอิคไม่อิ่มตัว	8.28	71	22.3	28	43.3	29.3	18.7	40	1.33g	-
Linoleic โอเมก้า 6	36.80	10	54.5	58	36.8	57.9	57.5	10	0.84g	-
Linolenic โอเมก้า 3	48.60	1	8.3	1	0.0	0.0	0.5	0	3.51g	-
กรดไขมันจำเป็น	84.86	11	62.8	59	36	57.9	58	10	-	-
ไขมันไม่อิ่มตัว	93.60	83	85.1	87	80.1	87.72	76.7	50	-	-

ที่มา: http://sachainchithai.blogspot.com/2012/04/sacha-inchi-in-thai_07.html

2.2 การเก็บเกี่ยวผลไม้แห้งเปลือกแข็ง

เวลาของการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลไม้แห้งเปลือกแข็งในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการเก็บเกี่ยวของผลไม้แห้งเปลือกแข็ง 2 ชนิด คือ เกาลัดและพีคาน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 เกาลัด

ภายใต้สภาวะปกตินั้น เกาลัดจะให้ผลผลิตหลังจากปลูกเป็นเวลา 4–5 ปี แต่ถ้าในสภาวะที่ไม่ปกติมันจะใช้เวลายาวนานกว่าเล็กน้อย และจะเริ่มให้ผลผลิตอย่างเต็มที่หลังจากปลูก 10-20 ปี เมื่อผลเกาลัดแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อนแล้วปริออกให้เห็นเมล็ดเกาลัดสีน้ำตาลคล้ำ ซึ่งแสดงว่าได้เวลาเก็บเกี่ยวเกาลัดแล้ว เกาลัดจะถูกเก็บเกี่ยวโดยรอให้ผลเกาลัดร่วงลงมาจากต้นเองตามธรรมชาติ หลังจากนั้นก็เก็บผลเกาลัดจากพื้น ทั้งนี้เกาลัดที่มีคุณภาพดีควรแก่บนต้นและร่วงลงมาเองตามธรรมชาติ และควรเก็บผลเกาลัดจากพื้นโดยเร็ว (ไม่ควรเขย่าหรือเคาะต้นจนกว่าเปลือกของเกาลัดจะมีสีน้ำตาล) ถ้าเกาลัดถูกปล่อยให้อยู่บนพื้นนานเกินไปอาจเกิดการเน่าเสียได้ เนื่องจากการดูดซับความชื้นจากดินและสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดเชื้อราบนผลเกาลัดได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นในการเก็บเกี่ยวเกาลัดคือ การไม่มีเครื่องมือในการเก็บเกี่ยวที่เฉพาะเจาะจงกับผลเกาลัด (เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์, 2558)

2.2.2 พีคาน

เวลาของการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญมากต่อคุณภาพของเนื้อในของพีคาน เพราะว่าพีคานที่เก็บเกี่ยวเร็วเกินไปในฤดูกาลจะมีคุณภาพโดยรวมต่ำ และพีคานที่เก็บเกี่ยวช้าเกินไปในฤดูกาล เนื้อในจะมีสีน้ำตาลแก่ นอกจากนี้ ผลพีคานที่แก่เร็วในต้นเดียวกันจะได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมก่อนการเก็บเกี่ยว ซึ่งทำให้เกิด

การสูญเสียคุณภาพ เครื่องเก็บเกี่ยวสมัยใหม่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาการเก็บเกี่ยวของอุตสาหกรรมพีคานได้มากกว่าการเก็บเกี่ยวโดยใช้มือ เพราะเครื่องเก็บเกี่ยวสมัยใหม่สามารถเลือกเก็บเกี่ยวพีคานที่แก่เร็วในต้นเดียวกันได้ ทำให้ลดปัญหาการได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมหลังจากแก่เต็มที่

พีคานที่เก็บเกี่ยวก่อนที่กะลาจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลจะเจริญเติบโตไม่เต็มที่ มีน้ำหนักเบาและกะเทาะกะลาลำบาก พีคานที่เก็บเกี่ยวทันทีเมื่อเปลือกอ้าถือว่าเป็นพีคานที่มีคุณภาพดีที่สุด เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันมากที่สุด

พีคานที่เก็บเกี่ยวช้าเกินไปในฤดูกาลจะทำให้เกิดการเน่าเสียและมีเชื้อรา รากงอก มีกลิ่นเหม็นหืน รสชาติขม และเนื้อในของพีคานมีสีน้ำตาลเข้มมากกว่าเดิม

สำหรับการเก็บเกี่ยวแบบดั้งเดิม ผลพีคานจะถูกปล่อยให้แห้งอยู่บนต้น จากนั้นทำการสั่นกิ่งให้ผลร่วงและเก็บจากพื้นอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการดูดความชื้นจากพื้นและสภาพแวดล้อม และเพื่อยับยั้งหรือป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเหม็นหืน (เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์, 2558)

2.3 ปริมาณน้ำมันของผลไม้แห้งเปลือกแข็ง

ผลไม้แห้งเปลือกแข็งเป็นพืชที่มีปริมาณน้ำมัน (ไขมัน) สูง ดังแสดงในตารางที่ 2 ปริมาณน้ำมันในเนื้อในพีคานมีความแตกต่างกันไปตามพันธุ์ เช่น จาก 70-75 กรัม/100 กรัม ของพันธุ์ Dependable และ Stuart ไปถึง 55-60 กรัม/100 กรัม ของพันธุ์ Love และ Mobile เป็นต้น ปริมาณน้ำมันในแต่ละพันธุ์ขึ้นอยู่กับความอ่อนแก่ของผลพีคานเมื่อเก็บเกี่ยว เวลาของการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญต่อปริมาณสูงสุดของน้ำมัน ปริมาณน้ำมันเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อรสชาติที่ดีของพีคาน ดังนั้นเพื่อให้ได้พีคานที่มีรสชาติที่ดีที่สุด ควรเก็บเกี่ยวพีคานในช่วงที่มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุด โดยน้ำมันของพีคานประกอบด้วยไขมันอิ่มตัวในปริมาณที่ต่ำมาก (7-10 กรัม/100 กรัม) แต่จะมีไขมันที่ไม่อิ่มตัว (ชนิดโมโน) ในปริมาณที่สูงมาก (90-93 กรัม/100 กรัม) ดังนั้น ไขมันในน้ำมันพีคานจึงถือได้ว่ามีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันและองค์ประกอบของไขมันในเนื้อในพีคานได้แก่ พันธุ์ ความอ่อนแก่ การดูแลรักษา สภาวะแวดล้อม และฤดูกาล โดยทั่วไปพีคานที่แก่เต็มที่จะมีปริมาณไขมันที่อิ่มตัวมากกว่าพีคานที่อ่อนกว่า

ปริมาณน้ำมันของเนื้อในมะคาเดเมียเพิ่มขึ้นเมื่อมะคาเดเมียแก่ขึ้นซึ่งใช้เป็นปัจจัยสำหรับการบ่งบอกความแก่อ่อนของมะคาเดเมียได้ โดยปริมาณน้ำมันของมะคาเดเมียแบ่งตามเกรดดังนี้

- มะคาเดเมีย Grade 1 มีปริมาณไขมัน >75%
- มะคาเดเมีย Grade 2 มีปริมาณไขมัน 65-75%
- มะคาเดเมีย Grade 3 มีปริมาณไขมัน 45-65%

ตารางที่ 2 พลังงานและปริมาณกรดไขมันที่พบในผลไม้แห้งเปลือกแข็งชนิดต่างๆ

Nut	Energy (kJ/100 g)	Total fat (g/100 g)	Poly unsaturated fat (g/100 g)	Mono unsaturated fat (g/100 g)	Saturated fat (g/100 g)	PMS ratio
Macadamia	3082	77.6	1.6	60.8	11.2	0.14:5.43:1
Almond	2534	55.8	14.2	34.4	4.7	3.02:7.31:1
Walnut	2837	68.5	47.5	12.4	5.6	8.48:2.21:1
Pecan	2843	70.1	18.7	42.5	5.7	3.28:7.46:1
Hazelnut	2685	63.5	5.9	50.0	4.7	1.26:10.64:1
Pistachio	2485	55.4	17.9	27.6	7.4	2.42:3.73:1

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่ามะคาเดเมียเป็นผลไม้แห้งปลือกแข็งที่มีปริมาณไขมันสูงที่สุด (เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์, 2558) ส่วนปริมาณไขมันของถั่วดาวอินคามีค่าใกล้เคียงกับปริมาณไขมันที่พบในอัลมอนด์และพิฒเตชิโอ

บทที่ 3
วิธีการศึกษา

3.1 วัตถุดิบและการเก็บเกี่ยววัตถุดิบ

งานวิจัยนี้ จะทำการสุ่มเก็บถั่วดาวอินคาที่ 3 ระยะความแก่อ่อนโดยใช้มือเก็บ จำนวน 500 ผลใน แต่ละระยะความแก่อ่อน ได้แก่ 1) เมื่อเปลือกเริ่มอ้า (เปลือกเขียว) 2) เมื่อเปลือกอ้ามากยิ่งขึ้น (เปลือกสีดำ) และ 3) เมื่อเปลือกอ้าและแห้ง (เปลือกสีน้ำตาล) จากแปลงเกษตรกรในจังหวัดเชียงราย (แปลงของบริษัท ไท ซี เอ็ม เอส สแตนดาร์ด อินดัสเตรียล จำกัด) และพิษณุโลก (แปลงของกลุ่มเกษตรกรตำบลวัดพริก อำเภอ เมือง จังหวัดพิษณุโลก) จังหวัดละ 2 แปลง โดยแต่ละแปลงจะทำการเก็บผลถั่วดาวอินคาจาก 3 ตำแหน่งของ แปลง ในแต่ละตำแหน่งจะเก็บจากต้นถั่วดาวอินคา 10-20 ต้นหรือจนกว่าจะได้ 500 และทำการเก็บถั่วดาว อินคาจำนวน 2 ครั้ง (ซ้ำการทดลอง) จากนั้นทำการแกะเปลือกถั่วดาวอินคาทันที อบแห้งจนเหลือปริมาณ ความชื้น 3-5% ก่อนนำมาแยกเกรดโดยการลอยน้ำ อบแห้งอีกครั้ง กะเทาะกะลา แยกเนื้อใน และทำการเก็บ รักษาเนื้อในในกระป๋องอะลูมิเนียมแบบสูญญากาศและเก็บในห้องแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 ± 2°C ก่อนนำมา วิเคราะห์

นอกจากนี้ ยังทำการทดสอบตัวอย่างถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวเมื่อเปลือกอ้าและแห้ง (เปลือกสีน้ำตาล) (ตัวอย่างควบคุม) และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ปี ควบคู่กับตัวอย่างถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยว 3 ระยะ ในการทดลองนี้

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. นำถั่วดาวอินคาที่ได้จากการสุ่มเก็บจากแปลงทั้ง 2 จังหวัดและก่อนการอบเพื่อลดความชื้นในข้อ 3.1 มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (initial moisture content) ของเนื้อในพร้อมกะลา (nut-in-shell, NIS) และเนื้อใน (kernel)

2. นำเนื้อในที่ผ่านการกะเทาะกะลาและเก็บไว้ในกระป๋องอะลูมิเนียม มาศึกษาคุณภาพทาง กายภาพ และเคมี และการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยทำการวิเคราะห์ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

- จำนวนเนื้อในต่อกิโลกรัม โดยการชั่งน้ำหนัก
- ความสมบูรณ์ของเนื้อใน โดยการสังเกตด้วยตา
- ความยาวและความกว้างของเนื้อในพร้อมกะลา (NIS) และเนื้อใน (kernel) โดยใช้ caliper
- ค่าสี L*, a* และ b* ของเนื้อใน ด้วยเครื่องวัดสี Hunter LAB (DP 9000)
- ค่า a_w ของเนื้อใน (AOAC, 2000)
- ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture analyzer

2.2 การวิเคราะห์ทางเคมี

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)
- ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)
- ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)
- ปริมาณใยอาหาร (AOAC, 2000)
- ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

- ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)
- ชนิดและปริมาณของกรดไขมัน ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (Wansri, 2002)
- ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolic content, TPC; Shen et al., 2009)
- ค่ากรด (AOAC, 2000)
- ค่าเปอร์ออกไซด์ (AOAC, 2000)
- ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโน ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography เฉพาะตัวอย่างที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว จำนวน 5 ตัวอย่าง (ส่งวิเคราะห์)
- ปริมาณวิตามินอี ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography เฉพาะตัวอย่างที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว จำนวน 5 ตัวอย่าง (ส่งวิเคราะห์)

2.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

- ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH scavenging activity (Murakami et al., 2004)
- Ferric reducing antioxidant power (FRAP) (Benzie and Strain, 1999)

คัดเลือกตัวอย่างถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุด ในกรณีที่ตัวอย่างมีปริมาณน้ำมันไม่แตกต่างกัน คัดเลือกโดยพิจารณาจากค่ากรด ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณโปรตีน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ตามลำดับ

3.3 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

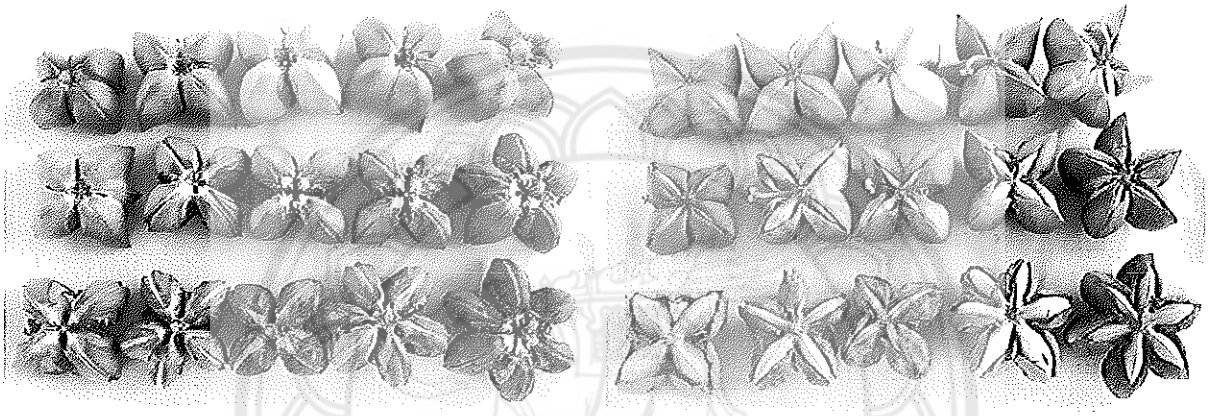
3.4 สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

- ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรและห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก
- แปลงปลูกถั่วดาวอินคา 2 แปลง ของบริษัท ไท ซี เอ็ม เอส สแตนดาร์ด อินดัสเตรียล จำกัด จังหวัดเชียงราย
- แปลงปลูกถั่วดาวอินคา 2 แปลง ของกลุ่มเกษตรกรตำบลวัดพริก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

3.5 ภาพประกอบการทดลอง

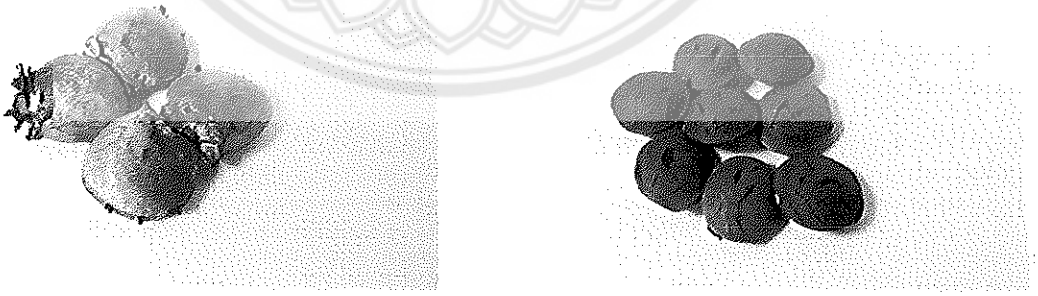
3.5.1 สุ่มเก็บถั่วดาวอินคาครั้งที่ 1 ที่ 3 ระยะความแก่อ่อนโดยใช้มือเก็บ จำนวน 500 ผลต่อระยะความแก่อ่อน และตัวอย่างควบคุม จากแปลงเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลกและเชียงราย

ภาพที่ 2 แปลงถั่วดาวอินคาที่เชียงรายและพิษณุโลก



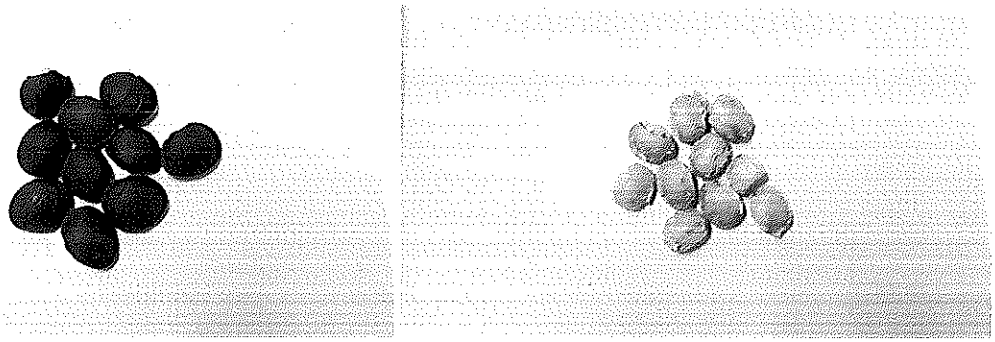
ภาพที่ 3 ตัวอย่างถั่วดาวอินคาที่ 3 ระยะความแก่อ่อน

3.5.2 แกะเปลือกถั่วดาวอินคา



ภาพที่ 4 ถั่วดาวอินคาหลังจากแกะเปลือกออกแล้ว

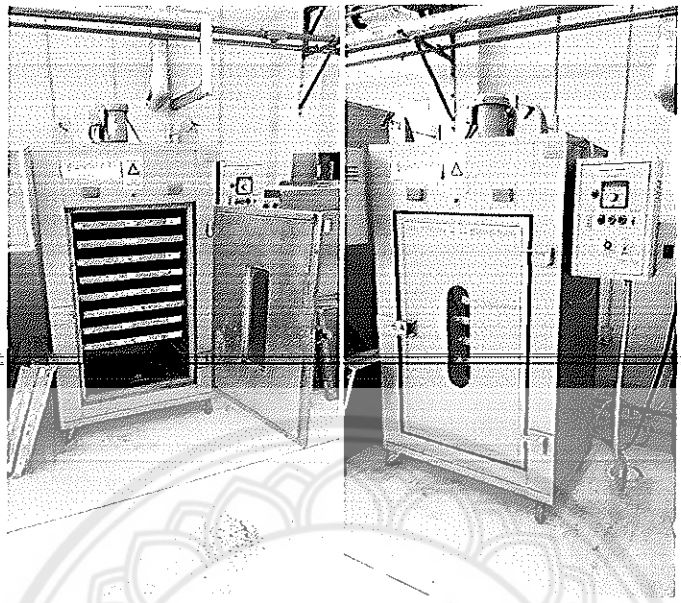
3.5.3 กะเทาะกะลา บดให้ละเอียด และวัดปริมาณความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในพร้อมกะลา และเนื้อใน



ภาพที่ 5 เนื้อในพร้อมกะลาและเนื้อในถั่วดาวอินคา

ภาพที่ 6 กะเทาะกะลา บดเนื้อใน และวัดปริมาณความชื้น

3.5.4 อบเพื่อลดปริมาณความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65°C ทำการวัดปริมาณความความชื้นทุกๆ 6 ชั่วโมง จนเหลือปริมาณความชื้น 3-5%



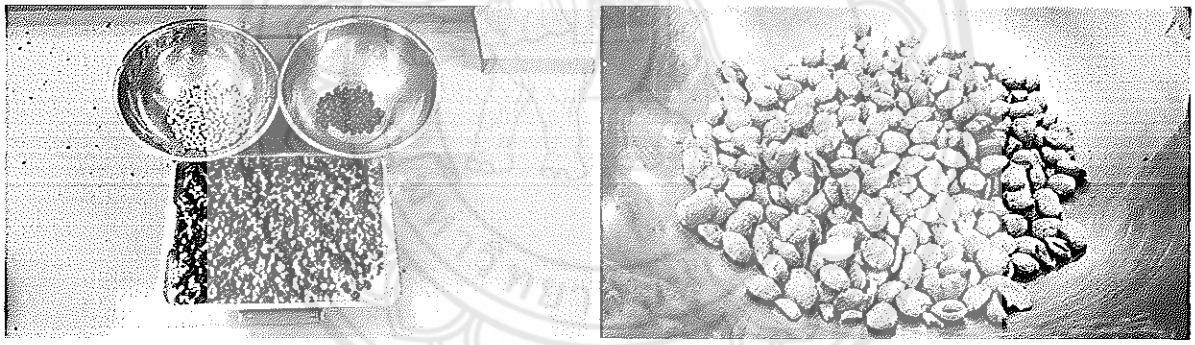
ภาพที่ 7 ตู้อบลมร้อนสำหรับลดปริมาณความชื้นของเนื้อในพร้อมกะลาถั่วดาวอินคา

3.5.5 นำถั่วดาวอินคาที่อบแห้งจนมีปริมาณความชื้น 3-5% มาทำการคัดเกรดโดยการลอยน้ำ และเมื่อคัดเกรดเรียบร้อยแล้ว นำไปอบแห้งที่ 65°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อลดปริมาณความชื้น

ภาพที่ 8 การคัดแยกเกรดโดยการลอยน้ำ

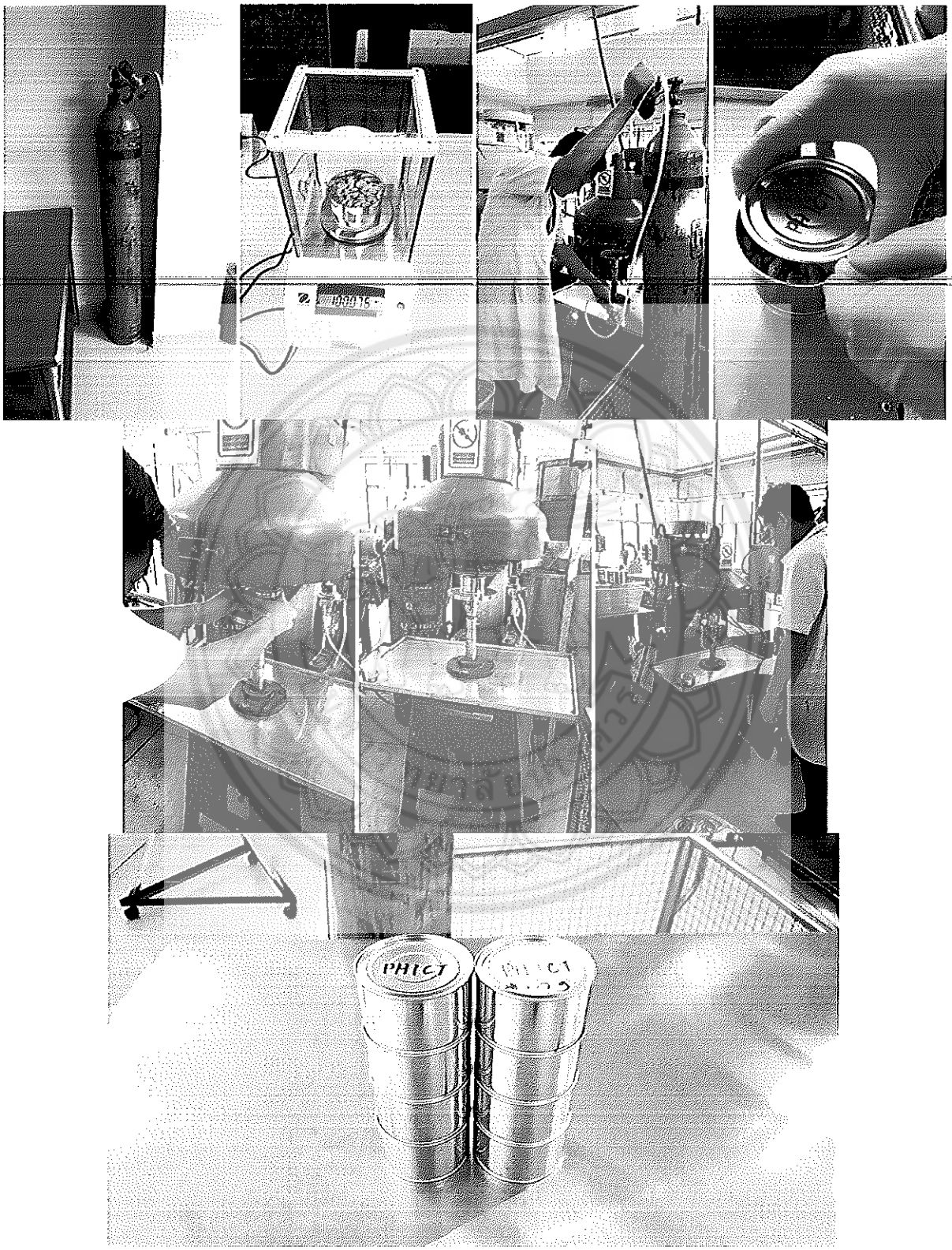
3.5.6 กะเทาะกะลาและแยกเนื้อในเพื่อใช้สำหรับการทดลองต่อไป

ภาพที่ 9 การกะเทาะกะลา



ภาพที่ 10 การแยกเอาเนื้อในออกจากกะลา

3.5.7 บรรจุเนื้อในจำนวน 100 กรัม ลงในกระป๋องอะลูมิเนียมและอัดก๊าซไนโตรเจน และเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 ± 2°C จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์



ภาพที่ 11 การบรรจุเนื้อในถั่วดาวอินคาลงในกระป๋องอะลูมิเนียมและอัดก๊าซไนโตรเจน

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 รหัสตัวอย่างและคำอธิบายที่ใช้สำหรับงานวิจัย

รหัสตัวอย่างและคำอธิบายที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รหัสตัวอย่างและคำอธิบายที่ใช้สำหรับการทดลอง

Sample	Description
PHCT	พิษณุโลก ตัวอย่างควบคุม
PH101	เก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พิษณุโลก ระยะที่ 1
PH102	เก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พิษณุโลก ระยะที่ 2
PH103	เก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พิษณุโลก ระยะที่ 3
CHCT	เชียงราย ตัวอย่างควบคุม
CH101	เก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 เชียงราย ระยะที่ 1
CH102	เก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 เชียงราย ระยะที่ 2
CH103	เก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 เชียงราย ระยะที่ 3
PH201	เก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พิษณุโลก ระยะที่ 1
PH202	เก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พิษณุโลก ระยะที่ 2
PH203	เก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พิษณุโลก ระยะที่ 3
CH201	เก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 เชียงราย ระยะที่ 1
CH202	เก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 เชียงราย ระยะที่ 2
CH203	เก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 เชียงราย ระยะที่ 3

4.2 ปริมาณความชื้นของเนื้อในพร้อมกะลาและเนื้อในของถั่วดาวอินคาก่อนและหลังการลดความชื้น

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเนื้อในพร้อมกะลาสำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พบว่าถั่วดาวอินคาปลูกที่จังหวัดเชียงรายในระยะที่ 1 มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด (28.11%) ($P \leq 0.05$) รองลงมาคือถั่วดาวอินคาปลูกที่จังหวัดเชียงรายในระยะที่ 2 (25.49%) และถั่วดาวอินคาปลูกที่จังหวัดพิษณุโลกในระยะที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ระยะที่ 3 และตัวอย่างควบคุมของทั้งสองจังหวัดมีปริมาณความชื้นต่ำสุดและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่าถั่วดาวอินคาปลูกที่จังหวัดพิษณุโลกในระยะที่ 1 มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด (37.47%) รองลงมาคือถั่วดาวอินคาปลูกที่จังหวัดพิษณุโลกในระยะที่ 2 (32.60%) และถั่วดาวอินคาปลูกที่จังหวัดเชียงรายระยะที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งมีปริมาณความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาปลูกที่จังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 3 และตัวอย่างควบคุมของทั้งสองจังหวัดมีปริมาณความชื้นต่ำสุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) จากผลการทดลองในตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างถั่วดาวอินคาจากทั้ง 2 จังหวัดที่เก็บเกี่ยวเมื่อเปลือกสีน้ำตาล แห้งและอ้า มีปริมาณความชื้นของเนื้อในพร้อมกะลาไม่แตกต่างจากตัวอย่าง

ควบคุมจากทั้ง 2 แหล่งที่ปลูก ดังนั้น เพื่อให้ได้ถั่วดาวอินคาที่มีคุณภาพดีและประหยัดพลังงานสำหรับการลดความชื้น เกษตรกรควรทำการเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาเมื่อมีเปลือกสีน้ำตาล แห้งและอ้า

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเนื้อในแสดงดังตารางที่ 4 พบว่า สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 ถั่วดาวอินคาปลูกที่จังหวัดเชียงรายในระยะที่ 1 มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด (28.19%) รองลงมาคือถั่วดาวอินคาปลูกที่จังหวัดพิษณุโลกในระยะที่ 2 (26.27%) ปริมาณความชื้นของเนื้อในที่ต่ำสุดพบในตัวอย่างควบคุมของทั้งสองจังหวัดซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกในทั้ง 2 จังหวัดในระยะที่ 1 และ 2 มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด รองลงมาคือถั่วดาวอินคาปลูกที่จังหวัดเชียงรายในระยะที่ 3 ปริมาณความชื้นของเนื้อในที่ต่ำสุดพบในตัวอย่างควบคุมของทั้งสองจังหวัดซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนั้น เพื่อให้ได้ถั่วดาวอินคาที่มีคุณภาพดีและประหยัดพลังงานสำหรับการลดความชื้น เกษตรกรควรทำการเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาเมื่อมีเปลือกสีน้ำตาล แห้งและอ้า

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเนื้อในพร้อมกะลาหลังการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 4 สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พบว่า ในการลดความชื้นเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ถั่วดาวอินคาของทั้งสองจังหวัดในระยะที่ 3 และตัวอย่างควบคุม มีปริมาณความชื้นของเนื้อในพร้อมกะลาไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 3-5% ตามเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวในระยะที่ 1 และ 2 ของทั้งสองจังหวัดมีปริมาณความชื้นของเนื้อในพร้อมกะลาอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหลังจากการลดความชื้นเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ดังนั้น เพื่อให้ได้ถั่วดาวอินคาที่มีคุณภาพดีและประหยัดพลังงานสำหรับการลดความชื้น เกษตรกรควรทำการเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาเมื่อมีเปลือกสีน้ำตาล แห้งและอ้า

โดยสรุป พบว่า เพื่อให้ได้เนื้อในถั่วดาวอินคาที่มีคุณภาพดี ประหยัดพลังงานและเวลาในการอบแห้งเพื่อลดความชื้น เกษตรกรที่ปลูกถั่วดาวอินคาในจังหวัดพิษณุโลกและเชียงราย ควรทำการเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาเมื่อมีเปลือกสีน้ำตาล แห้งและอ้า ดังนั้น ลักษณะปรากฏของถั่วดาวอินคาที่สังเกตด้วยตาเปล่าสามารถนำมาใช้เป็นหนึ่งในเกณฑ์การพิจารณาความเหมาะสมของการเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาได้ เพราะลักษณะปรากฏทางกายภาพของถั่วดาวอินคาที่วัดด้วยสายตามีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้น

ตารางที่ 4 จำนวนเนื้อในพร้อมกะลาสดต่อกิโลกรัม ปริมาณความชื้นของเนื้อในพร้อมกะลาของถั่วดาวอินคาในระหว่างขั้นตอนการทำแห้ง และน้ำหนักสุดท้ายหลังผ่านการอบเพื่อลดปริมาณความชื้น

Sample	Before drying			After drying by hot air oven at 65°C		
	No. of fresh NIS/Kg	Moisture content (%)		Moisture content of NIS (%)		
		NIS	Kernel	6 h	12 h	18 h
PHCT	1111.11	7.72±0.26^{d}	4.97±0.09^{f}	3.82±0.08^{e}	-	-
PH101	749.06	24.72±0.77^{c}	24.84±0.31^{c}	7.81±0.06^{c}	6.51±0.15^{a}	4.71±0.14^{a}
PH102	800.00	24.31±0.69^{c}	26.27±0.10^{b}	7.38±0.10^{d}	6.15±0.07^{c}	4.32±0.06^{b}
PH103	1111.11	7.40±0.09^{d}	5.25±0.10^{ef}	3.30±0.06^{g}	-	-
CHCT	1138.21	7.47±0.27^{d}	4.94±0.22^{f}	3.52±0.06^{f}	-	-
CH101	655.74	28.11±0.26^{a}	28.19±0.48^{a}	8.70±0.10^{b}	6.33±0.07^{b}	4.31±0.04^{b}
CH102	704.23	25.49±0.13^{b}	21.25±0.79^{d}	8.88±0.10^{a}	5.42±0.03^{d}	4.12±0.06^{c}
CH103	722.02	7.74±0.13^{d}	5.79±0.27^{e}	3.51±0.07^{f}	-	-
PHCT	1111.11	7.72±0.26^{F}	4.97±0.09^{D}	3.82±0.08^{E}	-	-
PH201	985.22	37.47±0.51^{A}	36.36±0.36^{A}	11.07±0.29^{A}	5.86±0.23^{A}	4.98±0.25^{A}
PH202	1015.23	32.60±0.42^{B}	36.37±0.57^{A}	8.85±0.23^{B}	5.77±0.12^{A}	4.40±0.15^{B}
PH203	1041.67	7.78±0.10^{F}	6.37±0.05^{C}	3.27±0.08^{E}	-	-
CHCT	1138.21	7.47±0.27^{F}	4.94±0.22^{D}	3.52±0.06^{E}	-	-
CH201	613.33	31.24±0.74^{C}	36.53±0.65^{A}	8.03±0.63^{C}	4.56±0.14^{B}	3.58±0.23^{D}
CH202	821.62	28.46±0.12^{D}	36.21±0.30^{A}	8.21±0.30^{C}	4.64±0.15^{B}	3.98±0.11^{C}
CH203	727.27	21.75±0.27^{E}	28.34±0.19^{B}	5.80±0.39^{D}	-	-

หมายเหตุ : ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ของการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1
ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A, B, C, D, E และ F ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ของการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2

4.3 การทดสอบลอยน้ำ ผลผลิตหลังกะเทาะกะลา และปริมาณความชื้นของเนื้อในที่ผ่านการทำแห้ง

ผลการทดสอบการลอยน้ำถั่วดาวอินคาการเก็บเกี่ยวทั้งสองครั้งและทั้งสองจังหวัดแสดงดังตารางที่ 5 พบว่าถั่วดาวอินคาลอยน้ำ 100% ดังนั้น ขั้นตอนการลอยน้ำเพื่อแยกเนื้อในพร้อมกะลาที่จมและลอยออกจากกันไม่จำเป็นสำหรับถั่วดาวอินคา ผลผลิตหลังกะเทาะกะลาที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ผลผลิตหลังการกะเทาะกะลา ทั้งสองการเก็บเกี่ยวโดยแยกตามจังหวัด พบว่าถั่วดาวอินคาในระยะที่ 3 ของทั้งสองจังหวัดมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตหลังกะเทาะกะลามากที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่เก็บเกี่ยวระยะที่ 2 และระยะที่ 1 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ความชื้นเนื้อในหลังผ่านการทำแห้งแสดงดังตารางที่ 5 พบว่า สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1 (3.00%) และ 2 (2.81%) มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างควบคุมของจังหวัดพิษณุโลก ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายระยะที่ 1 และ 2 ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ปริมาณความชื้นต่ำสุดพบในถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกและเชียงรายระยะที่ 3 และตัวอย่างควบคุม ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายระยะที่ 3 มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด (3.72%) ปริมาณความชื้นภายหลังการอบแห้งที่แตกต่างกันนี้อาจเป็นผลมาจากปัจจัยหลายประการ เช่น ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกัน การดูดซับน้ำในระหว่างการลอยน้ำที่แตกต่างกัน และความหนา ขนาด และความสมบูรณ์ของเนื้อในพร้อมกะลาที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 5 การทดสอบลอยน้ำ ผลผลิตหลังกะเทาะกะลา และปริมาณความชื้นของเนื้อในที่ผ่านการทำแห้ง

Sample	Floating		Drying at 65°C for 3 h	Kernel moisture after drying (%)
	Floated (%)	Sunk (%)	Yield of Kernel (%)	
PHCT	100.00	0.00	44.94	2.12±0.13^{b}
PH101	100.00	0.00	37.60	3.00±0.44^{a}
PH102	100.00	0.00	38.57	2.81±0.21^{a}
PH103	100.00	0.00	48.19	1.54±0.10^{c}
CHCT	100.00	0.00	44.87	1.56±0.07^{c}
CH101	100.00	0.00	36.07	2.05±0.20^{b}
CH102	100.00	0.00	37.59	2.11±0.25^{b}
CH103	100.00	0.00	50.31	1.42±0.12^{c}
PHCT	100.00	0.00	44.94	2.12±0.13^{C}
PH201	100.00	0.00	30.14	2.78±0.21^{B}
PH202	100.00	0.00	32.69	2.16±0.58^{C}
PH203	100.00	0.00	50.06	1.91±0.08^{CD}
CHCT	100.00	0.00	44.87	1.56±0.07^{D}
CH201	100.00	0.00	30.95	2.14±0.07^{C}
CH202	100.00	0.00	30.59	2.14±0.10^{C}
CH203	100.00	0.00	46.55	3.72±0.07^{A}

หมายเหตุ : ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ของการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1

ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A, B, C, D, E และ F ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ของการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2

4.4 จำนวนเนื้อในต่อกิโลกรัมและขนาดเนื้อใน

จำนวนเนื้อในต่อกิโลกรัมเป็นหนึ่งในปัจจัยการจำหน่ายพืชตระกูลผลไม้แห้งเปลือกแข็ง ถ้าจำนวนเนื้อในต่อกิโลกรัมมีค่ามากแสดงว่ามีขนาดของเนื้อในเล็ก ในทางตรงกันข้ามถ้าจำนวนเนื้อในต่อกิโลกรัมมีค่าน้อยแสดงว่ามีขนาดของเนื้อในใหญ่ จากตารางที่ 6 พบว่า สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 ตัวอย่างควบคุมจากจังหวัดพิษณุโลก มีจำนวนเนื้อในต่อกิโลกรัมสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) แสดงว่ามีขนาดเล็กที่สุด ส่วนถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 2 ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายในระยะที่ 1 , 2 และ 3 มีจำนวนเนื้อในต่อกิโลกรัมน้อยที่สุดและซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1 และ 2 มีจำนวนเนื้อในต่อกิโลกรัมสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) แต่ตัวอย่างในระยะที่ 1 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวอย่างควบคุม ($P>0.05$) ทุกตัวอย่างจากจังหวัดเชียงรายมีจำนวนเนื้อในต่อกิโลกรัมพบน้อยที่สุด ($P \leq 0.05$) และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จากผลการวิเคราะห์จำนวนเนื้อในต่อกิโลกรัมของทั้งสองการเก็บเกี่ยวพบว่าถั่วดาวอินคาในจังหวัดเชียงรายมีขนาดใหญ่กว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลก

ผลการวัดขนาดเนื้อในถั่วดาวอินคาแสดงดังตารางที่ 6 สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พบว่า ขนาดของถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 2 ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายระยะที่ 2 และ 3 และตัวอย่างควบคุม มีความกว้างมากที่สุด ($P \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1 และ 3 และตัวอย่างควบคุมมีความกว้างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายระยะที่ 1, 2 และ 3 มีความกว้างสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1, 2 และ 3 และตัวอย่างควบคุมมีความกว้างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ผลการวัดความยาวของเนื้อในถั่วดาวอินคาแสดงดังตารางที่ 6 พบว่า สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 2 และถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายระยะที่ 1, 2, 3 และตัวอย่างควบคุม มีความยาวมากที่สุด ($P \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1 มีความยาวต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1, 2, 3 และตัวอย่างควบคุม มีความยาวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกัน ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายระยะที่ 1, 2, 3 และตัวอย่างควบคุม มีความยาวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ผลการวัดความสูงของเนื้อในถั่วดาวอินคาแสดงดังตารางที่ 6 พบว่า สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 ทุกตัวอย่างมีความสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่า ทุกตัวอย่างมีความสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้น ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายในระยะที่ 3 มีความสูงมากกว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกในระยะที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

โดยสรุป พบว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายมีขนาดใหญ่กว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น ภูมิอากาศ ภูมิประเทศ การดูแลรักษา และพันธุ์ถั่วดาวอินคา

ตารางที่ 6 จำนวนเนื้อในต่อกิโลกรัมและขนาดเนื้อใน

Sample	No. of kernel/kg	Size of kernel (mm)		
		Width	Length	Height
PHCT	1713.07±48.89^{a}	11.87±0.19^{e}	15.42±0.68^{cd}	6.96±0.38^{ns}
PH101	1452.29±28.36^{cd}	12.38±0.51^{de}	14.82±1.13^{e}	8.11±1.58
PH102	1376.87±46.77^{de}	13.77±0.75^{abc}	17.99±0.82^{a}	7.13±0.26
PH103	1613.19±37.44^{b}	12.79±0.79^{cde}	15.69±1.43^{bcd}	8.29±0.84
CHCT	1517.61±66.86^{c}	13.32±0.65^{abcd}	16.82±0.22^{abc}	7.33±0.29
CH101	1285.16±44.73^{e}	13.11±0.46^{bcd}	16.62±1.07^{abc}	8.05±0.24
CH102	1286.88±80.17^{e}	14.33±0.84^{a}	17.51±0.37^{ab}	7.99±0.73
CH103	1319.17±68.43^{e}	14.03±0.57^{ab}	16.74±1.25^{abc}	8.27±0.59
PHCT	1713.07±48.89^{BC}	11.87±0.19^{D}	15.42±0.68^{D}	6.96±0.38^{AB}
PH201	1812.37±36.34^{AB}	12.40±0.27^{D}	15.05±0.72^{D}	6.87±0.20^{B}
PH202	1866.00±16.00^{A}	12.16±0.31^{D}	15.58±0.64^{CD}	7.42±0.61^{AB}
PH203	1694.71±42.62^{C}	12.53±0.50^{CD}	15.95±0.35^{BCD}	7.64±0.46^{AB}
CHCT	1517.61±66.86^{D}	13.32±0.65^{BC}	16.82±0.22^{AB}	7.33±0.29^{AB}
CH201	1468.08±77.89^{D}	13.41±0.17^{AB}	16.49±0.28^{ABC}	7.81±1.07^{AB}
CH202	1442.74±60.85^{D}	13.71±0.24^{AB}	16.71±0.36^{AB}	7.52±0.44^{AB}
CH203	1336.95±94.29^{D}	14.25±0.91^{A}	17.39±0.80^{A}	7.91±0.18^{A}

หมายเหตุ : ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P≤0.05 ของการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1

ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A, B, C, D, E และ F ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P≤0.05 ของการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2

ns = not significant different (P>0.05)

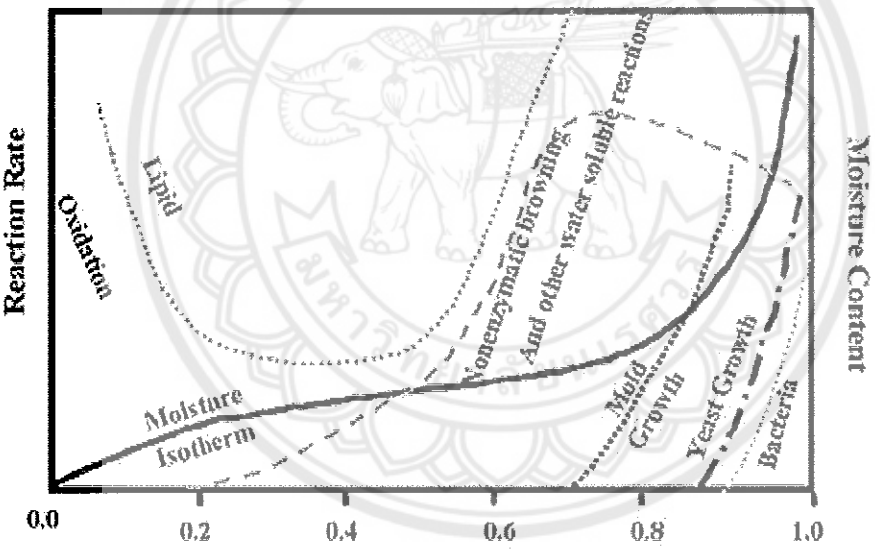
4.5 คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อในถั่วดาวอินคา

4.5.1 ปริมาณน้ำอิสระหรือค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (Water activity, a_w)

ปริมาณน้ำอิสระหรือค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) เป็นค่าที่แสดงระดับพลังงานของน้ำซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการเสื่อมเสียของอาหาร น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี และมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาต่าง ๆ ส่งผลโดยตรงกับอายุการเก็บรักษาคุณภาพและความปลอดภัยของอาหาร (http://www.foodnetworksolution.com) จากการวิเคราะห์การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พบว่า ตัวอย่างถั่วดาวอินคาที่ทดสอบมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.085-0.207 ถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดเชียงรายในระยะที่ 1 มีปริมาณน้ำอิสระสูงที่สุด (0.207) (P≤0.05) รองลงมาคือ ถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลกในระยะที่ 1 และ 2 ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ปริมาณน้ำอิสระต่ำที่สุดพบในถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดเชียงรายในระยะที่ 3 ส่วนการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่าตัวอย่างถั่วดาวอินคาที่ทดสอบมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.089-0.424 ตัวอย่างควบคุมของทั้งสองจังหวัดมีปริมาณน้ำอิสระต่ำที่สุด และถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดเชียงรายในระยะที่ 3 มีปริมาณน้ำอิสระสูงที่สุด (0.424) ($P \leq 0.05$)

จากผลการทดลองหาปริมาณน้ำอิสระในตัวอย่างถั่วดาวอินคา แสดงให้เห็นถึงความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคและยีสต์และรา เนื่องจากมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในระดับต่ำกว่า 0.85 ที่เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคไม่สามารถเจริญได้ และปริมาณน้ำอิสระที่ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งยีสต์และราไม่สามารถเจริญได้ (Leistner and Gould, 2002) และการที่ตัวอย่างมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นปริมาณน้ำอิสระสำหรับอาหารแห้ง (dried food) ดังนั้น จุลินทรีย์ทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Leistner and Gould, 2002) นอกจากนี้ ที่ปริมาณน้ำอิสระระดับนี้อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ เช่น lipid oxidation, non-enzymatic browning และ water soluble reactions ยังไม่เกิดขึ้น (ภาพที่ 12) ดังนั้น ตัวอย่างถั่วดาวอินคาจึงปลอดภัยจากการเสื่อมคุณภาพโดยเชื้อจุลินทรีย์ จากแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค (pathogen) อาหารเป็นพิษ (food poisoning) และสารพิษจากเชื้อรา (mycotoxin) เช่น สารพิษอะฟลาทอกซิน (aflatoxin) และยังปลอดภัยจากการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีดังกล่าวข้างต้นด้วย



ภาพที่ 12 อัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่สัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ที่ระดับต่างๆ

4.5.2 ค่าความแข็ง (Hardness)

ค่าความแข็งเป็นการวัดแรงที่ต้องใช้เพื่อกดตัวอย่างอาหารให้ได้ระยะทางตามที่กำหนดไว้ ซึ่งบ่งบอกถึงความแข็งของตัวอย่างอาหารที่ทดสอบ (Paula and Conti-Silva, 2014) ผลการทดลองค่าความแข็งของถั่วดาวอินคาแสดงดังตารางที่ 7 พบว่า สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 ถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 2 มีค่าความแข็งมากที่สุด (4336.67 g) ($P \leq 0.05$) รองลงมาคือระยะที่ 1 และถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดเชียงรายระยะที่ 2 ถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดเชียงรายและตัวควบคุมของจังหวัดพิษณุโลกมีค่าความแข็งน้อยที่สุด ($P \leq 0.05$) และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่าถั่วดาว

อินคาที่ปลูกจังหวัดเชียงรายระยะที่ 3 มีค่าความแข็งมากที่สุด (4291.67 g) ($P \leq 0.05$) ถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1, 2 และ 3 มีค่าความแข็งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4.5.3 ค่าสี

ระบบ L*, a*, b* เป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L* จะบรรยายถึงความสว่าง จากค่า +L* แสดงถึงสีขาว (100) จนไปถึง –L* แสดงถึงสีดำ (0) แกน a* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว (-a*) ไปจนถึงแดง (+a*) ส่วนแกน b* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน (-b*) ไปเหลือง (+b*) (www.pballtechno.com)

จากตารางที่ 7 พบว่า สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 ถั่วดาวอินคาตัวอย่างควบคุมที่ปลูกจังหวัดเชียงรายมีค่า L* สูงที่สุด (61.80) ($P \leq 0.05$) รองลงมาคือ ถั่วดาวอินคาตัวอย่างควบคุมที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลกที่มีค่า L* 52.67 ถั่วดาวอินคาตัวอย่างควบคุมที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1 มีค่า L* ต่ำที่สุด (29.32) ($P \leq 0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 ถั่วดาวอินคาตัวอย่างควบคุมที่ปลูกจังหวัดเชียงรายมีค่า L* สูงที่สุด (61.80) ($P \leq 0.05$) รองลงมาคือ ถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 3 ที่มีค่า L* 55.00 ถั่วดาวอินคาตัวอย่างควบคุมที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1 มีค่า L* ต่ำที่สุด (33.27) ($P \leq 0.05$)

ค่าสี a* สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 ถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดเชียงรายระยะที่ 1 มีค่า a* สูงที่สุด (8.56) ($P \leq 0.05$) รองลงมาคือ ถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1 ที่มีค่า a* 7.89 ถั่วดาวอินคาตัวอย่างควบคุมที่ปลูกจังหวัดเชียงรายมีค่า a* ต่ำที่สุด (1.30) ($P \leq 0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 ถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 2 มีค่า a* สูงที่สุด (7.14) ($P \leq 0.05$) และถั่วดาวอินคาตัวอย่างควบคุมที่ปลูกจังหวัดเชียงรายมีค่า a* ต่ำที่สุด (1.30) ($P \leq 0.05$)

ค่าสี b* สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 ถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดเชียงรายระยะที่ 1 มีค่า b* สูงที่สุด (18.95) ($P \leq 0.05$) และถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลกและเชียงรายระยะที่ 2 มีค่า b* ต่ำที่สุด (13.81 และ 13.25) ($P \leq 0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 ถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 2 มีค่า b* สูงที่สุด (20.63) ($P \leq 0.05$) และถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดเชียงรายระยะที่ 2 และถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 3 มีค่า b* ต่ำที่สุด (12.51 และ 12.40) ($P \leq 0.05$)

สีของเนื้อในถั่วดาวอินคามีความแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ปริมาณความชื้น ระยะเวลาการถูกแสงแดดหลังจากแก่เต็มที่ หรือความเก่าเก็บของถั่วดาวอินคา หรือการถูกทำลายโดยเชื้อโรคและแมลง

ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อในถั่วดาวอินคา

Sample	a_w	Hardness (g)	Color		
			L*	a*	b*
PHCT	0.089±0.004^{ef}	3063.33±53.41^{e}	52.67±0.29^{b}	3.03±0.10^{d}	14.67±0.23^{d}
PH101	0.193±0.004^{b}	4069.33±56.05^{b}	29.32±1.08^{g}	7.89±0.17^{b}	17.90±0.54^{b}
PH102	0.197±0.002^{b}	4336.67±105.22^{a}	40.82±1.47^{d}	3.58±0.26^{c}	13.81±0.92^{de}
PH103	0.107±0.004^{d}	3368.33±17.62^{d}	51.30±0.22^{c}	3.54±0.10^{c}	14.57±0.17^{d}
CHCT	0.094±0.002^{e}	3315.00±61.49^{d}	61.80±0.46^{a}	1.30±0.09^{f}	16.32±0.26^{c}
CH101	0.207±0.004^{a}	3734.67±254.58^{c}	61.14±0.64^{f}	8.56±0.40^{a}	18.95±0.74^{a}
CH102	0.154±0.004^{c}	39.79.33±154.71^{b}	37.11±0.50^{e}	3.71±0.05^{c}	13.25±0.82^{e}
CH103	0.085±0.002^{f}	3076.67±134.18^{e}	37.77±0.09^{e}	2.42±0.11^{e}	16.09±0.29^{c}
PHCT	0.089±0.004^{F}	3063.33±53.41^{D}	52.67±0.29^{C}	3.03±0.10^{E}	14.67±0.23^{E}
PH201	0.195±0.003^{C}	2861.67±296.89^{DE}	33.27±0.67^{H}	4.51±0.18^{B}	15.63±0.34^{D}
PH202	0.195±0.002^{C}	2685.33±100.58^{E}	41.02±0.30^{E}	7.14±0.12^{A}	20.63±0.19^{A}
PH203	0.175±0.004^{E}	2692.67±193.01^{E}	55.00±0.28^{B}	3.35±0.06^{D}	12.40±0.08^{F}
CHCT	0.094±0.002^{F}	3315.00±61.49^{C}	61.80±0.46^{A}	1.30±0.09^{F}	16.32±0.26^{C}
CH201	0.241±0.009^{B}	3828.33±102.79^{B}	45.58±0.36^{D}	4.33±0.03^{BC}	16.87±0.05^{B}
CH202	0.183±0.005^{D}	3311.67±43.55^{C}	38.28±1.26^{F}	3.34±0.14^{D}	12.51±0.19^{F}
CH203	0.424±0.003^{A}	4291.67±42.59^{A}	37.22±0.34^{G}	4.27±0.05^{C}	15.70±0.08^{D}

หมายเหตุ : ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P≤0.05 ของการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1
ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A, B, C, D, E และ F ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P≤0.05 ของการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2

10 98 8

4.6 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเนื้อในถั่วดาวอินคา

4.6.1 ปริมาณความชื้น

เนื้อในถั่วดาวอินคาที่ทำการทดลองมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 1.42-3.72% โดยรายละเอียดต่างๆ ได้วิจารณ์แล้วในข้อ 4.3 ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำกว่าค่าที่รายงาน 4.38% โดย Follegatti-Romero et al. (2009) และ 3.3% ที่รายงานโดย Gutierrez et al. (2011)

4.6.2 ปริมาณโปรตีน

จากตารางที่ 8 พบว่า เนื้อในถั่วดาวอินคาที่ทำการทดลองมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 16.23-18.98% สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 ถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1, 2 และ ตัวอย่างควบคุม มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 3 และถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดเชียงรายทั้ง 4 ตัวอย่างมีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 ถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลกทั้ง 4 ตัวอย่างมีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันทางนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่สูงกว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดเชียงรายทั้ง 4 ตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนสามารถสรุปได้ว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงราย

ถั่วดาวอินคาที่ทำการทดลองมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 16.23-18.98% ซึ่งต่ำว่าค่าที่รายงาน 27% โดย Guillen et al. (2003) และ 24.7% ที่รายงานโดย Gutierrez et al. (2011)

4.6.3 ปริมาณไขมัน

เนื้อในถั่วดาวอินคาที่ทำการทดลองมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 38.15-48.81% (ตารางที่ 8) ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันของการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พบว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายตัวอย่างควบคุมและระยะที่ 3 มีปริมาณไขมันมากที่สุด ($P\leq0.05$) แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกและเชียงรายระยะที่ 1 มีปริมาณไขมันต่ำที่สุด ($P\leq0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายตัวอย่างควบคุมมีปริมาณไขมันสูงที่สุด ($P\leq0.05$) ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกตัวอย่างควบคุมและระยะที่ 2 และถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายระยะที่ 1 และ 3 มีปริมาณไขมันน้อยที่สุด ($P\leq0.05$) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าถั่วดาวดินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายมีปริมาณไขมันมากกว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลก

ถั่วดาวอินคาที่ทำการทดลองมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 38.15-48.81% ซึ่งพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าที่รายงาน 42% โดย Zanqui et al. (2016) และ 42% ที่รายงานโดย Gutierrez et al. (2011) แต่ต่ำกว่าค่าที่รายงาน 54.3% โดย Follegatti-Romero et al. (2009)

4.6.4 ปริมาณเยื่อใย

เนื้อในถั่วดาวอินคาที่ทำการทดลองมีปริมาณเยื่อใยอยู่ในช่วง 14.50-22.24% (ตารางที่ 8) ผลการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พบว่า ถั่วดาวดินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายตัวอย่างควบคุมและระยะที่ 2 มีปริมาณเยื่อใยสูงที่สุด ($P\leq0.05$) แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1 มีปริมาณเยื่อใยน้อยที่สุด ($P\leq0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่าถั่วดาวดินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายตัวอย่างควบคุมและระยะที่ 3 และถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัด

พิษณุโลกระยะที่ 2 มีปริมาณเยื่อใยสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกในระยะที่ 1 และระยะที่ 3 มีปริมาณเยื่อในน้อยที่สุด ($P \leq 0.05$)

4.6.5 ปริมาณเถ้า

เนื้อในถั่วดาวอินคาที่ทำการทดลองมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 2.70-3.06% (ตารางที่ 8) ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พบว่าถั่วดาวดินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายระยะที่ 3 มีปริมาณเถ้าสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งตัวอย่างอื่นๆ นี้มีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนปริมาณเถ้าของการเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่า ถั่วดาวอินคาจากทั้งสองจังหวัดมีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ถั่วดาวอินคาที่ทำการทดลองมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 2.70-3.06% ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำกว่าค่าที่รายงาน 4% โดย Gutierrez et al. (2011)

4.6.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

เนื้อในถั่วดาวอินคาที่ทำการทดลองมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วง 7.70-22.88% (ตารางที่ 8) ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พบว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับตัวอย่างถั่วดาวดินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายระยะที่ 1 ส่วนถั่วดาวดินคาตัวอย่างควบคุมที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่าทุกตัวอย่างมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นถั่วดาวดินคาตัวอย่างควบคุมที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$)

ถั่วดาวอินคาที่ทำการทดลองมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วง 7.70-22.88% ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำกว่าค่าที่รายงาน 30.9% โดย Gutierrez et al. (2011)

จากการเปรียบเทียบปริมาณองค์ประกอบโดยประมาณของถั่วดาวอินคาในงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ พบว่ามีค่าที่แตกต่างกัน โดยความแตกต่างนี้อาจเนื่องมาจาก สายพันธุ์ สถานที่ปลูก ภูมิอากาศ การดูแลรักษา ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว และวิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน (Chirinos et al., 2013)

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของเนื้อในถั่วดาวอินคา

Sample	Content (%)					
	Moisture	Protein	Fat	Fiber	Ash	Carbohydrate
PHCT	2.12±0.13^{b}	18.64±0.18^{a}	41.88±2.35^{c}	18.60±0.11^{bc}	2.70±0.04^{b}	16.08±2.24^{bc}
PH101	3.00±0.44^{a}	18.64±0.27^{a}	38.15±1.01^{d}	14.50±0.24^{d}	2.76±0.05^{b}	22.88±0.36^{a}
PH102	2.81±0.21^{a}	18.98±0.13^{a}	41.86±1.12^{c}	18.45±0.22^{bc}	2.72±0.03^{b}	15.18±1.19^{cd}
PH103	1.54±0.10^{c}	17.65±0.39^{b}	42.71±2.93^{c}	18.92±0.07^{b}	2.78±0.13^{b}	16.31±3.20^{bc}
CHCT	1.56±0.07^{c}	16.96±0.68^{b}	48.81±0.52^{a}	22.24±1.11^{a}	2.71±0.08^{b}	7.70±1.14^{e}
CH101	2.05±0.20^{b}	17.31±0.11^{b}	40.94±1.50^{cd}	17.47±1.06^{c}	2.77±0.15^{b}	19.47±2.00^{ab}
CH102	2.11±0.25^{b}	17.54±0.46^{b}	44.20±0.40^{bc}	21.60±1.38^{a}	2.82±0.10^{b}	11.73±1.35^{d}
CH103	1.42±0.12^{c}	17.25±0.94^{b}	47.26±2.49^{ab}	17.16±0.62^{c}	3.06±0.15^{a}	13.86±4.06^{cd}
PHCT	2.12±0.13^{C}	18.64±0.18^{A}	41.88±2.35^{CD}	18.60±0.11^{CD}	2.70±0.04	16.08±2.24^{A}
PH201	2.78±0.21^{B}	18.59±0.39^{A}	42.92±0.79^{C}	17.27±1.01^{DE}	2.77±0.11	15.66±1.43^{A}
PH202	2.16±0.58^{C}	18.22±0.15^{A}	40.09±0.91^{D}	22.19±1.56^{A}	2.78±0.03	14.57±1.64^{A}
PH203	1.91±0.08^{CD}	18.19±0.17^{A}	46.37±0.98^{B}	16.62±1.27^{E}	2.73±0.10	14.17±0.76^{A}
CHCT	1.56±0.07^{D}	16.96±0.68^{B}	48.81±0.52^{A}	22.24±1.11^{A}	2.71±0.08	7.70±1.14^{B}
CH201	2.14±0.07^{C}	16.43±0.05^{BC}	42.24±0.96^{CD}	20.30±0.50^{BC}	2.81±0.03	16.08±1.52^{A}
CH202	2.14±0.10^{C}	16.23±0.15^{C}	46.09±0.56^{B}	18.82±0.52^{CD}	2.77±0.07	13.94±1.08^{A}
CH203	3.72±0.07^{A}	16.51±0.17^{BC}	42.05±1.09^{CD}	20.67±0.62^{AB}	2.85±0.11	14.20±1.26^{A}

หมายเหตุ : ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ของการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1
ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A, B, C, D, E และ F ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ของการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2

4.7 ค่ากรดและค่าเปอร์ออกไซด์ของเนื้อในถั่วดาวอินคา

4.7.1 ค่ากรดของเนื้อในถั่วดาวอินคา

ค่ากรด (Acid value, AV) เป็นค่าที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำมันและไขมัน โดยเป็นค่าที่บ่งชี้ว่าไตรกลีเซอไรด์ ที่เป็นส่วนประกอบหลักในไขมันและน้ำมันถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยมีเอนไซม์ไลเปส และความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลผลิต คือ กลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ ซึ่งทำให้น้ำมันและไขมันมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ค่ากรดของไขมันหรือน้ำมัน คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ซึ่งค่าที่ได้สามารถนำมาคำนวณเป็นปริมาณกรดไขมันอิสระ (www.foodnetworksolution.com) จากตารางที่ 9 เนื้อในถั่วดาวอินคาที่ทำการทดลองมีค่ากรดอยู่ในช่วง 0.32-1.42 mg KOH/g oil ผลการวิเคราะห์ค่ากรดของการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พบว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1 และ 2 มีค่ากรดสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนตัวอย่างควบคุมจากทั้งสองจังหวัดมีค่ากรดต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1,2 และ 3 และถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายระยะที่ 1 มีค่ากรดสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ตัวอย่างควบคุมจากทั้งสองจังหวัดมีค่ากรดต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ค่ากรด สามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างควบคุมของทั้งสองจังหวัด (ตัวอย่างถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวเมื่อเปลือกอ้าและแห้งโดยมีเปลือกสีน้ำตาลเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ปี) มีค่ากรดต่ำที่สุด และพบว่า การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 ถั่วดาวอินคามีค่ากรดสูงกว่าการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 และถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกมีค่ากรดสูงกว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงราย

ถั่วดาวอินคาที่ทำการทดลองมีค่ากรดอยู่ในช่วง 0.32-1.42 mg KOH/g oil ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าที่รายงานโดย Vicente et al. (2015) ที่พบว่าน้ำมันถั่วดาวอินคามีค่ากรด 2.40 mg KOH/g oil

4.7.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ของเนื้อในถั่วดาวอินคา

ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value, PV) เป็นค่าที่ใช้การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน (rancidity) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของน้ำมัน และแสดงถึงปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.002 นอร์มัลที่ใช้ในการไทเทรต น้ำมัน 1 กรัม หรือหมายถึง จำนวนมิลลิกรัมสมมูลของเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนที่มีในน้ำมัน 1 กิโลกรัม ถ้าค่าเปอร์ออกไซด์สูง แสดงว่าน้ำมันเกิด lipid oxidation มาก มีกลิ่นหืนมาก เกิดปฏิกิริยา oxidative rancidity มาก (http://www.foodnetworksolution.com) จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) พ.ศ.2543 เรื่อง น้ำมันและไขมัน ระบุว่าค่าเปอร์ออกไซด์คิดเป็นมิลลิกรัมสมมูลย์ต่อน้ำมันและไขมัน 1 กิโลกรัม ได้ไม่เกิน 10 จากผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ของถั่วดาวอินคาทั้งสองการเก็บเกี่ยวและทั้งสองจังหวัดมีค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 0.483-0.493 meq/kg oil และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และพบว่ามีค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าค่าที่ระบุในประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) พ.ศ.2543 เรื่อง น้ำมันและไขมัน แสดงว่าถั่วดาวอินคามีคุณภาพดีและยังไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน

ถั่วดาวอินคาที่ทำการทดลองมีค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 0.483-0.493 meq/kg oil ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าที่รายงานโดย Vicente et al. (2015) ที่พบว่าน้ำมันถั่วดาวอินคามีค่าเปอร์ออกไซด์ 7.36 meq/kg oil

4.8 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อในถั่วดาวอินคา

4.8.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของเนื้อในถั่วดาวอินคา

ผลวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (Total phenolic content; TPC) แสดงดังตารางที่ 9 โดยพบว่า เนื้อในถั่วดาวอินคาจากทั้งสองการเก็บเกี่ยวและสองจังหวัดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 103.18-38,500 mg gallic acid/100 g สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พบว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) และถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกและเชียงรายระยะที่ 3 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) และตัวอย่างควบคุมจากทั้งสองจังหวัดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) โดยสรุปพบว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงราย และถั่วดาวอินคาจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าถั่วดาวอินคาจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2

ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่พบในถั่วดาวอินคาในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วง 103.18-38,500 mg gallic acid/100 g ซึ่งสูงกว่าค่าที่รายงานโดย Chirinos et al. (2013) ที่พบว่าถั่วดาวอินคา 16 สายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศเปรูมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด 64.6-80.0 mg gallic acid/100 g ดังนั้น จะเห็นได้ว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกในประเทศไทยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าซึ่งจะส่งผลต่อการมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าและเป็นผลดีต่อสุขภาพ

4.8.2 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อในถั่วดาวอินคา

4.8.2.1 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

การวิเคราะห์การเป็นสารต้านออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ DPPH แสดงดังตารางที่ 9 เนื้อในถั่วดาวอินคาจากทั้งสองการเก็บเกี่ยวและสองจังหวัดมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH อยู่ในช่วง 9.36-13.71% สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พบว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายระยะที่ 3 และตัวอย่างควบคุมของทั้งสองจังหวัดมีค่า DPPH สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1 มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกและเชียงรายระยะที่ 3 มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 2 และถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายระยะที่ 1 มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยสรุป พบว่า ถั่วดาวอินคาจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำกว่าถั่วดาวอินคาจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2

4.8.2.2 Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP)

การวิเคราะห์ Ferric reducing antioxidant power (FRAP) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบการต้านออกซิเดชัน โดยอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ และติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเชิงซ้อนเมื่อสารประกอบเชิงซ้อน ferric tripyridyltriazine (Fe^{3+} -TPTZ) ได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านออกซิเดชัน แล้วจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูป สารประกอบเชิงซ้อน ferrous tripyridyltriazine (Fe^{2+} -TPTZ) ที่มี

สีม่วงน้ำเงิน (http://www.erp.mju.ac.th/openFile) ผลการวิเคราะห์ค่า FRAP แสดงดังตารางที่ 9 ซึ่งพบว่า เนื้อในถั่วดาวอินคาจากทั้งสองการเก็บเกี่ยวและสองจังหวัดมีค่า FRAP อยู่ในช่วง 5803.99-10700.23 mg Trolox equivalent สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 พบว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1 มีค่า FRAP สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายระยะที่ 3 และตัวอย่างควบคุมจากทั้งสองจังหวัด มีค่า FRAP ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) สำหรับการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกระยะที่ 1 มีค่า FRAP สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และถั่วดาวอินคาตัวอย่างควบคุมที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายมีค่า FRAP ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)โดยสรุป พบว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกมีค่า FRAP สูงกว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงราย และถั่วดาวอินคาจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 มีค่า FRAP สูงกว่าถั่วดาวอินคาจากการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2

ตารางที่ 9 ค่ากรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อในถั่วดาวอินคา

Sample	Acid Value (mg KOH/g oil)	Peroxide Value (meq/kg oil)	Total Phenolic Content (mg gallic acid/100 g)	Antioxidant activity	
				DPPH (%)	FRAP (mg Trolox equivalent)
PHCT	0.32±0.08^{e}	0.490±0.000	120.31±1.44^{e}	12.23±0.28^{abc}	5892.69±79.83^{ef}
PH101	1.28±0.15^{a}	0.490±0.010	385.00±1.81^{a}	9.36±0.09^{f}	10700.23±186.90^{a}
PH102	1.42±0.09^{a}	0.483±0.006	311.30±1.19^{b}	11.49±0.47^{cd}	10079.33±377.57^{b}
PH103	0.60±0.08^{d}	0.493±0.006	103.18±1.37^{f}	11.68±0.84^{bcd}	6212.01±227.36^{e}
CHCT	0.32±0.09^{e}	0.493±0.012	116.24±1.81^{e}	12.56±0.05^{ab}	6167.66±81.29^{ef}
CH101	1.06±0.08^{b}	0.487±0.006	263.03±0.69^{d}	10.47±0.56^{e}	9006.06±358.00^{c}
CH102	0.82±0.01^{c}	0.490±0.010	272.13±3.14^{c}	10.84±0.74^{de}	8562.56±85.54^{d}
CH103	0.55±0.00^{d}	0.487±0.006	107.13±8.56^{f}	12.84±0.33^{a}	5803.99±40.65^{f}
PHCT	0.32±0.08^{C}	0.490±0.000	120.31±1.44^{F}	12.23±0.28^{B}	5892.69±79.83^{H}
PH201	0.63±0.08^{A}	0.487±0.006	380.54±2.47^{A}	11.31±0.56^{C}	9795.49±81.29^{A}
PH202	0.69±0.14^{A}	0.490±0.000	337.41±4.28^{B}	10.15±0.14^{D}	9147.98±66.97^{B}
PH203	0.55±0.01^{AB}	0.487±0.006	156.20±8.08^{E}	13.72±0.47^{A}	6522.46±40.65^{F}
CHCT	0.32±0.09^{C}	0.493±0.012	116.24±1.81^{F}	12.56±0.05^{B}	6167.66±81.29^{G}
CH201	0.59±0.08^{A}	0.487±0.006	243.64±1.19^{C}	10.43±0.61^{D}	7764.26±85.54^{C}
CH202	0.42±0.01^{BC}	0.493±0.006	245.62±0.68^{C}	11.17±0.33^{C}	7551.38±15.36^{D}
CH203	0.55±0.01^{AB}	0.490±0.000	196.16±1.19^{D}	13.35±0.10^{A}	7036.92±46.09^{E}

หมายเหตุ : ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ของการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1
ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A, B, C, D, E และ F ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ของการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2

4.9 ชนิดและปริมาณของกรดไขมัน

เนื้อในของถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกและจังหวัดเชียงรายจากทั้ง 2 การเก็บเกี่ยว ประกอบด้วยกรดไขมัน 12 ชนิด (ตารางที่ 10) โดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ได้แก่

1. cis-9,12-Linoleic acid (C18:2n6) ปริมาณ 15.33-20.34 g/100 g
2. alpha-Linolenic acid (C18:3n3) ปริมาณ 9.87-18.21 g/100 g
3. cis-9-Oleic acid (C18:1n9c) ปริมาณ 3.34-5.98 g/100 g
4. Palmitic acid (C16:0) ปริมาณ 1.56-2.35 g/100 g
5. Stearic acid (C18:0) ปริมาณ 1.20-1.70 g/100 g
6. cis-11-Eicosenoic acid (C20:1n11) ปริมาณ 0.10-0.16 g/100 g
7. Arachidic acid (C20:0) ปริมาณ 0.05-0.08 g/100 g
8. gamma-Linolenic acid (C18:3n6) ปริมาณ 0.03-0.06 g/100 g
9. Heptadecanoic acid (C17:0) ปริมาณ 0.02-0.04 g/100 g
10. Palmitoleic acid (C16:1n7) ปริมาณ 0.02-0.03 g/100 g
11. cis-10-Heptadecenoic acid (C17:1n10) ปริมาณ ND-0.02 g/100 g
12. cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2) ปริมาณ ND-0.01 g/100 g

โดยเป็นกรดไขมันอิ่มตัว 4 ชนิด กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโมโน 4 ชนิด และกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลี 4 ชนิด และเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย ชนิด 3 ชนิด คือ cis-9,12-Linoleic acid (โอเมก้า 6), gamma-Linolenic acid (โอเมก้า 6) และ alpha-Linolenic acid (โอเมก้า 3) งานวิจัยนี้พบชนิดของกรดไขมัน 12 ชนิดซึ่งมากกว่ากรดไขมันที่รายงานโดย Gonzalez-Aspajo et al. (2015) ที่ตรวจพบกรดไขมันในน้ำมันถั่วดาวอินคาที่ปลูกในประเทศฝรั่งเศสเพียง 5 ชนิด ซึ่งได้แก่ palmitic acid 5%, stearic acid 2%, oleic acid 9%, linoleic acid 35% และ alpha-linolenic acid 48% และ Gutierrez al. (2017) ตรวจพบกรดไขมันในน้ำมันถั่วดาวอินคาที่ปลูกในประเทศฝรั่งเศสเพียง 5 ชนิด ซึ่งได้แก่ palmitic acid 4.41%, stearic acid 2.68%, oleic acid 9.66%, linoleic acid 35.94% และ alpha-linolenic acid 47.33% นอกจากนี้ ยังพบชนิดของกรดไขมันมากกว่าชนิดที่รายงานโดย Chirinos et al. (2013) ที่ตรวจพบกรดไขมันในน้ำมันถั่วดาวอินคาที่ปลูกในประเทศเปรูเพียง 6 ชนิด ซึ่งได้แก่ palmitic acid 4.80%, stearic acid 3.39%, oleic acid 11%, vaccenic acid 0.68%, linoleic acid 37.81% และ alpha-linolenic acid 42.32% ความแตกต่างอาจเนื่องมาจาก สายพันธุ์ สถานที่ปลูก ภูมิอากาศ การดูแลรักษา ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว และวิธีการวิเคราะห์ (Chirinos et al., 2013)

จากตัวอย่างถั่วดาวอินคา 14 ตัวอย่าง พบว่า มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวเฉลี่ย 3.35 g/100 g กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโมโนเฉลี่ย 4.63 g/100 g และกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลีเฉลี่ย 30.91 g/100 g (ตารางที่ 11) จะเห็นได้ว่า กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลี ซึ่งคิดเป็น 79.48% ของกรดไขมันทั้งหมด ในณะที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโมโน 11.91% และกรดไขมันอิ่มตัว 8.61% โดยมีสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลีต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโมโนต่อกรดไขมันอิ่มตัวเฉลี่ย 7.56:1.57:1-11.14:1.17:1 ซึ่งค่าที่พบในงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Gonzalez-Aspajo et al. (2015) ที่รายงานว่า น้ำมันถั่วดาวอินคาประกอบด้วย กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลี 83.26% กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโมโน 9.66% และกรดไขมันอิ่มตัว 7.08% โดยมีสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลีต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโมโนต่อกรดไขมันอิ่มตัว 12:1.29:1 และใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Gutierrez et al. (2017) ที่รายงานว่า น้ำมันถั่วดาวอินคาประกอบด้วย กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลี 84% กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโมโน 9% และ

กรดไขมันอิ่มตัว 7% โดยมีสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลีต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโมโนต่อกรดไขมันอิ่มตัว 11.76:1.36:1 อย่างไรก็ตาม สัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลีที่พบงานวิจัยนี้สูงกว่าค่าที่รายงานโดย Chirinos et al. (2013) ที่รายงานว่า น้ำมันถั่วดาวอินคาที่ปลูกในประเทศเปรู ประกอบด้วย กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลี 81.1% กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโมโน 13.2% และกรดไขมันอิ่มตัว 9.1% โดยมีสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลีต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโมโนต่อกรดไขมันอิ่มตัว 8.91:1.45:1 และที่รายงานโดย Zanqui et al. (2016) ที่รายงานว่า น้ำมันถั่วดาวอินคาที่ปลูกในประเทศโคลัมเบีย ประกอบด้วย กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลี 80.77% กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโมโน 9.40% และกรดไขมันอิ่มตัว 9.83% โดยมีสัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลีต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโมโนต่อกรดไขมันอิ่มตัว 8.22:0.96:1

ทุกตัวอย่างถั่วดาวอินคาตรวจไม่พบ trans fat (ตารางที่ 11) ซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพ เนื่องจากได้มีการรายงานว่า trans fat เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดโรคหัวใจและโรคมะเร็ง (Mensink and Kata, 1990; Ascherio et al., 1999; Hu et al., 2001; Fernendez et al., 2007) การได้รับปริมาณ trans fat เพิ่มขึ้น 2% จะทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจสูงถึง 23% (Mozaffarian et al., 2006)

ไขมันส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 (15,370.20-20,383.17 mg/100 g) รองลงมาคือ โอเมก้า 3 (9,874.20-18,209.31 mg/100 g) และ 9 (3,337.47-5,979.99 mg/100 g) ตามลำดับ (ตารางที่ 11) ซึ่งทั้งโอเมก้า 6 และ 3 ที่พบในปริมาณมากนี้เป็นกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกาย (essential fatty acids) ซึ่งร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์เองได้จึงต้องได้รับจากการรับประทานเท่านั้น ดังนั้น เนื้อในถั่วดาวอินคาจึงมีประโยชน์ต่อสุขภาพเป็นอย่างยิ่ง เมื่อพิจารณาสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 ต่อ โอเมก้า 3 พบว่ามีค่า 1.12-1.56 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสัดส่วนที่แนะนำให้คนบริโภค ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 (Simopoulos, 2011) โดยสัดส่วนที่พบในงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย Zanqui et al. (2016) คือ 1.31 แต่สูงกว่าค่าที่รายงานโดย Chirinos et al. (2013) คือ 0.83-1.09, Gutierrez et al. (2011) คือ 0.81 และ Gutierrez et al. (2017) คือ 0.76 เล็กน้อย แต่ใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย Maurer et al. (2012) คือ 1.12 อย่างไรก็ตาม สัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 ต่อ โอเมก้า 3 ที่พบในรายงานวิจัยนี้ ต่ำกว่าค่าที่พบในน้ำมันคาโนล่า (2.22), น้ำมันมะกอก (7.69), น้ำมันถั่วเหลือง (6.66), และวอลนัท (5.0) (Belitz and Grosch, 1999) ส่วนน้ำมันที่มีสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 ต่อ โอเมก้า 3 ต่ำกว่านั้นพบในน้ำมันแฟลกซ์ (0.27) (Ixtaina et al., 2011) และน้ำมันเชีย (0.26-0.34) (Ciftci et al., 2012)

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าน้ำมันถั่วดาวอินคาจึงมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากเพราะมีกรดไขมันชนิด alpha-linolenic acid ในปริมาณสูง มีกรดไขมันจำเป็นชนิดโอเมก้า 3 และ 6 ในปริมาณสูง และมีสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 ต่อ โอเมก้า 3 ใกล้เคียงกับค่าที่แนะนำให้บริโภค

ตารางที่ 10 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในเนื้อในถั่วดาวอินคา

Samples	Fatty acid content (g/100 g)											
	Palmitic acid (C16:0)	Heptadecanoic acid (C17:0)	Stearic acid (C18:0)	Arachidic acid (C20:0)	Palmitoleic acid (C16:1n7)	cis-10-Heptadecenoic acid (C17:1n10)	cis-9-Oleic acid (C18:1n9c)	cis-11-Eicosenoic acid (C20:1n11)	cis-9,12-Linoleic acid (C18:2n6)	gamma-Linolenic acid (C18:3n6)	alpha-Linolenic acid (C18:3n3)	cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2)
PH1CT	1.78	0.02	1.32	0.06	0.02	ND	4.40	0.15	17.14	0.05	15.86	ND
PH101	1.74	0.03	1.20	0.05	0.02	0.01	3.49	0.12	15.33	0.04	13.43	ND
PH102	1.68	0.03	1.22	0.05	0.02	0.01	4.08	0.12	15.36	0.04	13.25	ND
PH103	1.78	0.03	1.30	0.06	0.02	0.01	4.39	0.12	16.29	0.04	13.18	ND
CH1CT	1.58	0.02	1.24	0.05	0.02	ND	3.87	0.14	15.35	0.05	15.80	ND
CH101	1.68	0.03	1.26	0.05	0.02	0.01	3.34	0.14	16.18	0.05	15.93	0.01
CH102	1.76	0.03	1.38	0.06	0.02	0.01	3.58	0.16	17.71	0.06	18.21	0.01
CH103	1.56	0.02	1.37	0.06	0.02	ND	3.66	0.14	15.59	0.05	14.93	0.01
PH201	2.14	0.04	1.36	0.06	0.03	0.02	5.48	0.11	17.02	0.03	10.15	ND
PH202	2.03	0.04	1.29	0.06	0.03	0.02	5.22	0.10	16.21	0.03	9.87	ND
PH203	2.35	0.04	1.59	0.07	0.03	0.02	5.98	0.14	19.71	0.05	13.96	ND
CH201	2.25	0.04	1.70	0.08	0.02	0.02	5.69	0.14	20.34	0.05	14.07	ND
CH202	1.94	0.04	1.46	0.06	0.02	0.02	4.83	0.12	17.82	0.04	12.32	ND
CH203	2.04	0.03	1.51	0.07	0.03	0.02	4.45	0.12	18.02	0.04	12.93	ND

Limit of detection = 0.01 g/100 g

ตารางที่ 11 ปริมาณของกรดไขมัน PMS ratio, trans fat และ omega ในเนื้อในถั่วดาวอินคา

Samples	Content (g/100 g)								
	SFA (g/100 g)	MUFA (g/100 g)	PUFA (g/100 g)	UFA (g/100 g)	PMS ratio	Trans fat (g/100 g)	Omega 3 (mg/100 g)	Omega 6 (mg/100 g)	Omega 9 (mg/100 g)
PH1CT	3.18	4.57	33.06	37.63	10.40:1.44:1	ND	15860.14	17189.89	4397.46
PH101	3.03	3.65	28.81	32.46	9.51:1.20:1	ND	13431.39	15370.80	3490.80
PH102	2.99	4.23	28.66	32.89	9.59:1.41:1	ND	13248.29	15403.58	4075.72
PH103	3.17	4.55	29.52	34.07	9.31:1.44:1	ND	13183.06	16329.85	4386.73
CH1CT	2.90	4.04	31.21	35.25	10.76:1.39:1	ND	15802.68	15401.16	3871.92
CH101	3.03	3.51	32.18	35.69	10.62:1.16:1	ND	15933.75	16235.79	3337.47
CH102	3.23	3.77	35.99	39.76	11.14:1.17:1	ND	18209.31	17766.76	3576.37
CH103	3.02	3.83	30.59	34.42	10.13:1.27:1	ND	14934.22	15638.59	3664.51
PH201	3.60	5.65	27.21	32.86	7.56:1.57:1	ND	10150.25	17056.22	5484.19
PH202	3.43	5.37	26.13	31.50	7.62:1.57:1	ND	9874.20	16251.91	5216.85
PH203	4.06	6.17	33.74	39.91	8.31:1.52:1	ND	13962.76	19766.16	5979.99
CH201	4.09	5.88	34.46	40.34	8.43:1.44:1	ND	14070.75	20383.17	5688.45
CH202	3.51	5.00	30.18	35.18	8.60:1.42:1	ND	12317.60	17861.22	4827.60
CH203	3.66	4.62	30.99	35.62	8.47:1.26:1	ND	12927.71	18059.54	4450.38

4.10 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโน

ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในเนื้อในถั่วดาวอินคาที่ได้รับคัดเลือกแสดงดังตารางที่ 12 พบว่าเนื้อในของถั่วดาวอินคาประกอบด้วยกรดอะมิโน 19 ชนิด เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ได้แก่

1. Lysine ปริมาณ 4771-5384 mg/100 g
2. Tyrosine ปริมาณ 3273-3780 mg/100 g
3. Leucine ปริมาณ 2434-3043 mg/100 g
4. Glutamic acid ปริมาณ 1593-2027 mg/100 g
5. Isoleucine ปริมาณ 1387-1714 mg/100 g
6. Phenylalanine ปริมาณ 1221-1594 mg/100 g
7. Aspartic acid ปริมาณ 1215-1495 mg/100 g
8. Cystine ปริมาณ 1378-1883 mg/100 g
9. Histidine ปริมาณ 1183-1427 mg/100 g
10. Valine ปริมาณ 1050-1284 mg/100 g
11. Glycine ปริมาณ 967-1069 mg/100 g
12. Tryptophan ปริมาณ 607-805 mg/100 g
13. Proline ปริมาณ 554-688 mg/100 g
14. Serine ปริมาณ 400-438 mg/100 g
15. Alanine ปริมาณ 397-482 mg/100 g
16. Threonine ปริมาณ 325-362 mg/100 g
17. Methionine ปริมาณ 120-147 mg/100 g
18. Hydroxyproline ปริมาณ 19-58 mg/100 g
19. Hydroxylysine ปริมาณ <5 mg/100 g

โดยกรดอะมิโนหลัก 5 ชนิดคือ lysine, tyrosine, leucine, glutamic acid และ isoleucine ซึ่งมีค่าเฉลี่ยจาก 2 ตัวอย่างควบคุมและ 2 ตัวอย่างที่ผ่านการคัดเลือกจากแหล่งที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกและเชียงราย คือ 5177 mg/100 g, 3454 mg/100 g, 2729 mg/100 g, 1772 mg/100 g และ 1541 mg/100 g ตามลำดับ ดังนั้น เนื้อในถั่วดาวอินคาจึงเป็นแหล่งที่ดีของกรดอะมิโน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acids) 9 ชนิดที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้ ซึ่งได้แก่ phenylalanine, valine, threonine, tryptophan, methionine, leucine, isoleucine, lysine และ histidine ดังนั้น เนื้อในถั่วดาวอินคาจึงมีประโยชน์ต่อร่างกาย

Guillen et al. (2003) รายงานว่า ถั่วดาวอินคาที่ปลูกในประเทศเปรูมีปริมาณโปรตีน 27% ซึ่งมีกรดอะมิโนหลักคือ cystine, tyrosine, threonine และ tryptophan แตกต่างจากปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนหลักที่พบในงานวิจัยนี้ ความแตกต่างอาจเนื่องมาจากสายพันธุ์ สถานที่ปลูก ภูมิอากาศ การดูแลรักษา ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว และวิธีการวิเคราะห์ (Chirinos et al., 2013)

ตารางที่ 12 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในเนื้อในถั่วดาวอินคาที่ได้รับคัดเลือก

Amino acids	Content (mg/100 g)			
	PHCT	PH103	CHCT	CH103
Alanine	458	482	407	397
Aspartic acid	1495	1359	1215	1234
Cystine	1378	1883	1555	1723
Glutamic acid	2027	1838	1593	1630
Glycine	1065	1069	967	1050
Histidine	1427	1410	1183	1413
Hydroxylysine	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
Hydroxyproline	19	58	43	20
Isoleucine	1714	1671	1387	1391
Leucine	2959	3043	2434	2479
Lysine	5132	5180	4771	5384
Methionine	147	140	120	123
Phenylalanine	1550	1594	1221	1243
Proline	688	640	554	569
Serine	437	438	400	412
Threonine	362	356	325	343
Tryptophan	689	805	607	708
Tyrosine	3458	3780	3273	3304
Valine	1284	1211	1050	1085

4.11 ปริมาณวิตามินอี (อัลฟ่า-โทโคฟีรอล)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินอี (อัลฟ่า-โทโคฟีรอล) ในเนื้อในถั่วดาวอินคาที่ได้รับคัดเลือกเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมจากจังหวัดพิษณุโลกและเชียงรายแสดงดังตารางที่ 13 ซึ่งพบว่า เนื้อในของถั่วดาวอินคามีปริมาณวิตามินอี (อัลฟ่า-โทโคฟีรอล) อยู่ในช่วง 1.02-1.42 mg/100 g โดยตัวอย่างถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 ความแก่อ่อนระยะที่ 3 จากจังหวัดเชียงรายมีปริมาณปริมาณวิตามินอี (อัลฟ่า-โทโคฟีรอล) สูงที่สุด (1.42 mg/100 g) รองลงมาคือตัวอย่างควบคุมจากจังหวัดพิษณุโลก (1.31 mg/100 g) ตัวอย่างควบคุมจากจังหวัดเชียงราย (1.18 mg/100 g) และตัวอย่างถั่วดาวอินคาที่เก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 ความแก่อ่อนระยะที่ 3 จากจังหวัดพิษณุโลก (1.02 mg/100 g) ตามลำดับ

ปริมาณอัลฟ่า-โทโคฟีรอลที่พบในถั่วดาวอินคาในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วง 1.02-1.42 mg/100 g ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย Chirinos et al. (2013) ที่พบว่าถั่วดาวอินคา 16 สายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศเปรูมีปริมาณอัลฟ่า-โทโคฟีรอล 1.13-1.27 mg/100 g

ตารางที่ 13 ปริมาณ Vitamin E (α-Tocopherol) ในเนื้อในถั่วดาวอินคาที่ได้รับคัดเลือก

Samples	Vitamin E (α-Tocopherol) content (mg/100 g)
PHCT	1.31
PH103	1.02
CHCT	1.18
CH103	1.42

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาที่ 3 ระยะความแก่อ่อนจากแปลงเกษตรกรที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลกและจังหวัดเชียงราย สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. คุณภาพด้านกายภาพ เนื้อในถั่วดาวอินคาที่มีความแก่อ่อน 3 ระยะและเก็บเกี่ยวจาก 2 จังหวัดมีคุณภาพทางกายภาพเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด โดยถั่วดาวอินคาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายมีขนาดใหญ่กว่าถั่วดาวอินคาที่ปลูกจังหวัดพิษณุโลก นอกจากนี้ เนื้อในถั่วดาวอินคามีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นปริมาณน้ำอิสระสำหรับอาหารแห้ง ดังนั้น จุลินทรีย์ทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และอัตราการเกิดปฏิกิริยา เช่น lipid oxidation, non-enzymatic browning และ water soluble reactions ยังไม่เกิดขึ้น ดังนั้น ตัวอย่างถั่วดาวอินคาจึงปลอดภัยจากการเสื่อมคุณภาพโดยเชื้อจุลินทรีย์ จากแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค แบคทีเรียที่ทำให้อาหารเป็นพิษ และสารพิษจากเชื้อรา เช่น อะฟลาทอกซิน และยังปลอดภัยจากการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีดังกล่าวข้างต้นด้วย

2. คุณภาพด้านเคมี เนื้อในถั่วดาวอินคาที่มีความแก่อ่อน 3 ระยะและเก็บเกี่ยวจาก 2 จังหวัดมีคุณภาพทางเคมีเป็นไปตามมาตรฐานกำหนดทั้งค่ากรดและค่าเปอร์ออกไซด์ ดังนั้น จึงมีคุณภาพเหมาะสมสำหรับการนำมาบริโภคและแปรรูป

3. เนื้อในถั่วดาวอินคาที่มีความแก่อ่อน 3 ระยะและเก็บเกี่ยวจาก 2 จังหวัดมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทั้ง DPPH และ FRAP โดยถั่วดาวอินคาที่แก่เต็มที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดต่ำกว่าถั่วดาวอินคาที่ยังไม่แก่เต็มที่ นอกจากนี้ ถั่วดาวอินคาที่แก่เต็มที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทั้ง DPPH สูงกว่าถั่วดาวอินคาที่ยังไม่แก่เต็มที่ ส่วนค่า FRAP นั้น ถั่วดาวอินคาที่แก่เต็มที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทั้ง DPPH ต่ำกว่าถั่วดาวอินคาที่ยังไม่แก่เต็มที่

4. เนื้อในถั่วดาวอินคาที่มีความแก่อ่อน 3 ระยะและเก็บเกี่ยวจาก 2 จังหวัดมีกรดไขมัน 12 ชนิด โดยกรดไขมันส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโพลี และพบกรดไขมันจำเป็น 3 ชนิด ได้แก่ cis-9,12-Linoleic acid (C18:2n6), alpha-Linolenic acid (C18:3n3) และ gamma-Linolenic acid (C18:3n6) และกรดไขมันส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 รองลงมาคือกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 9 ตามลำดับ นอกจากนี้ ตรวจไม่พบกรดไขมันทรานส์ในตัวอย่างถั่วดาวอินคาที่ทดสอบ

5. เนื้อในถั่วดาวอินคาที่ได้รับคัดเลือกและตัวอย่างควบคุมจาก 2 จังหวัดมีกรดอะมิโน 19 ชนิดโดยกรดอะมิโนที่พบในปริมาณมากได้แก่ Lysine, Tyrosine, Leucine, Glutamic acid และ Isoleucine และพบกรดอะมิโนจำเป็น 9 ชนิด ได้แก่ phenylalanine, valine, threonine, tryptophan, methionine, leucine, isoleucine, lysine และ histidine

6. เนื้อในถั่วดาวอินคาที่ได้รับคัดเลือกและตัวอย่างควบคุมจาก 2 จังหวัดมีปริมาณวิตามินอี (อัลฟ่า-โทโคฟีรอล) 1.02-1.42 mg/100 g

7. เพื่อให้ได้เนื้อในถั่วดาวอินคาที่มีคุณภาพดี มีปริมาณสารสำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ประหยัดพลังงานและเวลาในการอบแห้งเพื่อลดความชื้น เกษตรกรที่ปลูกถั่วดาวอินคาในจังหวัดพิษณุโลกและเชียงรายควรทำการเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคาเมื่อมีเปลือกสีน้ำตาล แห้งและอ้า ดังนั้น ลักษณะปรากฏของถั่วดาวอินคาที่สังเกตด้วยตาเปล่าสามารถนำมาใช้เป็นหนึ่งในเกณฑ์การพิจารณาความเหมาะสมของการเก็บเกี่ยวถั่วดาว

อินคาได้ เพราะลักษณะปรากฏทางกายภาพของถั่วดาวอินคาที่วัดด้วยสายตามีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดสำหรับการจำหน่ายของถั่วดาวอินคา

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เมื่อถั่วดาวอินคามีเปลือกสีน้ำตาล แห้งและอ้า เกษตรกรควรทำการเก็บเกี่ยวทันที ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพจากการปล่อยให้ถั่วดาวอินคาสัมผัสกับแสงแดด ความชื้น และอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพด้านเคมีและกายภาพ

2. หลังการเก็บเกี่ยวถั่วดาวอินคา ควรทำการแกะเปลือกทันที และลดปริมาณความชื้นให้เหลือ 3-5% เพื่อให้มีคุณภาพที่ดีและสามารถเก็บรักษาได้นาน

3. ควรวิเคราะห์ tocopherol และ tocotrienol profiles ในน้ำมันถั่วดาวอินคา เพื่อให้ทราบชนิดใดและรูปแบบใดของวิตามินอีที่พบในน้ำมันถั่วดาวอินคาที่ปลูกในประเทศไทย

4. ควรส่งเสริมการบริโภคถั่วดาวอินคาและแปรรูปถั่วดาวอินคาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหรือผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการและสารสำคัญที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายชนิดดังที่กล่าวมาในรายงานข้างต้น

เอกสารอ้างอิง

เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์. 2558. เอกสารคำสอนรายวิชาเทคโนโลยีผลไม้แห้งเปลือกแข็ง. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of the AOAC International. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists.

Ascherio, A., Katan, M., Zock, P., Stampfer, M., and Willett, W. 1999. Trans fatty acids and coronary heart disease. The New England Journal of Medicine. 340: 1994-1998.

Belitz, H.D., and Grosch, W. 1999. Food Chemistry (2nd ed.). Berlin, Germany: Springer-Verlag.

Bondioli, P., Della Bella, L. and Rettke, P. 2006. Alpha linolenic acid rich oils. Composition of *Plukenetia volubilis* (Sacha inchi) oil from Perú La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse. 83: 120–123.

Chirinos, R., Zuloeta G., Pedreschi R., Mignolet E., and Larondelle. 2013. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity. Food Chemistry. 141: 1732-1739.

Ciftci, O.N., Przybylski, R., and Rudzinska, M. 2012. Lipids components of flax, perilla and chia seeds. European Journal of Lipid Science and Technology. 114(7): 794-800.

Fanali C., Dugo L., Cacciola F., Beccaria M., Grasso S., Dachà M., Dugo, P., and Mondello, L. 2011. Chemical characterisation of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 59: 13043–13049.

Fernandez, M.B., Tonetto, G.M., Crapiste, G.H., and Damiani, D.E. 2007. Revisiting the hydrogenation of sunflower oil over a Ni catalyst. Journal of Food Engineering. 82: 199-208.

Follegatti-Romero L.A., Piantino C.R., Grimaldi R., Cabral F.A. 2009. Supercritical CO_2 extraction of omega-3 rich oil from Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. Journal of Supercritical Fluids. 49: 323–329.

Gonzalez-Aspajo, G., Belkhelfa, H., Haddioui-Hbabi, L., Bourdy, G., and Deharo, E. 2015. Sacha Inchi Oil (*Plukenetia volubilis* L.), effect on adherence of *Staphylococcus aureus* to human skin explant and keratinocytes *in vitro*. Journal of Ethnopharmacology. 171: 330-334.

Guillen, M.D., Ruiz, A., Cabo, N., Chirinos, R., and Pascual, G. 2003. Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil by FTIR spectroscopy and ^{1}H NMR. Composition with linseed oil. JAOCS. 80(8): 755-762.

Gutierrez, L.-F., Rosada, L.-M., and Jimenez, A. 2011. Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteritics of their lipid fraction. Grasas Y Aceites. 62(1): 76-83.

Gutierrez, L.-F., Quinones-Segura, Y., Sanchez-Reinoso, Z., Diaz, D.L., and Abril, J.I. 2017. Physicochemical properties of oils extracted from γ–irradiated Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. Food Chemistry. 237: 581-587.

Hamaker E., Valles C., Gilman R., Hardmeier R., Clark D., Garcia H., et al. 1992. American Association of Cereal Chemists. 69: 461–465.

Hanssen, H.P., and Schmitz-Hübsch, M. 2011. Sacha Inchi (*Plukenetia volubulis* L.) nut oil and its therapeutic and nutritional uses. Nuts & seeds in health and disease prevention. DOI: 10.1016/B978-0-12-375688-6.10117-3. Elsevier Inc. pp. 991-994.

Hu, F.B., Manson, J.E., and Willet, W.C. 2001. Types of dietary fat and risk of coronary heart disease. Journal of the American College of Nutrition. 20(1): 5-19.

Ixtaina, V.Y., Martinez, M.L., Spotorna, V., Mateo, C.M., Maestri, D.M., Diehl, V.W.K., Nolasco, S.K., and Tomas, M.C. 2011. Characterisation of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. Journal of Food Composition and Analysis. 24(2): 166-174.

Leistner, L., and Gould, G.W. 2002. Hurdle technologies, combination treatments for food stability, safety and quality. Kluwer Academic, New York.

Maurer, N.E., Hatta-Sakoda, B., Pascual-Chagman, G., and 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(2): 1173-1180.

Mensink, R., and Katan, M. 1990. Effect of dietary trans fatty acids on high-density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects. The New England Journal of Medicine. 323: 439-445.

Mozaffarian, D., Katan, M.B., Ascherio A., Stampfer, M.J., and Willett, W.C. 2006. Trans fatty acids and cardiovascular disease. New England Journal of Medicine. 354: 1601-1613.

Niu, L., Li, J., Chen, M.S., and Xu, Z.F. 2014. Determination of oil contents in Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) seeds at different developmental stages by two methods: Soxhlet extraction and time-domain nuclear magnetic resonance. Industrial Crops and Products. 56: 187-190.

Sathe, S.K., Hamaker, B.R., Sze-Tao, K.W.C., and Venkatachalam, M. 2002. Isolation, purification and biochemical characterization of a novel water soluble protein from Inca peanut (*Plukenetia volubulis* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50: 4906-4908.

Simopoulos, A.P. 2011. Evolutionary aspect of diet: the omega-6/omega-3 ratio and the brain. Molecular Neurobiology. 44: 203-215.

Vincente, J., de Carvalho, M.G., and Garcia-Rojas, E.E. 2015. Fatty acid profile of Sacha Inchi oil and blends by ^{1}H NMR and GC-FID. Food Chemistry. 181: 215-221.

Wansri, R. 2002. Pecan [*Carya illinoinensis* (Wangenh) K. Koch] maturity investigations. The University of Queensland, Gatton, Queensland, Australia.

Zanqui, A.B., da Silva, C.M., de Moris, D.R., Santos, J.M., Ribeiro, S.A.O., Eberlin, M.N., Cardozo-Filho, L., Visentainer, J.V., Gomes, S.T.M., and Matsushita, M. 2016. Sacha Inchi (*Plukenetia volubulis* L.) oil composition varies with changes in temperature and pressure in subcritical extraction with n-propane. Industrial Crops and Products. 87: 64-70.

http://www.banmuang.co.th/2014/05/หนุนปลูกถั่วดาวอินคา

http://www.narasha.com/723923/

http://www.sacha-inchi-oil.com/