โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของชาใบถั่วดาวอินคา

ชื่อนิสิต นางสาวฌานิยา โสระเสาว์ 5932518323
นางสาวนวพร ปัญญะ 5932534323

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของชาใบถั่วดาวอินคา

โดย

นางสาวณานิยา โสระเสาว์

นางสาวนวพร ปัญญะ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติพงศ์ อัศตรกุล

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประจำปีการศึกษา 2562

EFFECT OF DRYING METHODS ON QUALITY OF SACHA INCHI LEAF TEA (*Plukenetia volubilis* L.)

Chaniya Sorasao

Navaporn Panya

Project Advisor

Assistant Professor Kitipong Assatarakul, Ph.D.

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Bachelor of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

หัวข้องานวิจัย ผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของชาใบถั่วดาวอินคา

โดย นางสาวณานิยา โสระเสาว์

นางสาวนวพร ปัญญะ

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติพงศ์ อัศตรกุล

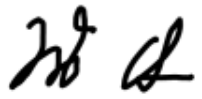
ปีการศึกษา 2562

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อนุมัติให้รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ประจำปีการศึกษา 2562



.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ขนิษฐา ธนานุวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติพงศ์ อัศตรกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้อโครงการ ผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของชาใบถั่วดาวอินคา

โดย นางสาวฌานิยา โสระเสาว์

นางสาวนวพร ปัญญะ

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติพงศ์ อัศตรกุล

ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของชาใบถั่วดาวอินคา โดยศึกษาผลของวิธีการทำแห้ง 2 วิธี (การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ) และอุณหภูมิในการทำแห้ง (50 ℃ 60 ℃ และ 70 ℃) ต่อคุณภาพ (ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP) ของชาใบถั่วดาวอินคา จากนั้นเลือกวิธีการทำแห้งที่ดีที่สุดไปศึกษาผลของอุณหภูมิ (70 ℃ 80 ℃ และ 90 ℃) และเวลา (3 6 9 15 20 25 และ 30 นาที) ในการชงชาต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของชาใบถั่วดาวอินคา โดยวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีดังนี้ ค่าสี (L* b* และ a*) ปริมาณความชื้น ค่า water activity ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP ผลการทดลองพบว่าใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 50 ℃ มีสีค่อนข้างเป็นสีเขียวสว่าง โดยค่า L* (ค่าความสว่าง) และ a* (ค่าความเป็นสีเขียว) มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณความชื้นและค่า water activity มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้น การทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 ℃ ส่งผลให้ชาใบถั่วดาวอินคามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด (24.34±0.45 mg GAE/gdw) ซึ่งให้ผลเป็นไปในทางเดียวกันกับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP ในขณะที่การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ℃ ส่งผลให้ชาใบถั่วดาวอินคามีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงที่สุด (10.94±0.63 mg QE/gdw) รองลงมา คือ การทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 ℃ (9.46±0.36 mg QE/gdw) เมื่อพิจารณาผลการทดลองข้างต้นจึงเลือกกระบวนการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 ℃ ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป จากผลการทดลองพบว่าการชงชาที่อุณหภูมิ 90 ℃ เวลา 20 นาที ส่งผลให้น้ำชาใบถั่วดาวอินคามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 41.12±1.54 mg GAE/gdw, 33.82±7.07 mg QE/gdw และ 140.67±1.62 mM trolox/gdw ตามลำดับ ในขณะที่การชงชาที่อุณหภูมิ 90 ℃ เวลา 15 นาที ส่งผลให้น้ำชาใบถั่วดาวอินคามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูงที่สุด (86.22±0.94% inhibition) นอกจากนี้การชงชาที่เวลานานขึ้นส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า การใช้ตู้อบสุญญากาศในการทำแห้งใบถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิ 60 ℃ สามารถคงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด และน้ำชาจากการชงชาใบถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิ 90 ℃ เป็นเวลา 20 นาที มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

Project title Effect of drying methods on quality of sacha inchi leaf tea (*Plukenetia volubilis* L.)

Student Miss Chaniya Sorasao

Miss Navaporn Panya

Study Program Bachelor of Science in Food Technology

Advisor Assistant Professor Kitipong Assatarakul, Ph.D.

Academic Year 2019

Abstract

The objective of this study was to study the effect of drying methods on quality of sacha inchi leaf tea. Two drying methods (hot air oven and vacuum dryer) and three temperature drying times (50 ℃, 60 ℃, and 70 ℃) were used in this study and quality of sacha inchi leaf tea (total phenolic content, flavonoid content, antioxidant activity by DPPH method and FRAP method) was determined. Then, the best drying condition was chosen to study the effect of brewing temperature (70 ℃, 80 ℃, and 90 ℃) and time (3, 6, 9, 15, 20, 25, and 30 minutes) on antioxidant properties of sacha inchi leaf tea. The result showed that sample dried by hot air oven at 50 ℃ obtained rather light green color. The L* (lightness) and a* (greenness) values decreased when drying temperature and time increased. Moisture content and water activity decreased when drying temperature and time increased. Sample dried by vacuum dryer at 60 ℃ contained the highest total phenolic content (24.34±0.45 mg GAE/gdw). This result was similar to antioxidant activity by DPPH and FRAP assays. On contrary, the highest flavonoid content was found in sample dried by hot air oven at 60 ℃ (10.94±0.63 mg QE/gdw) and the second highest flavonoid content was found in sample dried by vacuum dryer at 70 ℃ (9.46±0.36 mg QE/gdw). According to the antioxidant properties, the condition of drying by vacuum dryer at 60 ℃ was selected for the further experiment (effect of brewing condition on antioxidant properties). It was found that brewing at 90 ℃ for 20 minutes contributed the highest total phenolic content, flavonoid content and antioxidant activity by FRAP assay which were 41.12±1.54 mg GAE/gdw, 33.82±7.07 mg QE/gdw and 140.67±1.62 mM trolox/gdw respectively. In contrast, tea from brewing at 90 ℃ for 15 minutes had the highest antioxidant activity by DPPH assay (86.22±0.94% inhibition). In conclusion, drying by vacuum dryer at 60 ℃ provided the maximum antioxidant properties and brewing condition at 90 ℃ for 20 minutes was identified as the appropriate condition for highest antioxidant properties.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนตามหลักสูตรในระดับปริญญาตรีของภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้รับเงินอุดหนุนจากงบประมาณของโครงการการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2562 และมีผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติพงศ์ อัศตรกุล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

การที่โครงการการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมประสบการณ์นี้สามารถดำเนินและสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติพงศ์ อัศตรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ เป็นอย่างสูงที่ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ และคำติชมตลอดการดำเนินงานในครั้งนี้ รวมทั้งให้ความช่วยเหลือในการแก้ไข ตรวจทานรายงานวิจัยเล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง ที่ให้คำแนะนำให้คำปรึกษา และให้ความรู้ต่างๆ มากมายที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยในครั้งนี้ รวมไปถึงเจ้าของตำราทุกเล่มที่ผู้วิจัยได้ศึกษาและนำมาอ้างอิงประกอบในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้านการทำปฏิบัติการ รวมไปถึงให้คำแนะนำ และช่วยอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ และอุปกรณ์ในการทำปฏิบัติการในตลอดระยะเวลาที่ดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ของคณะผู้วิจัยที่ให้ความช่วยเหลือในการหาวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ ที่ทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้ดำเนินงานวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ และเป็นข้อมูลในการศึกษาและพัฒนาในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับใบถั่วดาวอินคาและงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

ด้วยความเคารพอย่างสูง

นางสาวณานิยา โสระเสาว์

นางสาวนวพร ปัญญะ

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขต/กรอบแนวคิดของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ถั่วดาวอินคา	3
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วดาวอินคา	3
2.1.2 ประโยชน์ของถั่วดาวอินคา	6
2.1.3 งานวิจัยเกี่ยวกับถั่วดาวอินคา	6
2.2 ชา	7
2.2.1 สารสำคัญในใบชา	8
2.3 อนุมูลอิสระ (free radicals)	9
2.4 สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants)	10
2.4.1 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ	11
2.5 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)	13
2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิก	14
2.6 ฟลาโวนอยด์ (flavonoids)	15
2.7 การทำแห้ง	16
2.7.1 การทำแห้งแบบลมร้อน	17
2.7.2 การทำแห้งแบบสุญญากาศ	18
2.7.3 ผลของการทำแห้งต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย	20
สารเคมี	20
วัสดุอุปกรณ์	20
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	21
1. การเตรียมใบถั่วดาวอินคา	21
2. การสกัดสารจากใบถั่วดาวอินคา	21
3. การศึกษาการทำแห้งใบถั่วดาวอินคา	21
4. การศึกษาผลของการทำแห้งใบถั่วดาวอินคาต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพ	21
5. การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการชงชาจากใบถั่วดาวอินคา	22
6. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	22
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	23
4.1 ผลของการทำแห้งใบถั่วดาวอินคา	23
4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของใบถั่วดาวอินคา	25
4.2.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้ง	25
4.2.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้ง	27
4.2.3 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้ง	29
4.2.4 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้ง	31
4.2.5 ค่าสีของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	33
4.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการชงชาต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาใบถั่วดาวอินคา	34
4.3.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ชงชาด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างกัน	34
4.3.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ชงชาด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างกัน	37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.3 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ชงชาด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างกัน 39

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 44

เอกสารอ้างอิง 45

ภาคผนวก ก 51

ภาคผนวก ข 58

ภาคผนวก ค 59

ประวัติผู้วิจัย 60

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดถั่วดาวอินคา	6
2	ปริมาณของสารคาเทชินและสารสำคัญอื่นๆ ที่พบในใบชาเขียวเมื่อต้มใบชาด้วยน้ำร้อน	8
3	ค่าสีของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	34

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	ใบของถั่วดาวอินคา	4
2	ผลของถั่วดาวอินคา	4
3	เมล็ดของถั่วดาวอินคา	5
4	ต้น *Camellia sinensis*	7
5	โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอลิก	13
6	โครงสร้างพื้นฐานของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์	15
7	กราฟการทำแห้ง	16
8	เครื่องอบสุญญากาศ (vacuum dryer) แบบต่อเนื่อง	18
9	ปริมาณความชื้นของใบถั่วดาวอินคาระหว่างการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน	24
10	ค่า water activity ของใบถั่วดาวอินคาระหว่างการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน	24
11	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	26
12	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	28
13	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	30
14	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ	32
15	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาใบถั่วดาวอินคา	36
16	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ได้จากการชงชาที่อุณหภูมิ 90 ˚C	36
17	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำชาใบถั่วดาวอินคา	38
18	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ได้จากการชงชาที่อุณหภูมิ 90 ˚C	39
19	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคา	40
20	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ได้จากการชงชาที่อุณหภูมิ 90 ˚C	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
21	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคา	42
22	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ได้จากการชงชาที่อุณหภูมิ 90 ˚C	43
23	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน gallic acid	52
24	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน quercetin	54
25	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน trolox	57
26	ใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีตู้อบลมร้อน (50 ˚C - 70 ˚C) และตู้อบสุญญากาศ (50 ˚C - 70 ˚C)	59

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ชาเป็นเครื่องดื่มที่เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางทั่วโลก เนื่องจากเป็นเครื่องดื่มที่ดับกระหาย ทำให้รู้สึกสดชื่นและดีต่อสุขภาพอีกด้วย ปัจจุบันผู้บริโภคหันมาดูแลสุขภาพตัวเองมากขึ้น ทำให้เครื่องดื่มประเภทชาเป็นทางเลือกที่ดีเช่นกัน ส่งผลให้อุตสาหกรรมเครื่องดื่มประเภทชาขยายตัวและเป็นที่นิยมมากขึ้น นอกจากนี้ การทำชาจากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ชาจากส่วนใบของพืชชนิดต่างๆ ก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจ และจากการศึกษาเกี่ยวกับถั่วดาวอินคา พบว่าถั่วดาวอินคามีถิ่นกำเนิดในแถบประเทศอเมริกาใต้ ในปัจจุบันมีการเพาะปลูกถั่วดาวอินคาในแถบทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีการนำมาแปรรูป เช่น น้ำมันดาวอินคาที่ได้จากการสกัดถั่วดาวอินคาอบเกลือ หรือถั่วดาวอินคาคั่ว และยังมีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพมากมาย มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และกรดไขมันไม่อิ่มตัว สามารถนำส่วนต่างๆ ของถั่วดาวอินคาไปแปรรูปเป็นชาเพื่อใช้ชงดื่มได้ ทั้งส่วนของเมล็ดและส่วนของใบ โดยการนำไปทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ ทำให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ชาที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ และยังมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว โอเมก้า 3 6 และ 9 ที่ช่วยลดระดับคอเรสเตอรอลในเลือด และช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันที่หันมาดูแลสุขภาพกันมากขึ้น

ทางผู้จัดทำโครงการจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการทำแห้ง และวิธีการชงชาต่อคุณภาพของชาใบถั่วดาวอินคา เพื่อให้ได้วิธีการทำแห้งชาจากใบถั่วดาวอินคาที่มีคุณภาพมากที่สุด เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาใบถั่วดาวอินคาในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบท้องถิ่น เนื่องจากใบถั่วดาวอินคาประกอบไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระที่เหมาะกับผู้บริโภคที่ต้องการดูแลสุขภาพ ผู้จัดทำจึงสนใจที่จะศึกษาการทำแห้งใบถั่วดาวอินคาด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ รวมไปถึงอุณหภูมิและเวลาในการชงชาใบถั่วดาวอินคา ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของใบถั่วดาวอินคาที่เปลี่ยนแปลงไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของวิธีการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ ต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของใบถั่วดาวอินคา
2. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการชงชา ต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาใบถั่วดาวอินคา

1.3 ขอบเขต/กรอบแนวคิดของการวิจัย

1. ศึกษาผลของการทำแห้งที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของใบถั่วดาวอินคา โดยการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (แปรระดับอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 50 ˚C 60 ˚C และ 70 ˚C) และการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ (แปรระดับอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 50 ˚C 60 ˚C และ 70 ˚C) แล้ววิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและทางกายภาพ

2. ศึกษาวิธีการชงชาที่ให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุด (แปรเวลาที่ใช้ในการชงชา คือ 3 6 9 15 20 25 และ 30 นาที และแปรอุณหภูมิที่ใช้ชงชา คือ 70 ˚C 80 ˚C และ 90 ˚C) แล้ววิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้ทราบถึงผลของวิธีการทำแห้ง ต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของใบถั่วดาวอินคา
2. ได้ทราบถึงผลของการชงชา ต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาใบถั่วดาวอินคา

บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วดาวอินคา

ถั่วดาวอินคา จัดเป็นพืชวงศ์ยางพารา Euphobiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Plukenetia volubilis* L. และมีชื่อสามัญ : sacha inchi, sacha peanut, inca peanut, supua หรือ mountain peanut เป็นพืชที่พบทั่วไปในแถบประเทศอเมริกาใต้ ซึ่งมนุษย์รู้จักนำมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่สมัยอินคาหรือในช่วงปี ค.ศ. 1438-1533 และสืบทอดมากันมาสู่คนพื้นเมืองมาจนถึงปัจจุบัน ซึ่งมีการนำถั่วดาวอินคามาใช้ประโยชน์หลากหลาย อาทิ เมล็ดคั่วสุกใช้ทำซอส สกัดน้ำมัน หรือรับประทานเป็นอาหารขบเคี้ยว และใบใช้ประกอบอาหาร เป็นต้น เนื่องจากเคยมีชาวอินคานำมาใช้ประโยชน์ ประเทศไทยจึงเรียกถั่วชนิดนี้ว่า “ถั่วดาวอินคา”

แม้ว่าถั่วดาวอินคาจะมีชื่อว่าถั่ว แต่ไม่จัดอยู่ในพืชตระกูลถั่ว ตัวเมล็ดถั่วดาวอินคารับประทานไม่ได้ เนื่องจากมีสารกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน (trypsin inhibitor) แต่สามารถนำมาหีบเอาน้ำมัน ซึ่งเป็นประโยชน์ โดยน้ำมันจากถั่วดาวอินคามีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวโอเมก้า 3 ชนิดกรดแอลฟาลิโนเลนิก (alpha-linolenic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นที่ร่างกายต้องการ ในปริมาณที่สูงกว่ากรดไขมันโอเมก้า 6 หรือกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) และโอเมก้า 9 โดยไม่พบกรดไขมันไม่อิ่มตัวโอเมก้า 3 ที่สายยาว คือ EPA (eicosapentaenoic acid) และ DHA (docosahexaenoic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันโอเมก้า 3 ที่พบในปลาทะเลน้ำลึก

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วดาวอินคา

ต้นถั่วดาวอินคา จัดได้ว่าเป็นไม้เลื้อยที่มีอายุได้ 10-50 ปี และส่วนของลำต้นนั้นจะสูงได้ประมาณ 5 m โดยโครงสร้างจะเป็นไม้เลื้อยที่พันตามต้นไม้อื่นๆ

ใบต้นถั่วดาวอินคาเป็นใบเดี่ยว ยาวประมาณ 10-15 cm และมีความกว้างประมาณ 8-10 cm ส่วนของก้านของใบจะยาวประมาณ 2-7 cm ปลายใบมีรูปทรงเรียวแหลม เรียงสลับกัน ส่วนขอบใบเป็นรูปร่างคล้ายๆ เลื่อย ลักษณะของใบแสดงดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ใบของถั่วดาวอินคา (สมเกียรติ, 2562)

ดอกของต้นถั่วดาวอินคา จะเริ่มออกดอกเมื่อต้นถั่วดาวอินคามีอายุประมาณ 5 เดือน และจะเริ่มติดเมล็ดหลังจากเริ่มปลูกได้ 8 เดือน การออกของดอกนั้นจะออกมาเป็นลักษณะของช่อกระจะ โดยจะมีทั้ง 2 เพศ โดยถ้าเป็นดอกเพศผู้จะมีสีขาวและเรียงกันตลอดช่อเป็นกระจุก ส่วนดอกเพศเมียจะมีเพียง 2 ดอก และอยู่เฉพาะตรงโคนของช่อดอก

ผลจะมีลักษณะคล้ายๆ ดาว 4-7 แฉก ดังแสดงในรูปที่ 2 มีสีเริ่มจากสีเขียว และสีจะเข้มขึ้นเรื่อยๆ จนกลายเป็นสีน้ำตาลดำเมื่อมีอายุมากขึ้น โดยจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3-5 cm ส่วนใหญ่จะปล่อยไว้ให้แห้งคาต้นก่อนค่อยเก็บเกี่ยว หลังจากนั้นจึงนำไปตากแดดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงสามารถนำไปขายเพื่อการบริโภคเป็นชาได้

รูปที่ 2 ผลของถั่วดาวอินคา

(**ที่มา**: https://puechkaset.com/ถั่วดาวอินคา/)

เมล็ด จะมีลักษณะรูปทรงไข่และมีสีน้ำตาลออกดำ ดังแสดงในรูปที่ 3 มีขนาดความกว้างตั้งแต่ 1.5-1.8 cm ยาวประมาณ 2-2.5 cm น้ำหนักจะอยู่ที่ประมาณ 1-2 g เมล็ดที่ยังดิบอยู่จะไม่สามารถนำมารับประทานได้ แต่ถ้าคั่วจนสุกแล้วจะมีความมัน

รูปที่ 3 เมล็ดของถั่วดาวอินคา

(**ที่มา**: https://puechkaset.com/ถั่วดาวอินคา/)

2.1.2 ประโยชน์ของถั่วดาวอินคา

ถั่วดาวอินคาเป็นพืชที่มีประโยชน์มากมายทั้งด้านคุณค่าทางสารอาหารและการนำไปใช้ในการแปรรูป ซึ่งสามารถนำทั้งเมล็ดและใบของถั่วดาวอินคาไปใช้ประโยชน์ได้ในหลายด้าน โดยเมล็ดถั่วดาวอินคาสามารถนำมาคั่วไฟร้อนให้สุกก่อนรับประทานเป็นอาหารขบเคี้ยว เนื้อเมล็ดหอม กรอบ และมีรสมันอร่อยคล้ายกับเมล็ดถั่วได้ และยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว อาทิ ถั่วคั่วเกลือ ถั่วทอด ได้ นอกจากนี้เมล็ดถั่วดาวอินคายังสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร อาทิ ซอส ซีอิ๊ว เต้าเจี้ยว เป็นต้น รวมถึงแปรรูปเป็นแป้งถั่วดาวอินคาสำหรับใช้ประกอบอาหาร และทำขนมหวาน อีกทั้งยังสามารถนำมาสกัดน้ำมัน ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ได้แก่ ใช้เป็นน้ำมันรับประทานเพื่อเป็นอาหารเสริมให้แก่ร่างกาย โดยมักผลิตในรูปบรรจุขวดหรือบรรจุแคปซูลพร้อมรับประทาน ใช้เป็นน้ำมันทอดหรือประกอบอาหาร ใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง เช่น โฟมล้างหน้า สบู่ น้ำหอม และครีมบำรุงผิว เป็นต้น และยังสามารถใช้สำหรับทานวดแก้ปวดเมื่อย รวมถึงใช้ชโลมผมให้ดกดำได้

สำหรับใบถั่วดาวอินคา สามารถนำใบอ่อน และยอดอ่อนประกอบอาหารได้ เนื่องจากเนื้อใบและยอดอ่อนมีความนุ่ม และมีรสมัน ไม่มีกลิ่นเหม็นเขียว สามารถทำอาหารได้หลายเมนู เช่น ยอดถั่วดาวอินคา

ผัดน้ำมันหอย แกงจืดยอดอ่อนถั่วดาวอินคา แกงเลียงหรือแกงอ่อมยอดอ่อนถั่วดาวอินคา เป็นต้น รวมถึงนำยอดอ่อนมาลวกหรือรับประทานสดคู่กับน้ำพริกหรืออาหารจำพวกลาบ ซุบหน่อไม้ เป็นต้น ใบแก่ที่มีสีเขียวเข้มสามารถนำมาสับให้เป็นชิ้นเล็ก แล้วตากแดดให้แห้ง ก่อนใช้ชงเป็นชาดื่ม ในส่วนของใบที่มีสีเขียวสดนำมาสกัดคลอโรฟิลล์หรือนำมาปั่นเป็นน้ำคลอโรฟิลล์ดื่มได้ นอกจากนี้เปลือกฝัก และเปลือกเมล็ดยังสามารถนำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก หรือนำไปอัดเป็นเชื้อเพลิงแท่งสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในการปรุงอาหารได้ด้วย โดยคุณค่าทางโภชนาการของถั่วดาวอินคา แสดงตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดถั่วดาวอินคา

คุณค่าทางโภชนาการ	**ปริมาณ (ต่อ 100 g)**
พลังงาน (energy)	607 kcal
โปรตีน (protein)	32.14 g
ไขมัน (lipid)	46.43 g
คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)	17.86 g
เส้นใย (fiber)	17.9 g
แคลเซียม (calcium)	143 mg
เหล็ก (iron)	2.57 mg
โซเดียม (sodium)	643 mg
วิตามินซี (vitamin C) หรือกรดแอสคอร์บิก	0 mg
วิตามินเอ (vitamin A), IU	0 IU
กรดไขมัน (fatty acid)	3.57 mg
คอเลสเตอรอล (cholesterol)	0 mg

2.1.3 งานวิจัยเกี่ยวกับถั่วดาวอินคา

มีงานวิจัยเกี่ยวกับผลการสกัดสารจากใบดาวถั่วอินคาโดยใช้สารสกัดจากน้ำ เมทานอล เอทานอล คลอโรฟอร์ม และเฮกเซน ซึ่งจากการวิเคราะห์โครมาโตกราฟี แบบผิวบาง พบว่าสารสกัดจากใบถั่วดาวอินคามีสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งเป็นสารที่พบตามธรรมชาติได้ในพืชหลายชนิด มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและสามารถละลายได้ในน้ำ และยังพบสารสเตียรอยด์ และ/หรือเทอร์พีนอยด์ จากการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระพบว่า ค่าความสามารถการต้านอนุมูลอิสระ (total antioxidant capacity, TCA) มีค่าเทียบเท่ากับวิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก (EEA/g) โดยพบว่ามีค่าระหว่าง 59.31 ถึง 97.76 EAA/g

นอกจากนี้ยังพบค่าความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันที่มีค่าระหว่างร้อยละ 62.8 ถึง 88.3 (Nascimento et al., 2014)

2.2 ชา

ชา (*Camellia sinensis* หรือ *Camellia assamica*) เป็นเครื่องดื่มที่เป็นที่นิยมไปทั่วโลกเนื่องจากเป็นเครื่องดื่มที่ให้รสชาติที่ดี และเป็นเครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ในหลายประเทศในแถบเอเชีย อาทิ ญี่ปุ่น จีน ถือว่าชาจัดเป็นเครื่องดื่มที่มีความเกี่ยวข้องกับขนบธรรมเนียมประเพณี วิธีการเก็บเกี่ยวใบชา และการเตรียมเครื่องดื่มชา ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนที่ซับซ้อนและละเอียดอ่อน และมีการถ่ายทอดกรรมวิธีต่างๆ อย่างเป็นขั้นตอนจากรุ่นสู่รุ่น ทั้งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับชาการปลูก การเก็บเกี่ยว และการชงชา ปัจจุบันในประเทศไทย เครื่องดื่มชาได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในทุกกลุ่มประชากร ทั้งนี้เนื่องมาจากการเผยแพร่ถึงคุณประโยชน์ของชาที่มีต่อสุขภาพ รวมถึงคนไทยเริ่มใส่ใจต่อสุขภาพของตนเองมากขึ้น จึงเกิดความสนใจที่จะดื่มเครื่องดื่มเสริมสุขภาพ นอกจากยังสามารถพบเครื่องชาประเภทต่างๆ ได้ตามร้านค้าทั่วไป ถึงแม้ว่าเครื่องดื่มชาจะได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากผู้บริโภคได้รับทราบถึงคุณประโยชน์ในด้านต่างๆ ของชาผ่านทางสื่อต่างๆ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วคุณประโยชน์ที่ดีของชายังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการซึ่งล้วนส่งผลอย่างมากต่อคุณประโยชน์ที่ผู้บริโภคควรได้รับ โดยลักษณะของต้นชาแสดงดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 ต้น *Camellia sinensis*

(**ที่มา**: http://www.plantsrescue.com/camellia-sinensis/)

2.2.1 สารสำคัญในใบชา

โดยทั่วไปแล้วเครื่องดื่มชาสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ ชาเขียว ชาอู่หลง และชาดำ โดยชาทั้ง 3 ประเภทแตกต่างกันที่ระยะเวลาในการบ่มหมัก ชาเขียวคือใบชาที่ไม่ได้รับการบ่มหมัก (non-fermented tea) ในขณะที่ชาอีกสองประเภทจะต้องใช้ระยะเวลาในการหมักบ่มที่นานกว่า ซึ่งการใช้ระยะเวลาในการหมักบ่ม ใบชาที่แตกต่างกันนี้ ทำให้สารสำคัญที่อยู่ในใบชาแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน โดยทั่วไปใบชาจะมีสารสำคัญหลายประเภท ได้แก่ สารกลุ่มแทนนิน (tannin) คาเฟอีน (caffeine) และคาเทชิน (catechins) อย่างไรก็ตามสารสำคัญที่พบเหล่านี้มีคุณประโยชน์ต่อร่างกายเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยพบว่าสารคาเทชินที่พบในใบชามีทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ (+)-catechin, (-)-epicatechin (EC), gallocatechin (GC), (-)-epicatechin gallate (ECG), (-)-epigalocatechin (EGC) และ (-)-epigalocatechin gallate (EGCG) โดยสารคาเทชินที่มีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ สารคาเทชิน ECG, EC, EGCG และ EGC ตามลำดับโดยมีปริมาณดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณของสารคาเทชินและสารสำคัญอื่นๆ ที่พบในใบชาเขียวเมื่อต้มใบชาด้วยน้ำร้อน

สารสำคัญที่พบ	**ร้อยละของน้ำหนักแห้ง (%)**
Caffeine	36.0
Catechins	
Epicatechin gallate	15.2
Epigallocatechin	46.0
Epigallocatechin galate	129.0
Epicatechin	0.9
Flavonols	
Myriscetin	0.8
Quercetin	1.8
Kaempherol	2.6

ในกระบวนการผลิตชาอู่หลงและชาดำ เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) จะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) และพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ของสารกลุ่มคาเทชิน ทำให้เกิดสารประกอบฟีนอลิกที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อสี รสชาติ และกลิ่นของชา ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกโมเลกุลใหญ่ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาดังกล่าวได้แก่ ทีรูบิจิน (thearubigins) และ ทีฟลาวิน (theaflavins) โดยชาที่ผ่าน

การหมักอย่างสมบรูณ์ จะพบทีรูบิจินเป็นจำนวนมาก ซึ่งทีรูบิจินเป็นสารที่มีโครงสร้างซับซ้อน และยังพบทีฟลาวินในชา 4 ชนิด ได้แก่ ทีฟลาวิน ทีฟลาวิน 3-แกลเลต (theaflavin 3-gallate) ทีฟลาวิน 3'-แกลเลต (theaflavin 3'-gallate) และทีฟลาวิน 3,3'-แกลเลต (theaflavin 3,3'-gallate)

2.3 อนุมูลอิสระ (free radicals)

อนุมูลอิสระ (free radicals) หมายถึง สารที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว (unpaired electrons) ในอะตอมหรือโมเลกุล พบได้ทุกแห่งทั้งในสิ่งแวดล้อม ในสิ่งมีชีวิต และในเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการผลิตพลังงานภายในเซลล์ หรือจากกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) โดยมีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนออกจากโมเลกุลของออกซิเจน ทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลออกซิเจนไม่สมดุล กลายเป็นอนุมูลอิสระและว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยามากและสามารถดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลอื่นมาแทนที่อิเล็กตรอนที่ขาดหายไปเพื่อให้ตัวเองเกิดความสมดุลหรือเสถียร ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ และเกิดขึ้นในเซลล์ตลอดเวลา (ดังสมการ 1 และ 2)

$$R\bullet + O_2 \longrightarrow ROO\bullet \qquad \text{(สมการ 1)}$$

$$ROO\bullet + RH \longrightarrow ROOH + R\bullet \qquad \text{(สมการ 2)}$$

อนุมูลอิสระที่สำคัญที่สุดที่เกิดในเซลล์ที่ใช้ออกซิเจน ได้แก่ อนุมูลออกซิเจน (oxygen radical) อนุพันธ์ของอนุมูลออกซิเจน (เช่น อนุพันธ์ของอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide radical) และอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical)) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) โลหะทรานซิชัน (transition metals) อนุมูลคาร์บอเนต (carbonate radical) อนุมูลไนเทรต (nitrate radical) อนุมูลโลหะ (methyl radical) อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide radical) อนุมูลเปอร์ออกซิล (peroxyl radical) และอนุมูลออกซิเจนที่ว่องไว (reactive oxygen species) นอกจากนี้ อนุมูลอิสระสามารถทำลายสารชีวโมเลกุลทุกประเภท ทั้งในเซลล์และส่วนประกอบของเซลล์สิ่งมีชีวิต เช่น ไขมัน โปรตีน เอนไซม์ (enzyme) ดีเอ็นเอ (DNA) อาร์เอ็นเอ (RNA) คาร์โบไฮเดรต เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) คอลลาเจน (collagen) ไมโตคอนเดรีย (mitochondria) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissues) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เซลล์ตาย การเกิดการกลายพันธุ์ของดีเอ็นเอในเซลล์ และก่อให้เกิดโรคต่างๆ ได้แก่ โรคชรา (aging) โรคมะเร็ง (cancer) โรคหัวใจขาดเลือด (coronary heart disease) โรคความจำเสื่อม (Alzheimer's disease) โรคข้ออักเสบ

(arthritis) โรคภูมิแพ้ (allergies) โรคความดันโลหิต โรคเหงือก โรคเกี่ยวกับสายตา ความผิดปกติของปอดและระบบประสาท โรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ โรคเกี่ยวกับความผิดปกติของผิวหนัง และโรคลำไส้อักเสบ เป็นต้น (Ames et al., 1993)

2.4 สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่มีความสำคัญต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ หรือสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยในสิ่งมีชีวิตจะมีระบบการป้องกันการทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระ ซึ่งประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกันไป ซึ่งมีทั้งที่เป็นเอนไซม์และไม่เป็นเอนไซม์ สารประกอบที่ละลายในน้ำและสารประกอบที่ละลายในไขมัน โดยสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีกลไกการทำงานต้านอนุมูลอิสระด้วยกันหลายแบบ เช่น ดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) การยับยั้งการทำงานของออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน (singlet oxygen quenching) จับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (metal chelation) หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chain-breaking) เสริมฤทธิ์ (synergism) และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibition) ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ เป็นต้น ตัวอย่างการดักจับอนุมูลอิสระดังแสดงดังสมการที่ 3 และ 4

$$R\bullet + AH \longrightarrow RH + A\bullet \qquad \text{(สมการ 3)}$$

$$RO\bullet + AH \longrightarrow ROH + A\bullet \qquad \text{(สมการ 4)}$$

โดย R• และ RO• คือ อนุมูลอิสระ และ AH คือ สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (synthetic antioxidants) และสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (natural antioxidants) โดยสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์เกิดจากการกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีโดยเป็นสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ โพรพิลแกลเลต (propyl gallate) 2-บิวทิเลเทตไฮดรอกซีแอนิโซล (2-butylated hydroxyanisole) 3-บิวทิเลเทตไฮดรอกซีแอนิโซล (3-butylate hydroxyanisole) บิวทิเลเทตไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytoluene, BHT) และเทอเทียรีบิวทิลไฮโดควินโนน (tertiary butylhydroquinone, TBHQ) สารสังเคราะห์ดังกล่าวนี้นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารมีกลิ่น สี และรสชาติเปลี่ยนแปลงไป แม้ว่าสารสังเคราะห์จะมีความคงตัวกว่าสารต้านอนุมูลอิสระ

จากธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัดในด้านความปลอดภัยในการบริโภค ในขณะที่สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติสามารถพบได้ในสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ซึ่งเป็นได้ทั้งเอนไซม์ วิตามิน และสารอื่นๆ ตัวอย่างของสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นวิตามิน เช่น วิตามินซี ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ไซโตพลาซึม วิตามินอี ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่เยื่อหุ้มเซลล์ และกลูตาไทโอน (glutathione) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระที่ไซโตพลาซึมและเยื่อหุ้มเซลล์ ในขณะที่สารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเอนไซม์ ได้แก่ กลูตาไทโอนเพอริออกซิเดส (glutathione peroxidase) กลูตาไทโอนรีดักเทส (glutathione reductase) และกลูตาไทโอนทรานส์เฟอเรส (glutathione transferase) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนโมเลกุลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นออกซิเจนและน้ำ และเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมูเทส (superoxide dismutase) สามารถเปลี่ยนอนุมูลออกซิเจนเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ นอกจากนี้สารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ ได้แก่ แคโรทีนอยด์ (carotenoids) และ ยูบิควิโนน (ubiquinones) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถป้องกันอนุมูลอิสระออกซิเจนทั้งภายในเซลล์และภายนอกเซลล์

2.4.1 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

1) การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (2, 2-diphenyl-1-picryhydrazyl) (DPPH radical scavenging capacity Assay)

เป็นวิธีการหาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระที่ง่ายและแม่นยำ โดยส่วนใหญ่ใช้กับสารสกัดจากพืชและผลไม้ อนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH•, diphenyl-picryhydrazyl radical) เป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวโดยมีอิเล็กตรอนเดี่ยวบนอะตอมของไนโตรเจน (N) และมีสีม่วง สามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดโดยใช้เครื่องยูวีวิซิเบิลสเปกโตโฟโตมิเตอร์ (UV-vis spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 515 nm เมื่อ DPPH• ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายด้วยเอทานอล ซึ่งเป็นสารที่ให้อิเล็กตรอน จะทำให้สีม่วงจางลง จนเป็นสีเหลือง หรืออาจใช้การวัดโดยเครื่อง electron spin resonance (EPR) ซึ่งกลไกในการเกิดปฏิกิริยาคาดว่าเกิดจากการถ่ายโอนอะตอมของไฮโดรเจนจากสารต้านอนุมูลอิสระไปยัง DPPH• (บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556) ดังแสดงในสมการที่ 5

$$DPPH\bullet + AH \longrightarrow DPPH\text{-}H + A\bullet \quad \text{(สมการ 5)}$$

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH นี้ โดยทั่วไปมีขั้นตอนคือ ผสมสารละลายของ DPPH (3.9 mL, 25 mg/L) ที่ละลายในเมทานอลกับสารละลายตัวอย่างที่ต้องการจะศึกษา (0.1 mL) แล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา หรือตั้งทิ้งไว้จนกว่าสีของสาระลายจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ได้ที่ความยาวคลื่น 515 nm จากนั้นคำนวณสีที่จางลง ซึ่งเป็นผลจากการยับยั้ง DPPH• ซึ่งสูตรคำนวณได้จากการนำค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงจากการใส่ตัวอย่างเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงตั้งต้นก่อนใส่สารตัวอย่าง ดังสมการที่ 6

$$\%\ DPPH_{REM} = 100 \times \frac{[DPPH]_{REM}}{[DPPH]_{T=0}} \quad \text{(สมการ 6)}$$

โดย $\%\ DPPH_{REM}$ คือ ร้อยละของ DPPH ที่เหลืออยู่

$[DPPH]_{REM}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงหลังใส่ตัวอย่างในสารละลาย DPPH

$[DPPH]_{T=0}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงก่อนใส่ตัวอย่างในสารละลาย DPPH

ร้อยละของ DPPH ที่เหลืออยู่ ($\%\ DPPH_{REM}$) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระ และความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH ลดลง 50% จะกำหนดเป็น EC_{50} ส่วนตัวบ่งชี้อื่นๆ เช่น TC_{50} คือเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ steady state กับ EC_{50} และพฤติกรรมทางจลศาสตร์ แสดงโดยตัวบ่งชี้ที่เรียกว่า antiradical efficiency (AE) และคำนวณได้จากสมการที่ 7

$$AE = \frac{1}{EC_{50}\ TC_{50}} \quad \text{(สมการ 7)}$$

โดย AE คือ antiradical efficiency

EC_{50} คือ ความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้ DPPH ลดลง 50%

TC_{50} คือ เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ steady state

ข้อดีของวิธีนี้ คือ มีความง่าย สะดวก และมีความรวดเร็ว เนื่องจากใช้เพียงเครื่องยูวีวิซิเบิลสเปกโตโฟโตมิเตอร์ แต่การแปรผลของวิธีนี้ทำได้ลำบาก เนื่องจากสารที่นำมาวัดมีการดูดกลืนแสงที่ให้สเปกตรัมที่ซ้อนทับกับ DPPH นอกจากนี้ DPPH• ยังค่อนข้างเสถียร ไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา และมีโครงสร้างที่ค่อนข้างเกะกะ จึงอาจทำให้มีการตอบสนองต่ออนุมูลอิสระอื่นๆ ได้ช้า และสีของ DPPH อาจจะจางลงได้โดยตัวรีดิวซ์

2) การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (ferric reducing antioxidant power)

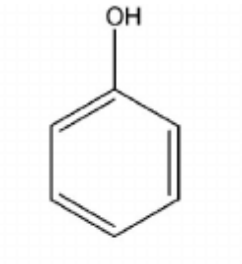
วิธีนี้เป็นการใช้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก Fe^{3+} - TPTZ (ferric tripyridyl triazine) เป็นสารทดสอบ สารละลายนี้มีสีส้ม ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดซึ่งที่ pH = 3.6 สารต้านอนุมูลอิสระจะรีดิวซ์อะตอมของเหล็กที่อยู่ในสารละลาย ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอรัส Fe^{3+} - TPTZ ที่มีสีน้ำเงิน และดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm (บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556)

วิธีนี้มีข้อดี คือ มีความสะดวก ใช้เวลาในการทดสอบน้อย ราคาไม่แพง และไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ แต่มีข้อจำกัด คือ กลไกของปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองไม่เกี่ยวของกับกลไกในร่างกาย

2.5 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนแอโรแมติก (aromatic ring) ที่มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) รวมอยู่ในโมเลกุล ตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป สารประกอบฟีนอลิกพื้นฐาน คือ สารฟีนอล (phenol) ในโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซิน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ (รูปที่ 5) ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกที่พบในธรรมชาติมีหลายชนิด และมีสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น ลิกนิน (lignin) กลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบคือ สารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoids)

สารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืชมักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก คือ น้ำตาลกลูโคส (glucose) และพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ (organic acid) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีน แอลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ เป็นต้น



รูปที่ 5 โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอลิก (El-Naas, 2012)

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิก

โดยทั่วไปสารประกอบฟีนอลิกจะแสดงคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่บนโครงสร้าง จึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลอื่นๆ ได้

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ (กมลชนก สกุลประเสริฐ, 2556)

1. ระยะเวลาและภาวะการเก็บรักษา

   ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะลดลงระหว่างการเก็บรักษาและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยการศึกษาของ Klimczak (2007) พบว่าสารประกอบฟีนอลิกของน้ำส้มลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บนานขึ้น และการเก็บที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกของน้ำส้มมีปริมาณสูงกว่า การเก็บที่อุณหภูมิสูง

2. วิธีการสกัด

   การสกัดด้วยวิธีที่ต่างกัน ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ได้มีปริมาณที่แตกต่างกัน Do และคณะ (2014) ได้ศึกษาผลของตัวทำละลายที่ใช้สกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของ *Limnophila aromatica* พบว่าการสกัดด้วยเอทานอล ส่งผลให้ *Limnophila aromatica* มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด

3. สารทำละลาย

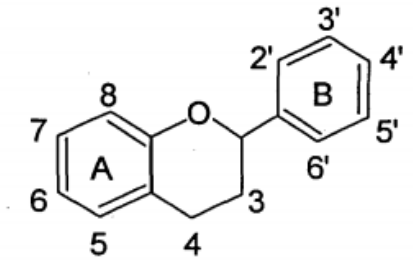
   สารทำละลายและสารประกอบฟีนอกลิกแต่ละชนิดมีความมีขั้วที่ต่างกัน ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกที่สกัดออกมาได้มีปริมาณที่แตกต่างกัน จากการศึกษาของ Do และคณะ (2014) พบว่าสัดส่วนของน้ำต่อเมทานอล และสัดส่วนของน้ำต่อเอทานอลที่สูงขึ้น ทำให้สารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จาก *Limnophila aromatica* มีปริมาณลดลง

4. อุณหภูมิ

   อุณหภูมิส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิก โดยเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะลดลง โดย Vega-Gálvez และคณะ (2012) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งแอปเปิ้ลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และพบว่าการทำแห้งแอปเปิ้ลที่อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในแอปเปิ้ลลดลง

2.6 ฟลาโวนอยด์ (flavonoids)

ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เป็นสารประกอบฟีนอลิก มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนแอโรมาติกที่มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลรวมอยู่ในโมเลกุลตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป (รูปที่ 6) โดยมีโครงสร้างหลักเป็นไดฟีนิลโพรเพน (diphenylpropane) ประกอบด้วยคาร์บอนทั้งหมด 15 อะตอม จัดเรียงตัวเป็นวงเบนซีน (benzene) 2 วง และเชื่อมต่อกันด้วยออกซิเจน 1 อะตอม และคาร์บอน 3 อะตอม กลายเป็นวงแหวน 3 วงเรียงต่อกัน (C6-C3-C6) เรียกว่า วงแหวน A วงแหวน B และวงแหวน C โครงสร้างของฟลาโวนอยด์แตกต่างกันไปตามรูปแบบของพันธะคู่และหมู่แทนที่ ส่งผลให้มีฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ หลายชนิด ฟลาโวนอยด์ในผักและผลไม้ประกอบด้วย 6 กลุ่ม คือ ฟลาโวนอล (flavonols) ฟลาวานอลหรือฟลาวาน-3-ออล (flavanols หรือ flavan-3-ols) ฟลาวาโนน (flavanones) แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) ฟลาโวน (flavones) และไอโซฟลาโวน (isofalvones) (Balentine et al., 1997)



รูปที่ 6 โครงสร้างพื้นฐานของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Balentine, 1997)

สารฟลาโวนอยด์ที่พบในพืช

- นาริจิน (naringin) เป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่ให้รสขมในเปลือกของผลไม้พืชตระกูลส้ม (citrus fruit) มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบหนึ่งของโครงสร้าง ทำให้นาริจินมีความแตกต่างจากฟลาโวนอยด์ชนิดอื่น
- คาเทชินพบในใบชาพบมากในชาเขียว มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่จับกับอนุมูลอิสระและเป็น chelating agent ที่รวมตัวกับไอออนของโลหะหนักได้

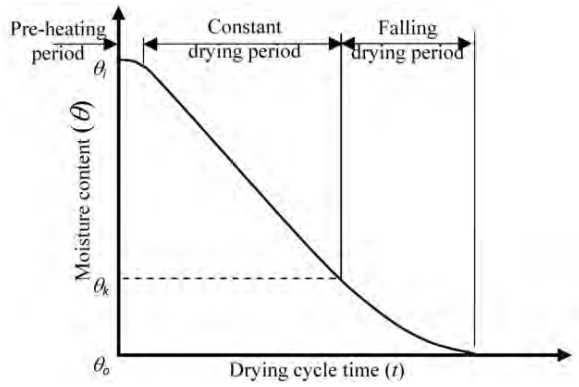
สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ จัดเป็น nutraceutical มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) โดยทำหน้าที่ในการหน่วงเหนี่ยวหรือเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงช่วยหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระได้

2.7 การทำแห้ง

การทำแห้ง (drying) เป็นการลดความชื้นของอาหารด้วยการระเหยน้ำออก และเป็นวิธีการถนอมอาหาร (food preservation) ที่นิยมใช้มานาน การทำแห้งสามารถทำได้โดยการอบแห้ง (dehydration) การทอด (frying) หรือการระเหิดน้ำส่วนใหญ่ออกจากอาหาร

วัตถุประสงค์ของการทำแห้งอาหารนั้น เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากการทำแห้งเป็นการลดปริมาณน้ำในอาหาร ทำให้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิดที่เป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย และยังยับยั้งการทำงานของเอนไซม์หรือชะลอปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมีซึ่งมีน้ำเป็นส่วนร่วมและเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย นอกจากนี้ยังทำให้อาหารมีความปลอดภัยเพราะการลดปริมาณน้ำในอาหารโดยการทำแห้ง ทำให้อาหารมีค่า water activity (A_w) น้อยกว่า 0.6 ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) รวมทั้งยับยั้งการสร้างสารพิษของเชื้อรา การทำแห้งยังทำให้อาหารมีน้ำหนักเบาและลดปริมาตร ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง การบริโภค หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่นๆ

การทำแห้งมีกลไก คือ เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าของอาหารที่มีความชื้นสูง ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ และไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ ซึ่งภาวะในการทำแห้งของอาหารด้วยลมร้อนมีผลต่อสมบัติของอาหาร ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนจะเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำและทำให้การแพร่ของน้ำในอาหารดีขึ้นด้วย ในระหว่างการทำแห้ง ความชื้นของตัวอย่างอาหารจะลดลง โดยมีอัตราการทำแห้งในละช่วงแตกต่างกัน ประกอบด้วยช่วง pre-heating period, constant drying period และ falling drying period ดังแสดงในรูปที่ 7 (Ip et al., 2015)



รูปที่ 7 กราฟการทำแห้ง (Ip, 2015)

2.7.1 การทำแห้งแบบลมร้อน

การทำแห้งแบบลมร้อนทำได้โดยใช้ตู้อบขนาดใหญ่ที่มีลมร้อนที่ผ่านการให้ความร้อนจากเครื่องทำความร้อน (heater) เป่าผ่านอาหารทำให้น้ำในตัวอย่างอาหารระเหยไปกับลมร้อนโดยทางช่องระบายลมภายในตู้อบ โดยนิยมใช้อุณหภูมิทำแห้งประมาณ 45 ˚C ถึง 65 ˚C ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการทำแห้งมีดังนี้

1. ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีความพรุน (porosity) มาก จะมีอัตราการทำแห้งเร็ว เนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากอัตราการทำแห้งสามารถเกิดได้เร็วเช่นกัน เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้นมาก

2. ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร เป็นสมบัติทางกายภาพของอาหารที่มีผลต่อการทำแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากจะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก ทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นการทำแห้งอาหารที่มีความหนามาก อัตราการทำแห้งจะช้ากว่าอาหารที่หนาน้อยกว่า เนื่องจากอัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

3. ปริมาณของอาหารที่นำมาทำแห้ง อาหารที่นำมาทำแห้งในปริมาณมาก จะมีอัตราการทำแห้งช้า เนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาทำแห้งได้อย่างทั่วถึงจึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราการทำแห้งช้าลง

4. ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะของอากาศ เป็นสิ่งสำคัญมาก ความชื้นของอากาศต่ำจะช่วยให้ระเหยน้ำออกจากอาหารได้ดีขึ้น เนื่องจากอากาศสามารถรับเอาไอน้ำที่ระเหยออกจากอาหารไปได้มากขึ้น และความเร็วลมที่เหมาะสม ก็จะช่วยระเหยน้ำออกจากอาหารได้ดีขึ้น โดยความเร็วลมที่เหมาะสมในการทำแห้งชาสมุนไพรมีค่าประมาณ 1.5 m/s

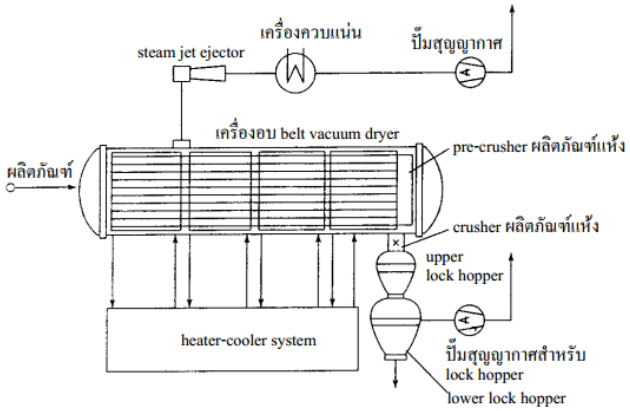
5. ความดัน ความดันต่ำส่งผลให้น้ำเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันต่ำจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

2.7.2 การทำแห้งแบบสุญญากาศ

การทำแห้งแบบสุญญากาศ เป็นกระบวนการดึงน้ำออกจากอาหารในภาวะความดันและอุณหภูมิต่ำด้วยวิธีการระเหย โดยความดันและอุณหภูมิที่ใช้นั้นขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์นั้น และเวลาที่ใช้ในการทำแห้งขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด และความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ และเนื่องจากความดันและอุณหภูมิที่ใช้มีค่าต่ำ ทำให้สามารถป้องกันผลเสียที่เกิดขึ้นต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ต่อรูปร่างหรือโครงสร้างได้ ช่วยลดระยะเวลาในการทำแห้ง และใช้พลังงานน้อยกว่าการทำด้วยกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง

เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศจะใช้หลักการในการวางวัตถุที่ต้องการทำแห้งไว้ในสุญญากาศอย่างอ่อนๆ แล้วให้ความร้อนแก่วัตถุ ผลต่างของความดันระหว่างความดันไอของตัวทำละลายกับความดันที่ผิวหน้าของตัวทำละลาย จะทำให้ตัวทำละลายในวัตถุดิบสามารถระเหยเป็นไอออกมาได้ ซึ่งอุณหภูมิในการระเหยจะขึ้นอยู่กับระดับความเป็นสุญญากาศ ดังนั้นการทำแห้งด้วยวิธีนี้จึงเหมาะกับวัตถุที่เสื่อมคุณภาพได้ง่ายต่อความร้อน และนิยมใช้การทำแห้งแบบนี้ในอุตสาหกรรมเวชภัณฑ์และอาหาร โดยในอุตสาหกรรมอาหารส่วนมากนิยมใช้เครื่องอบต่อเนื่องแบบลำเลียงด้วยสายพาน ดังแสดงในรูปที่ 8

นอกจากการทำแห้งแบบนี้จะเหมาะกับอาหารที่ไวต่อความร้อนหรือถูกออกซิไดซ์โดยอากาศได้แล้ว การทำแห้งแบบนี้ยังสามารถใช้ได้ทั้ง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเม็ดแข็ง หรือสารละลายเหลวข้น การทำแห้งแบบสุญญากาศนิยมใช้ในอุตสาหกรรมยา อาหาร และสีย้อมผ้า ซึ่งลักษณะของเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศโดยทั่วไปจะคล้ายกับเครื่องทำแห้งแบบตู้ถาด แต่จะมีความแข็งแรงและมีความมิดชิดมากกว่า และจะมีส่วนทำสุญญากาศที่เพิ่มขึ้นมา



รูปที่ 8 เครื่องอบสุญญากาศ (vacuum dryer) แบบต่อเนื่อง

(**ที่มา**: https://ienergyguru.com/2015/09/drying/)

2.7.3 ผลของการทำแห้งต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

การทำแห้งต้องใช้เวลาและใช้อุณหภูมิสูง ทำให้สามารถทำลายสารต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ และยังส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างอาหารด้วย

ตัวอย่างอาหารที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและแบบตู้อบถาดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับการทำแห้งแบบลมร้อน แต่การเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งจะช่วยเพิ่มอัตราการทำแห้ง แต่ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกลดลง นอกจากนี้การทำแห้งแบบลมเย็นสามารถช่วยรักษาสารประกอบต่างๆ ไว้ได้มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งร่วมกับสุญญากาศและการทำแห้งแบบลมร้อน และยังมีงานวิจัยรายงานว่าการทำแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศและการทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งสามารถรักษาปริมาณแอนโธไซยานินและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าการทำแห้งแบบอบลมร้อนอีกด้วย (กมลชนก สกุลประเสริฐ, 2556)

กมลชนก สกุลประเสริฐ (2556) ได้สรุปว่าปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำให้ลักษณะอาหารมีความแตกต่างกันด้านกายภาพและเคมี ได้แก่

1. วิธีการทำแห้ง โดยการทำแห้งแต่ละวิธีจะมีกลไกการทำแห้งที่แตกต่างกัน จึงทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีความแตกต่างกัน

2. เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง การทำแห้งที่ใช้เวลานาน จะส่งผลให้สูญเสียสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าการทำแห้งที่ใช้เวลาสั้น และการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงจะส่งผลให้สูญเสียสารสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำ

3. ลักษณะของอาหาร ซึ่งอาหารที่มีลักษณะและมีโครงสร้างภายในอาหารที่ต่างกัน ส่งผลให้ลักษณะอาหารหลังผ่านการทำแห้งมีความแตกต่างกัน และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ต่างกัน

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย

สารเคมี

Folin-ciocalteu reagent (Merck, Germany)

Gallic acid (Sigma-Aldrich, USA)

Aluminium chloride (Ajax Finechem, New Zealand)

Quercetin (Sigma-Aldrich, Germany)

2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma-Aldrich, USA)

6-hydroxy-2, 5, 7, 8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox) (Sigma-Aldrich, USA)

Methanol (Fisher Scientific, UK)

Sodium carbonate (Daejung, Korea)

Sodium acetate (A. R. grade, Ajax Finechem, New Zealand)

Tripyridyltriazine (TPTZ) (Merck, Germany)

Potassium acetate (Brightchem, Malaysia)

Hydrochloric acid (QReC, New Zealand)

Acetic acid (A.R. grade, J.T. Baker Neutrasorb, USA)

Ferric chloride (POCH S.A., Poland)

วัสดุอุปกรณ์

เครื่อง UV-visible Spectrophotometer (Thermo Spectronic, Genesys 10 UV, USA)

เครื่องอบลมร้อน hot air oven (Memmert, DO 6062, Germany)

เครื่องอบสุญญากาศ Vacuum Dryer

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, Switzerland)

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, Switzerland)

เครื่องวัดสี chroma meter (Minolta, Model CR-300 series, Japan)

เครื่องวัดปริมาณความชื้น Moisture Analyzer (Mettler Toledo,HB43-S, Switzerland)

เครื่องวัดค่า water activity (Aqua lab, Series 3, USA)

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การเตรียมใบถั่วดาวอินคา

ใบถั่วดาวอินคาที่ใช้ในการทดลองมาจากจังหวัดสระบุรี ซึ่งเก็บตัวอย่างจากสวนโดยตรงใส่ถุงพลาสติกซิปล็อค และเก็บใส่กล่องกระดาษระหว่างขนส่งมาที่ห้องปฏิบัติการ (ใช้เวลา 2 ชั่วโมง) เก็บตัวอย่างไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 ˚C และวิเคราะห์ภายใน 3 วัน

2. การสกัดสารจากใบถั่วดาวอินคา

ชั่งใบถั่วดาวอินคาที่หั่นแล้ว 1 g ใส่บีกเกอร์ จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 mL เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 41

3. การศึกษาการทำแห้งใบถั่วดาวอินคา

หั่นตัวอย่างใบถั่วดาวอินคามาเป็นเส้นๆ โดยมีความกว้างของเส้นไม่เกิน 0.5 cm และทำแห้งโดยให้มีปริมาณความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 8 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2558) ด้วยวิธีการดังนี้

- การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนโดยแปรอุณหภูมิเป็น 50 ˚C 60 ˚C และ 70 ˚C ใช้ตัวอย่างถาดละ 300 g โดยระหว่างทำแห้งจะชักตัวอย่างจำนวน 9 ครั้ง ครั้งละ 3 g ทุกๆ 10 นาที มาวัดปริมาณความชื้น และค่า water activity เพื่อทำ drying curve

- การทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศโดยแปรอุณหภูมิเป็น 50 ˚C 60 ˚C และ 70 ˚C ใช้ตัวอย่างถาดละ 300 g

4. การศึกษาผลของการทำแห้งใบถั่วดาวอินคาต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพ

หั่นตัวอย่างใบถั่วดาวอินคาเป็นเส้นๆ แล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 ˚C 60 ˚C และ 70 ˚C จากนั้นนำไปสกัดและวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพดังนี้

- วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry ดัดแปลงวิธีจาก Chan และคณะ (2009) โดยนำสารสกัดตัวอย่างที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu reagent ในภาวะที่เป็นด่าง และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน gallic acid ในช่วงความเข้มข้น 0.01-0.1 mg/mL รายงานค่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วย mg GAE/gdw (ภาคผนวก ก.1)

- วิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี Aluminum chloride colorimetry ดัดแปลงวิธีจาก Pourmorad และคณะ (2006) โดยนำสารสกัดตัวอย่างมาทำปฏิกิริยากับสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ ($AlCl_3$) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 nm เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานเควอซิทิน (quercetin) ในช่วงความเข้มข้น 20-140 µg/mL รายงานปริมาณฟลาโวนอยด์ในหน่วย mg QE/gdw (ภาคผนวก ก.2)

- วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ดัดแปลงวิธีจาก Maisuthisakul และคณะ (2007) โดยนำสารสกัดตัวอย่างมาทำปฏิกิริยากับ DPPH reagent แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm รายงานค่าในหน่วย % inhibition (ภาคผนวก ก.3)

- วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ดัดแปลงวิธีจาก Hossain และคณะ (2010) โดยเจือจางสารสกัดตัวอย่างและผสมกับ FRAP reagent แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน trolox ในช่วงความเข้มข้น 0-140 µM trolox โดยรายงานค่าในหน่วย mM trolox/gdw (ภาคผนวก ก.4)

- วิเคราะห์ค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี chroma meter (Minolta, Model CR-300 series) ระบบ CIE LAB และบันทึกค่า L*, a* และ b* (ภาคผนวก ข.3)

5. การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการชงชาจากใบถั่วดาวอินคา

ชั่งใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งแล้วจำนวน 1 g มาชงกับน้ำปริมาตร 100 mL โดยแปรอุณหภูมิ 70 ˚C 80 ˚C และ 90 ˚C และแปรเวลาที่ใช้ชงชาเป็น 3 6 และ 9 นาที จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

6. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for Social Sciences (SPSS Version 23, USA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4

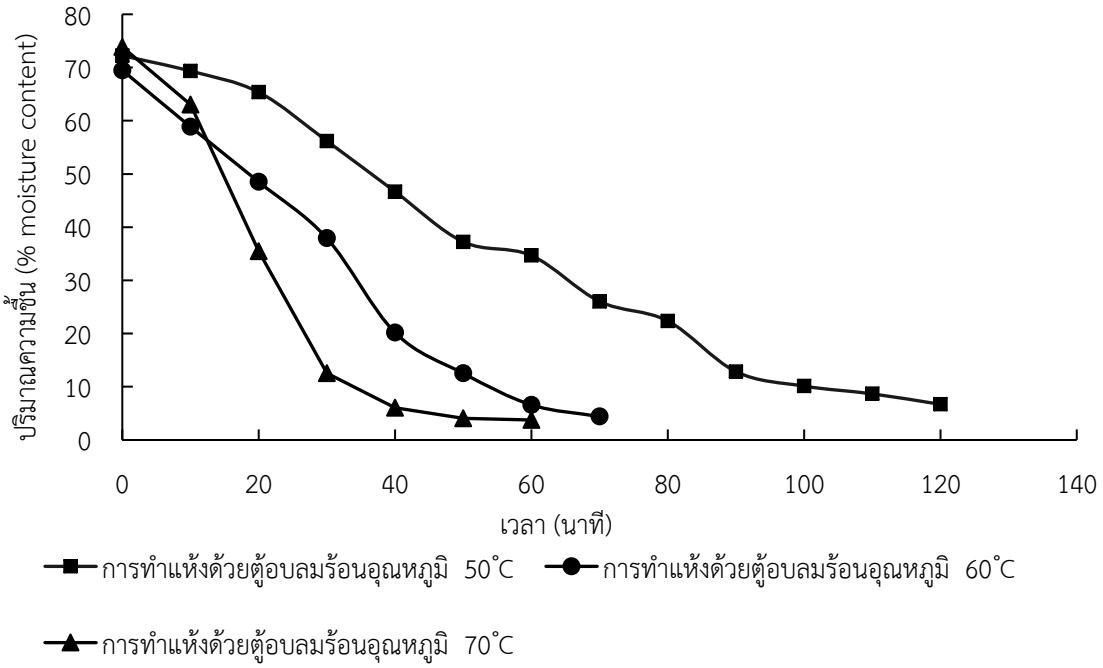
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลของการทำแห้งใบถั่วดาวอินคา

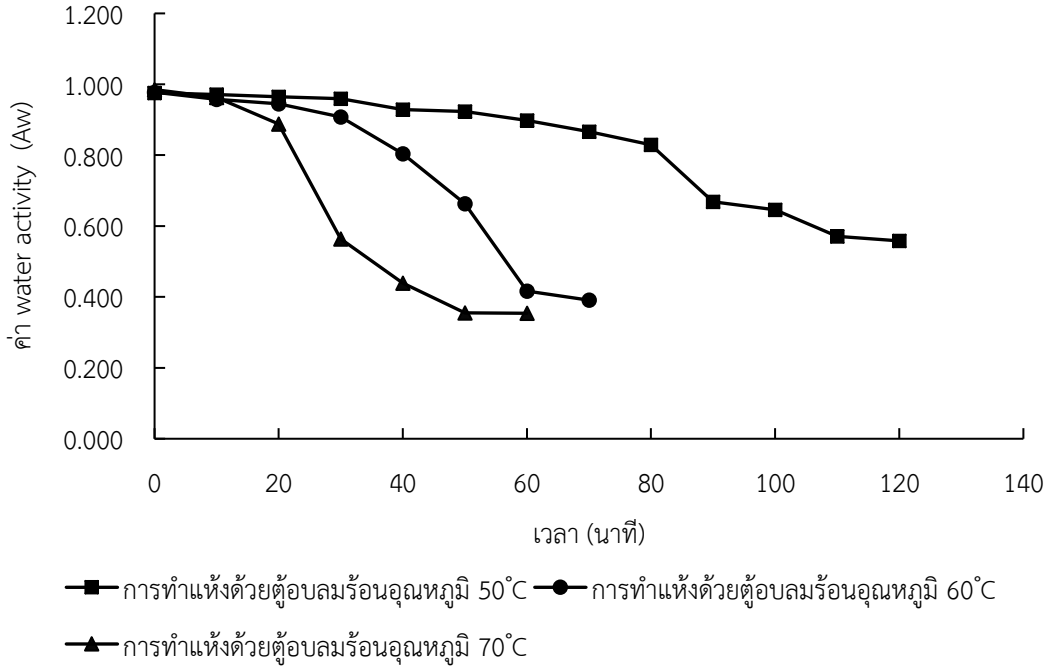
โดยทั่วไปการทำแห้งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของใบถั่วดาวอินคา เนื่องจากความร้อนสามารถลดปริมาณความชื้นและค่า water activity ในใบถั่วดาวอินคาถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียหรือปฏิกิริยาทางเคมีอื่นๆ ได้ นอกจากนี้ที่ระดับความชื้นและค่า water activity นี้ยังสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคซึ่งส่งผลให้อาหารที่ผ่านการทำแห้งมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

จากผลการทดลองการทำแห้งใบถั่วดาวอินคาด้วยตู้อบลมร้อน พบว่าใบถั่วดาวอินคาที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 ˚C มีอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นลดลงเร็วที่สุด พิจารณาจากระยะเวลาดังแสดงในรูปที่ 9 และพบว่าการทำแห้งเป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 50 ˚C 60 ˚C และ 70 ˚C ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในใบถั่วดาวอินคามีค่าเท่ากับ 34.67% 6.61% และ 3.76% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 ˚C ส่งผลให้ปริมาณความชื้นของใบถั่วดาวอินคาลดลงมากที่สุดในระยะเวลาการทำแห้งที่เท่ากันกับการทำแห้งที่อุณหภูมิอื่นๆ ซึ่งการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 70 ˚C จะใช้ระยะเวลาการทำแห้งที่นานขึ้น

รูปที่ 10 แสดงค่า water activity ของใบถั่วดาวอินคาระหว่างการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยค่า water activity ที่ลดลงจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนระยะเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 50 ˚C 60 ˚C และ 70 ˚C มีค่าเท่ากับ 0.898 0.417 และ 0.354 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้นสามารถดึงปริมาณน้ำอิสระในตัวอย่างออกมาได้มากขึ้น และสามารถลดระยะเวลาการทำแห้งได้ (Chong et al, 2011)



รูปที่ 9 ปริมาณความชื้นของใบถั่วดาวอินคาระหว่างการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน



รูปที่ 10 ค่า water activity ของใบถั่วดาวอินคาระหว่างการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของใบถั่วดาวอินคา

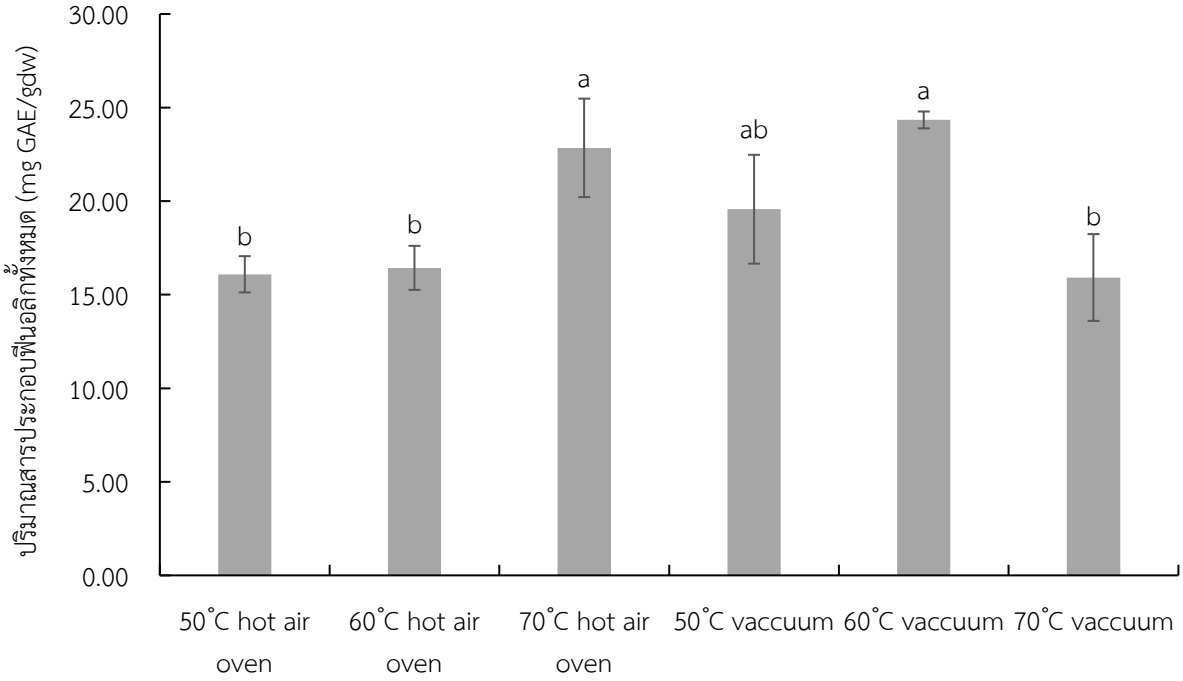
4.2.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้ง

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีความสำคัญต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย วิธีการทำแห้งด้วยอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมจะสามารถรักษาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุด

วิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกมีค่าแตกต่างกัน โดยการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งมีปริมาณฟีนอลิกเพิ่มขึ้น (รูปที่ 11) ในขณะที่การทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 ˚C ส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคามีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดต่ำสุด (15.92±2.32 mg GAE/gdw) และการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งมีปริมาณฟีนอลิกเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โดยการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 ˚C ส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคามีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด (24.34±0.45 mg GAE/gdw) เมื่อเปรียบเทียบการทำแห้งทั้งสองวิธี การทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Harbourne และคณะ (2009) ที่ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของ meadowsweet และพบว่า meadowsweet ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (112.00±2.00 mg GAE/gdb) มากกว่า meadowsweet ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 ˚C (110±6.00 mg GAE/gdb)

สาเหตุของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่เปลี่ยนแปลงหลังจากการทำแห้ง อาจมาจากสารกลุ่มดังกล่าวสลายตัวในขณะที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิสูงและระยะเวลาการทำแห้งนาน โดยการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศจะใช้เวลาในการทำแห้งสั้นกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน จึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกในใบถั่วดาวอินคาจากการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศยังคงเหลืออยู่มากกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และอุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากเซลล์พืชสลายตัวในระหว่างการทำแห้ง (กมลชนก สกุลประเสริฐ, 2556)

นอกจากนี้การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงและเวลาทำแห้งนานอาจส่งผลให้เอนไซม์ที่สามารถทำลายสารต้านอนุมูลอิสระในผักและผลไม้ถูกทำลายได้ ทำให้เอนไซม์เสียสภาพธรรมชาติ ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกไม่ถูกทำลายด้วยเอนไซม์ดังกล่าว (Roshanak et al., 2016) โดยการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 ˚C ใช้เวลาในการทำแห้งนานกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 ˚C เอนไซม์จึงถูกทำลายมากกว่า และส่งผลให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่า



รูปที่ 11 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

* a, b, ... คือตัวอักษรที่ต่างกันมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

GAE คือ gallic acid equivalent

4.2.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้ง

ฟลาโวนอยด์มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ จึงมีความสำคัญต่อการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ โดยฟลาโวนอยด์สามารถยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ที่จะทำให้เกิดการสะสมอนุมูลอิสระลง ส่งผลให้ความเสี่ยงของการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ลดลงได้ โดยการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ อาจส่งผลให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งส่งผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

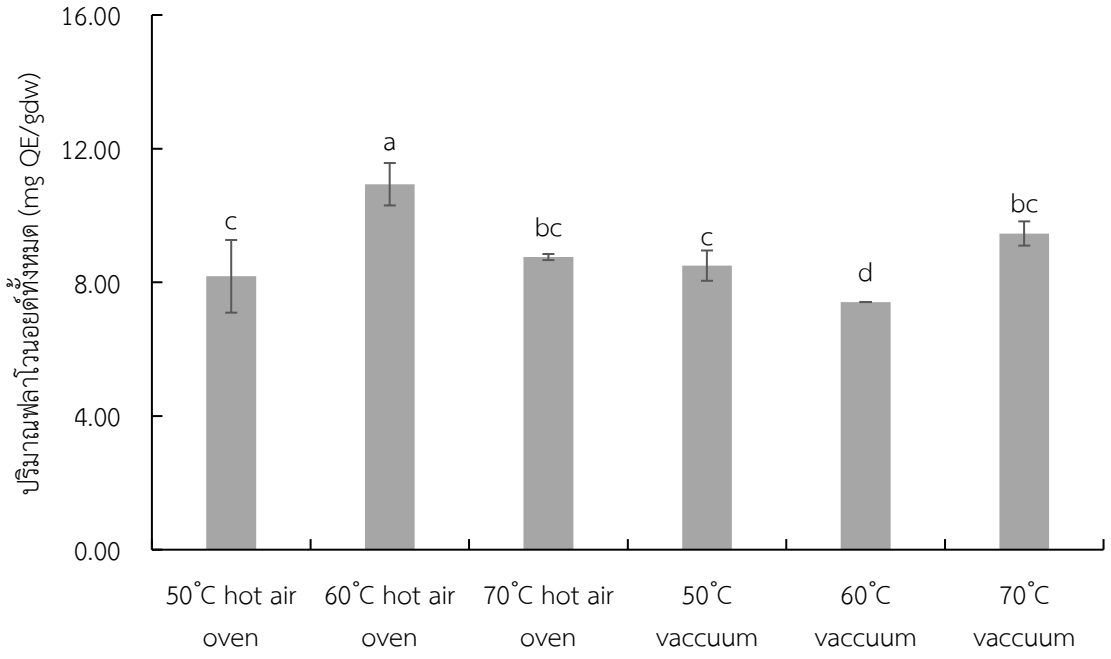
การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคามีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงขึ้น โดยการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ˚C ส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคามีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุด (10.94±0.63 mg QE/gdw) ดังแสดงในรูปที่ 12 แต่ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดลดลงเมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 ˚C ในขณะที่การทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคามีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงขึ้นเช่นเดียวกัน โดยการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 ˚C 60 ˚C และ 70 ˚C ส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคามีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 8.50±0.45 7.41±0.00 และ 9.46±0.36 mg QE/gdw ตามลำดับ และพบว่าการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 ˚C ส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคามีปริมาณฟลาโวนอยด์ต่ำที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Roshanak และคณะ (2016) ซึ่งศึกษาผลของการทำแห้งใบชาเขียวด้วยวิธีต่างๆ ต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในใบชาเขียว และพบว่าใบชาเขียวที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ˚C มีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงที่สุด (38.18 mg QE/gdw) และมีปริมาณมากกว่าใบชาเขียวที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งซึ่งมีค่าเท่ากับ 22.73 mg QE/gdw

นอกจากนี้งานวิจัยของ Adamczak และคณะ (2009) ซึ่งศึกษาผลของการทำแห้งด้วยความร้อนและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งต่อปริมาณฟลาโวนอยด์และกรดอินทรีย์ใน cranberry พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ cranberry มีปริมาณฟลาโวนอยด์ต่ำกว่าการทำแห้งด้วยความร้อน ในขณะที่ Sukrasno และคณะ (2011) ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ของใบผักก้านก่องโดยผลการทดลองพบว่า ใบผักก้านก่องที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 ˚C (19.12±0.80 mg QE/gdw) มีปริมาณฟลาโวนอยด์มากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 ˚C (11.39±1.42 mg QE/gdw) และงานวิจัยของ Heras-Ramírez และคณะ (2012) ซึ่งศึกษาผลของอุณหภูมิในการลวกและทำแห้งต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของกากแอปเปิ้ล ยังพบว่ากากแอปเปิ้ลที่ทำการลวกก่อนนำไปทำแห้งมีปริมาณฟลาโวนอยด์

หลังผ่านการทำแห้งมากว่ากากแอปเปิ้ลที่ไม่ได้ผ่านการลวก และการทำแห้งกากแอปเปิ้ลที่อุณหภูมิ 60 ˚C ทำให้มีปริมาณฟลาโวนอยด์มากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 ˚C 70 ˚C และ 80 ˚C เพียงเล็กน้อย

ปริมาณฟลาโวนอยด์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้น และลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นอีก อาจเป็นผลมาจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นสามารถทำลายผนังเซลล์ ส่งผลให้สารกลุ่มดังกล่าวถูกปลดปล่อยออกมาจากเซลล์ของตัวอย่างได้มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากขึ้นอีก อาจทำให้สารกลุ่มดังกล่าวที่ถูกปลดปล่อยออกมาถูกทำลายด้วยความร้อน โดยมีกลไกการทำงานปกติ คือ ฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ สามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมจากหมู่ไฮดรอกซิลออกจากโมเลกุลของมันกับอนุมูลอิสระเพื่อหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระ แต่การเพิ่มความร้อนหรือพลังงานจลน์ในระบบมากขึ้น ทำให้ออกซิเจนในน้ำเคลื่อนที่เร็วขึ้นและสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับหมู่ไฮดรอกซิลของฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ส่งผลให้ปริมาณของฟลาโวนอยด์ทั้งหมดลดลงจากความร้อนสูง (ณัฏฐิกา ศิลาลาย, 2549)



รูปที่ 12 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

* a, b, ... คือตัวอักษรที่ต่างกันมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

QE คือ quercetin equivalent

4.2.3 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้ง

สารต้านอนุมูลอิสระแต่ล่ะชนิดมีกลไกการต้านอนุมูลอิสระที่ต่างกัน ซึ่งการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีที่ต่างกันแสดงถึงกลไกของสารต้านอนุมูลอิสระที่ต่างกัน โดยการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของใบถั่วดาวอินคาด้วยวิธี DPPH สามารถบอกถึงปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีกลไกการออกฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระได้ และยังได้ข้อมูลเกี่ยวกับการทำแห้งที่เหมาะสมต่อการรักษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH แสดงผลในค่า % inhibition โดยผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มากขึ้น (รูปที่ 13) ในขณะที่การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ˚C และการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 ˚C ส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ลดลง โดยใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 ˚C มีค่า % inhibition สูงที่สุด (52.59±4.41%) และใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ˚C มีค่า % inhibition ต่ำที่สุด (20.56±7.08%)

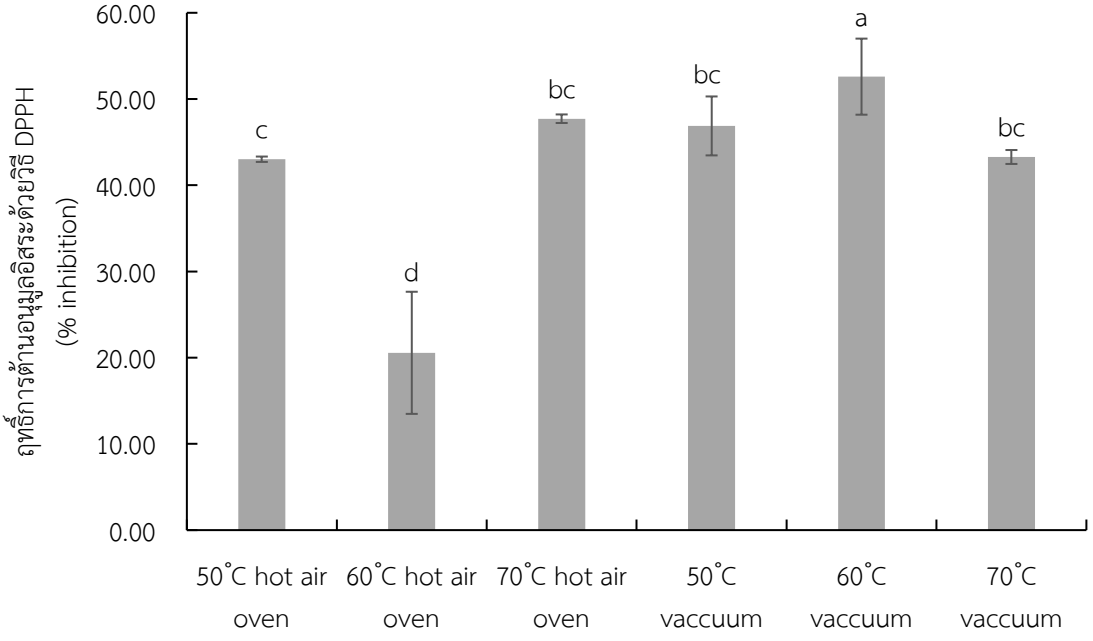
ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yang และคณะ (2010) ที่ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของมันเทศ โดยพบว่าการทำแห้งด้วยไมโครเวฟส่งผลให้มันเทศมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มากกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และมันเทศที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มากกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

ในขณะที่งานวิจัยของ İncedayi และคณะ (2016) ซึ่งศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่ต่างกันต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของ apricot พบว่า apricot ที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 75 ˚C มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (67.12±2.34% inhibition) สูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 ˚C (56.72±0.60% inhibition)

การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ลดลง โดยจากงานวิจัยของ Alara และคณะ (2019) ที่ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อการต้านอนุมูลอิสระของ *Vernonia amygdalina* โดยเปรียบเทียบการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ การทำแห้งในที่ร่ม และการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 ˚C 50 ˚C และ 60 ˚C พบว่า *Vernonia amygdalina* ที่ทำแห้งในที่ร่มมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุด รองลงมาเป็นการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ และการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

ตามลำดับ โดยการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 ˚C ส่งผลให้ตัวอย่างมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มากกว่าการทำแห้งที่ 50 ˚C และ 60 ˚C ตามลำดับ

ผลของการทำแห้งใบถั่วดาวอินคาด้วยตู้อบสุญญากาศต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สอดคล้องกับผลการทดลองของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (รูปที่ 11) โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่มากขึ้น ส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มากขึ้น เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ แต่ใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ที่ไม่สอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก รวมถึงปริมาณฟลาโวนอยด์ (รูปที่ 12) และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ไม่มีความสัมพันธ์กัน อาจเนื่องมาจากฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระอาจมาจากสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มอื่นที่มีอยู่ในใบถั่วดาวอินคา ซึ่งไม่ใช่สารประกอบกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่เป็นกลุ่มที่เลือกศึกษา (กมลชนก สกุลประเสริฐ, 2556)



รูปที่ 13 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

* a, b, ... คือตัวอักษรที่ต่างกันมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.2.4 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้ง

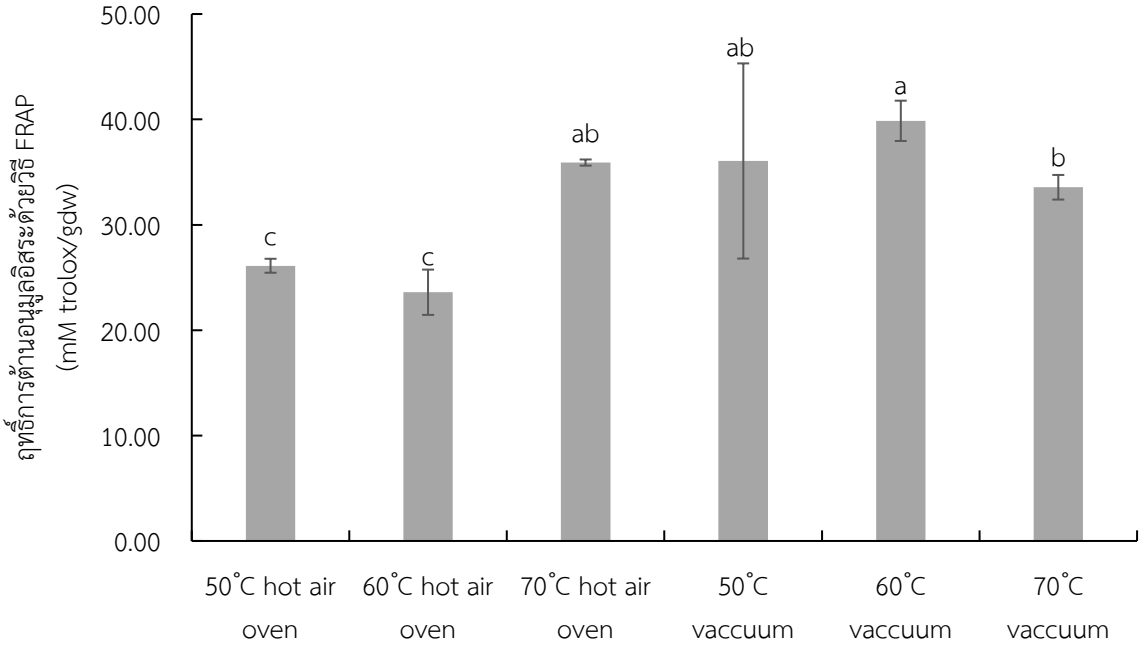
การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของใบถั่วดาวอินคาด้วยวิธีต่างๆ สามารถแสดงถึงชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน ซึ่งการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP สามารถแสดงถึงปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระที่ให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยการให้สารต้านอนุมูลอิสระรีดิวซ์อะตอมของเหล็กให้อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและด้วยตู้อบสุญญากาศ แสดงดังในรูปที่ 14 โดยพบว่าใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ที่สูงขึ้น แต่ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของใบถั่วดาวอินคามีค่าลดลงเมื่อทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ˚C และตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 ˚C และใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 ˚C มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP สูงสุด (39.87±1.91 mM trolox/gdw) ในขณะที่ใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ˚C มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ต่ำสุด (23.60±2.15 mM trolox/gdw) ซึ่งฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (รูปที่ 11) โดยเมื่อใบถั่วดาวอินคามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สูงขึ้น จะส่งผลให้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP สูงขึ้น อาจเป็นผลมาจากสารประกอบฟีนอลิกมีความสามารถในการรีดิวซ์ Fe^{3+} ไปเป็น Fe^{2+} ได้ ส่งผลให้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP สูงขึ้น แต่ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้ด้วยวิธี FRAP อาจไม่สัมพันธ์กับค่าที่วัดได้จากวิธี DPPH (รูปที่ 13) เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มฟีนอลิกแต่ละชนิดมีกลไกการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่แตกต่างกัน ดังปรากฏในงานวิจัยของนวลอนงค์ เสมสังข์ (2559) ที่ศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากข้าวไทย และพบว่าปริมาณฟลาโวนอยด์และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่อยู่ในข้าวมีความสอดคล้องกันกับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่วัดด้วย 3 วิธี คือ วิธี DPPH วิธี ABTS และวิธี FRAP โดยสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถจับกับอนุมูลอิสระผ่านกระบวนการยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว โดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นหลักการของวิธี DPPH และวิธี ABTS หรือการรีดิวซ์หรือให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระของไอออนของโลหะ ซึ่งเป็นหลักการของวิธี FRAP ดังนั้นเมื่อสารสกัดจากข้าวที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากจะส่งผลให้ข้าวมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงเช่นกัน

การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงยังส่งผลให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น โดยอาจเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล Maillard reaction ที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Wojdyło et al., 2009)

Orphanides และคณะ (2013) ได้ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของ spearmint และพบว่า spearmint ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP มากกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งส่งผลให้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP มากที่สุด รองลงมาเป็นการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ การทำแห้งในร่ม การทำแห้งด้วยไมโครเวฟ และการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ตามลำดับ

นอกจากนี้ Sang และคณะ (2014) ที่ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของใบ forage legume 4 สายพันธุ์ (*Arachis pintoi*, *Calapogonium mucunoides*, *Centrosema ubescens* และ *Stylosanthes guanensis*) ยังพบว่าใบ forage legume ทั้ง 4 สายพันธุ์ ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP สูงกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน



รูปที่ 14 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

* a, b, ... คือตัวอักษรที่ต่างกันมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.2.5 ค่าสีของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

สีเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพ การยอมรับและไม่ยอมรับของผู้บริโภค และสามารถบ่งบอกการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารได้ นอกจากนี้สีของใบถั่วดาวอินคาที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการทำแห้งอาจสามารถแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ระหว่างกระบวนการทำแห้ง

เมื่อพิจารณาผลของวิธีการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงสีของใบถั่วดาวอินคาหลังการทำแห้ง โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ L* a* และ b* โดยที่ค่า L* (มีค่า 0-100) คือ ค่าความสว่าง ค่า a* คือ ค่าความเป็นสีเขียว (- a* แสดงค่าสีเขียว และ + a* แสดงค่าสีแดง) และค่า b* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (- b* แสดงค่าสีน้ำเงิน และ + b* แสดงค่าสีเหลือง) พบว่าใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 ˚C มีค่า L* และ -a* มากที่สุด โดยมีค่า L*, a*, b* เท่ากับ 43.77±0.56 -5.96±0.03 และ 7.80±0.20 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าใบถั่วดาวอินคามีความเป็นสีเขียวและความสว่างมากที่สุด เนื่องจากทำแห้งที่อุณหภูมิไม่สูงมากสามารถรักษาสีของใบถั่วดาวอินคาได้ ในขณะที่การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 ˚C ส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคามีค่า L* และ - a* น้อยที่สุด โดยมีค่า L*, a*, b* เท่ากับ 37.01±1.73 -3.62±1.07 และ 7.44±1.71 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าใบถั่วดาวอินคามีความเป็นสีเขียวต่ำและมีความสว่างน้อยที่สุด เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้ง

ผลการทดลองนี้ที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของกมลชนก สกุลประเสริฐ (2556) ที่พบว่าการทำแห้งผักหวานป่าที่อุณหภูมิ 60 ˚C เป็นเวลา 120 นาที ส่งผลให้ผักหวานป่ามีสีเขียวเข้มปนน้ำตาล เนื่องจากทำแห้งที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ˚C และการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 ˚C มีค่า b* (แสดงความเป็นสีเหลือง) สูงที่สุดและต่ำที่สุดตามลำดับ โดยมีค่า L*, a*, b* เท่ากับ 40.99±0.25, -5.05±0.27, 8.09±0.79 และ 37.49±1.11, -4.33±0.51, 5.95±0.16 ตามลำดับ ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี คือ อุณหภูมิและระยะเวลาในการทำแห้ง การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการทำแห้งที่ต่างกันส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการทำแห้ง โดยค่า L*, a*, b* จะค่อยๆ ลดลงหากใช้อุณหภูมิและระยะเวลาทำแห้งเพิ่มขึ้น (กมลชนก สกุลประเสริฐ, 2556)

ในขณะที่งานวิจัยของ Lin และคณะ (2010) ที่ศึกษาเทคโนโลยีการทำแห้งต่อคุณภาพของชาเขียว พบว่าสภาวะการทำแห้งส่งผลกับค่า a* และการทำแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศทำให้ใบชาเขียวมีค่า a* ต่ำที่สุด (-12.60) ตามด้วยการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ การทำแห้งแบบสุญญากาศ และการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ตามลำดับ ซึ่งการสลายตัวของรงควัตถุ เช่น chlorophyll II อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทำแห้งโดยการสลายตัวของรงควัตถุสีเขียวอาจมากขึ้น เมื่อทำแห้งด้วยอุณหภูมิสูงด้วยเวลานานขึ้น นอกจากนี้ค่า a* ที่ลดลง (ค่าติดลบลดลง) อาจเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช้เอนไซม์ ซึ่งจะเปลี่ยนสีของตัวอย่างทำให้มีสีเขียวลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้น (Youssef et al., 2014)

ตารางที่ 3 ค่าสีของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

ใบถั่วดาวอินคา	ค่าสี		
	L*	a*	b*
ใบสด	40.48±6.55	-10.98±4.95	12.22±8.83
การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 50 ˚C	43.77±0.56	-5.96±0.03	7.80±0.20
การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60 ˚C	40.99±0.25	-5.05±0.27	8.09±0.79
การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 70 ˚C	37.01±1.73	-3.62±1.07	7.44±1.71
การทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ อุณหภูมิ 50 ˚C	37.83±0.74	-4.36±0.66	6.20±1.27
การทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ อุณหภูมิ 60 ˚C	38.82±1.04	-5.35±0.35	7.96±0.93
การทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ อุณหภูมิ 70 ˚C	37.49±1.11	-4.33±0.51	5.95±0.16

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการชงชาต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาใบถั่วดาวอินคา

4.3.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ชงชาด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างกัน

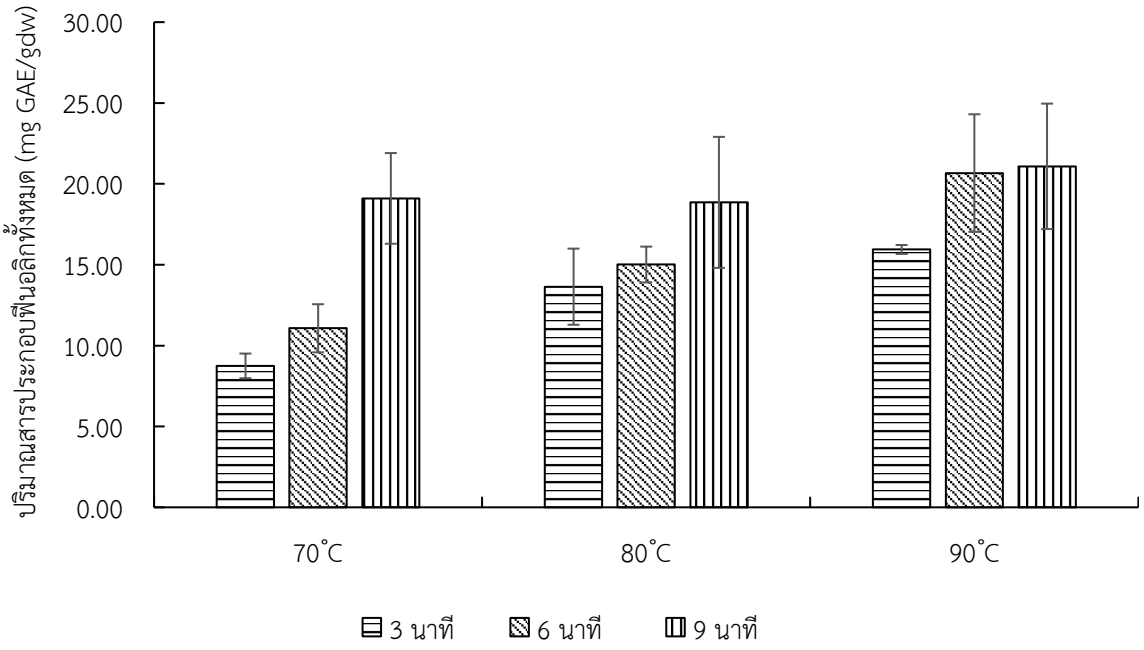
การชงชาใบถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิและเวลาที่ต่างกัน ทำให้ทราบถึงภาวะที่เหมาะสมที่สามารถรักษาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดได้ ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีสมบัติเป็นสารที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย สามารถชะลอและป้องกันการเสื่อมสภาพของเซลล์จากอนุมูลอิสระ โดยโมเลกุลของสารต้านอนุมูลอิสระจะเข้าไปทำปฏิกิริยาด้วยการให้อิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระแล้วทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่ของสารอนุมูลอิสระสิ้นสุดลง และไม่เกิดเป็นสารอนุมูลอิสระตัวใหม่

การใช้น้ำในการชงชาจากใบถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิและเวลาชงชาต่างกันส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกที่ได้มีปริมาณที่ต่างกัน แสดงดังในรูปที่ 15 โดยการชงชาด้วยน้ำอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้น้ำชามีสารประกอบฟีนอลิกมากขึ้น และการใช้เวลาชงชานานขึ้นส่งผลให้น้ำชามีสารประกอบฟีนอลิกมากขึ้น

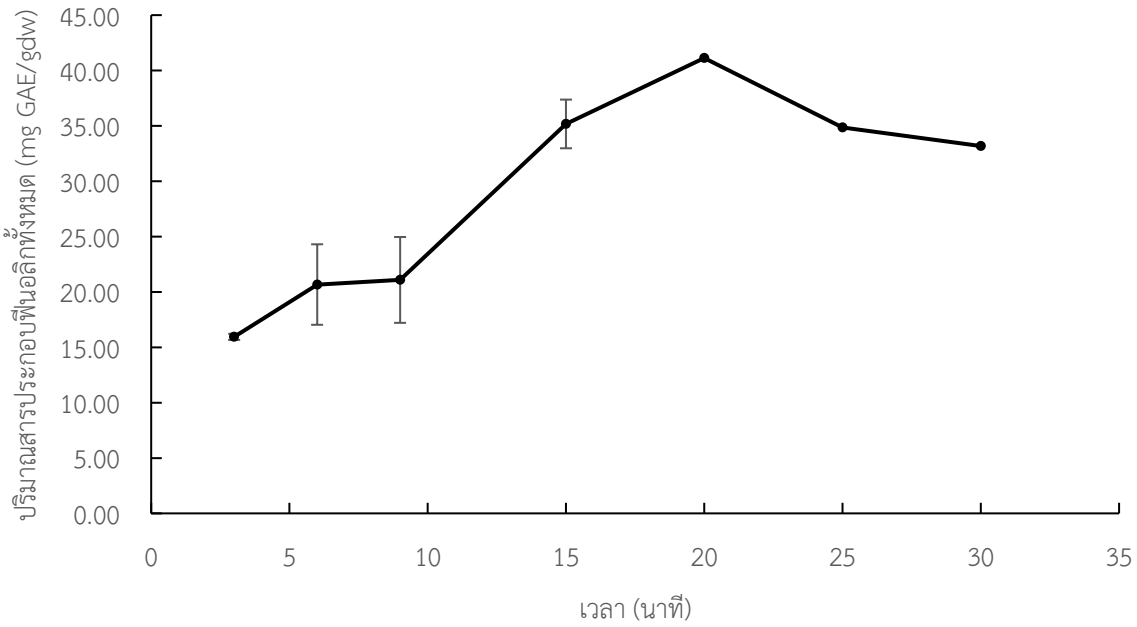
เนื่องจากอุณหภูมิสูงส่งผลให้มีการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกออกมาจากโครงสร้างของเซลล์มากขึ้นรวมไปถึงเวลาในการชงชานานขึ้นส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกจากเซลล์มากขึ้น เวลาในการชงชาที่นานขึ้นช่วยให้สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกออกมาได้มากขึ้น และสารประกอบดังกล่าวสามารถละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วได้ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lin และคณะ (2008) ที่ได้ศึกษาผลของการชงชาต่อคุณภาพของชาเขียว และพบว่าน้ำชาจากการสกัดเย็นมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (คาเทชิน) เท่ากับ 135.05±2.04 ถึง 193.14±2.01 mg/g โดยมีค่าน้อยกว่าน้ำชาจากการสกัดร้อน (161.57±1.68 ถึง 195.05±5.56 mg/g) นอกจากนี้การสกัดที่อุณหภูมิสูงกว่าส่งผลให้สกัดสารประกอบฟีนอลิกออกมาได้มากกว่าการสกัดที่อุณหภูมิต่ำ

จากการชงชาที่ใช้เวลาเท่ากัน แต่ใช้อุณหภูมิของน้ำในการชงชาต่างกัน (70 ˚C ถึง 90 ˚C) พบว่าน้ำชามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อใช้น้ำอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ชงชาสามารถสกัดสารต้านอนุมูลอิสระที่มีมวลโมเลกุลต่างกันได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Labbé และคณะ (2006) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการชงชาเขียวเพื่อใช้เป็นหลักพื้นฐานในการแยกสาร epigallocatechin (EGC) กับ epigallocatechin gallate (EGCG) ออกมา และพบว่าการปรับอุณหภูมิของน้ำและเวลาในการชงชาสามารถแยกสารกลุ่มดังกล่าวได้ โดยการชงชาเขียวที่ 50 ˚C เป็นเวลา 10 นาที สามารถแยกสาร EGC (739.70±131.30 µg/mL) ออกมาได้มากกว่าสาร EGCG (77.2±30.9 µg/mL) เนื่องจากน้ำที่อุณหภูมิต่ำสามารถสกัดสาร EGC ที่มีมวลโมเลกุลต่ำออกมาได้ดีกว่าสาร EGCG ในขณะที่การชงชาเขียวที่อุณหภูมิสูงถึง 90 ˚C เป็นเวลา 10 นาที สามารถแยกสาร EGC (893.90±119.80 µg/mL) ออกมาได้ใกล้เคียงกับสาร EGCG (763.80±184.80 µg/mL) โดยมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นสามารถสกัดสาร EGCG ที่มีมวลโมเลกุลสูงได้ดีกว่าการสกัดที่อุณหภูมิต่ำ

เมื่อชงชาใบถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิ 90 ˚C ที่เวลาต่างๆ พบว่าการใช้เวลาชงชามากขึ้น จะส่งผลให้น้ำชามีสารประกอบฟีนอลิกมากขึ้น (รูปที่ 16) โดยการชงชาที่เวลา 20 นาที ส่งผลให้น้ำชามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด (41.12±1.54 mg GAE/gdw) แต่เมื่อทำการชงชาต่อไปพบว่าน้ำชามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง มีสาเหตุเนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิกที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากเซลล์ของพืชอาจถูกทำลายได้ด้วยอุณหภูมิสูง ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง (Lin et al., 2008)



รูปที่ 15 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาใบถั่วดาวอินคา



รูปที่ 16 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ได้จากการชงชาที่อุณหภูมิ 90˚C

* GAE คือ gallic acid equivalent

4.3.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ชงชาด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างกัน

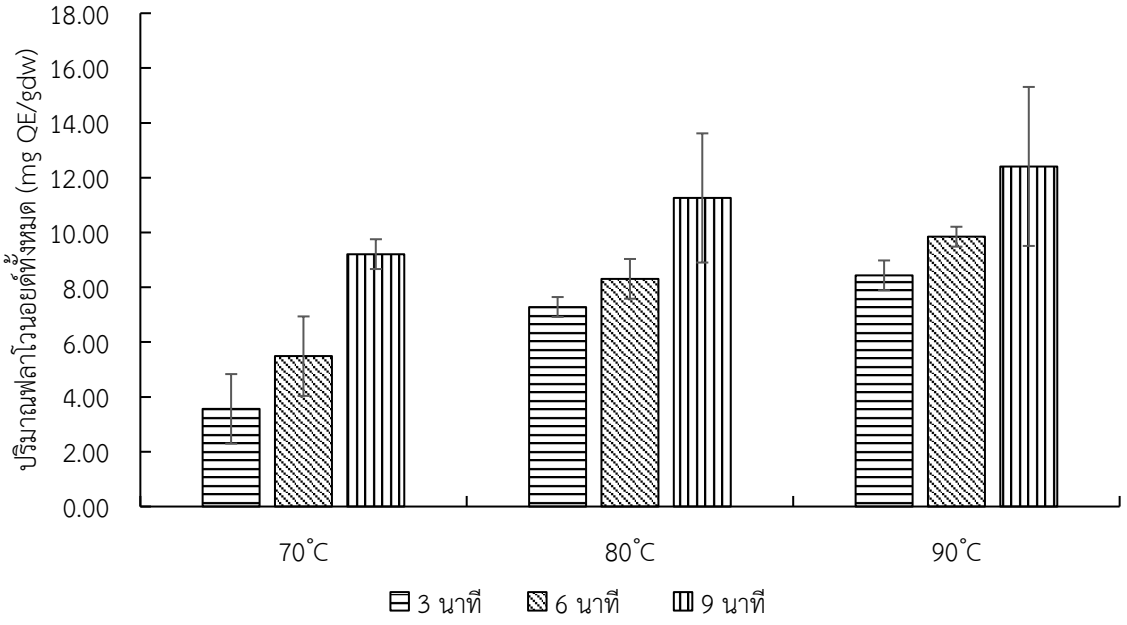
ฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเป็นสารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่มีประโยชน์ต่อร่ายกาย สามารถป้องกันการถูกทำลายของเซลล์และเนื้อเยื่อร่างกายจากอนุมูลอิสระและออกซิเจนอิสระ อันเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆ ได้ ดังนั้นการศึกภาวะที่เหมาะสมที่สามารถรักษาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดให้ได้มากที่สุดจากการชงชาใบถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิและเวลาต่างกันจึงเป็นสิ่งสำคัญ

จากการศึกษาผลของการชงชาใบถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด พบว่าการชงชาจากใบถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิและเวลาชงชาต่างกันส่งผลให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดที่ได้มีปริมาณที่ต่างกัน โดยการชงชาที่อุณหภูมิสูงขึ้นและเวลานานขึ้นส่งผลให้น้ำชาใบถั่วดาวอินค่ามีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดพลังงานในระบบมากขึ้น ส่งผลให้ผนังเซลล์ของใบถั่วดาวอินคาถูกทำลายจนสารกลุ่มดังกล่าวถูกปลดปล่อยมากขึ้น และการใช้เวลาชงชานานขึ้นส่งผลให้น้ำชาใบถั่วดาวอินคามีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของณัฐนนท์ อยู่สถิตย์ และคณะ (2559) ที่ศึกษาสารประกอบฟลาโวนอยด์ในใบสะระแหน่ ใบทับทิม และใบว่านแร้งคอดำเพื่อแปรรูปเป็นชาสมุนไพร และพบว่าปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ได้จากการชงชาเป็นเวลา 5 10 และ 20 นาที จากใบสะระแหน่ มีค่าเท่ากับ 145.84 151.68 และ 178.38 mg QE/gdw ตามลำดับ ปริมาณฟลาโวนอยด์จากใบทับทิมมีค่าเท่ากับ 46.58 51.33 และ 82.83 mg QE/gdw ตามลำดับ และปริมาณฟลาโวนอยด์จากใบว่านแร้งมีค่าเท่ากับ 16.70 17.11 และ 35.30 mg QE/gdw ตามลำดับ ซึ่งปริมาณฟลาโวนอยด์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาชงชานานขึ้น

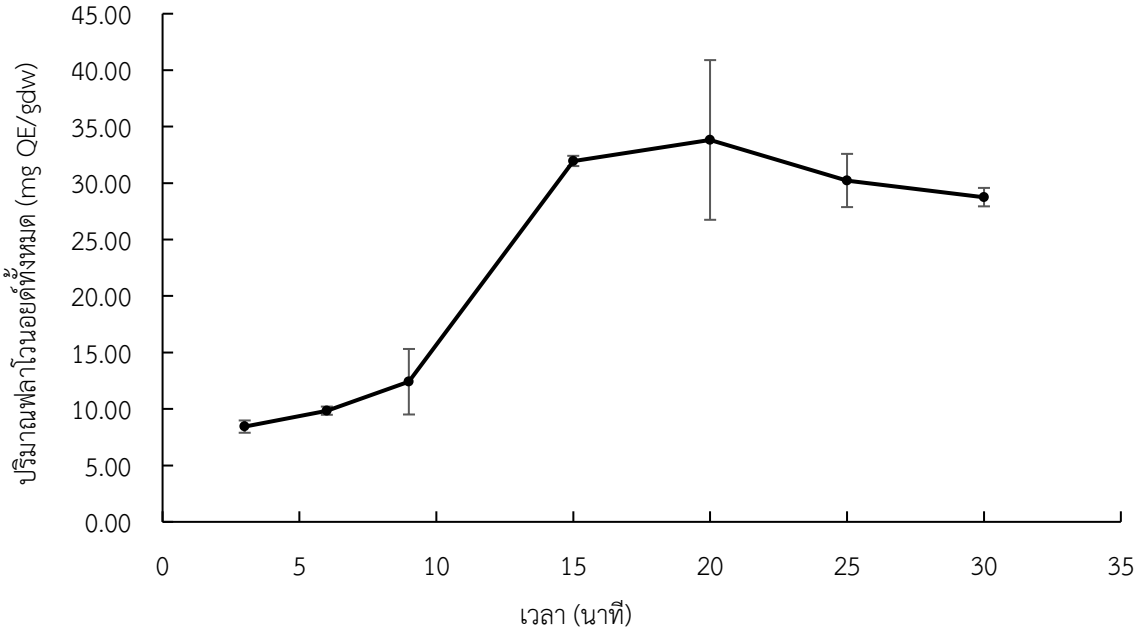
เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการชงชาเท่ากัน (3 นาที) พบว่าปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ได้จากการชงชาเพิ่มขึ้นเมื่อใช้น้ำอุณหภูมิสูงขึ้น (70 ˚C 80 ˚C และ 90 ˚C) โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาผลของการชงชาเขียวแบบต่างๆ ต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยพบว่าน้ำชาจากการชงชาเขียวแบบถุงที่เวลา 3 นาที มีปริมาณฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ชงชาสูงขึ้น (60 ˚C 80 ˚C และ 100 ˚C ตามลำดับ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิน้ำในการชงชามีผลต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ (Komes et al., 2010)

ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ได้จากการชงชาที่อุณหภูมิ 90 ˚C ที่เวลาต่างๆ แสดงดังในรูปที่ 18 โดยพบว่าการชงชาใบถั่วดาวอินคาที่เวลามากขึ้นส่งผลให้น้ำชาใบถั่วดาวอินคามีปริมาณฟลาโวนอยด์มากขึ้น และมีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงสุดที่เวลาการชง 20 นาที (33.82±7.07 mg QE/gdw)

แต่เมื่อใช้เวลาในการชงชาเพิ่มขึ้นเป็น 25 นาที และ 30 นาที น้ำชาจากใบถั่วดาวอินคาจะมีปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ลดลงเท่ากับ 30.23±2.36 mg QE/gdw และ 28.76±0.82 mg QE/gdw ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Komes และคณะ (2010) ที่ได้ศึกษาการชงชาเขียวแบบถุงที่อุณหภูมิ 80 ˚C เป็นเวลาตั้งแต่ 3 นาที ถึง 30 นาที พบว่าน้ำชาที่ได้จากการชงชาที่ 15 นาที มีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงที่สุด และมีปริมาณฟลาโวนอยด์ลดลงเมื่อใช้เวลาในการชงชานานขึ้น (30 นาที) นอกจากการชงชาที่อุณหภูมิสูงส่งผลต่อการสลายตัวของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ยังพบว่าระยะเวลาการชงชานานขึ้นส่งผลให้สารกลุ่มฟลาโวนอยด์สัมผัสกับออกซิเจนในน้ำนานขึ้น เป็นผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากขึ้น และส่งผลให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ได้มีค่าลดลง (Pource et al., 2006)



รูปที่ 17 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำชาใบถั่วดาวอินคา



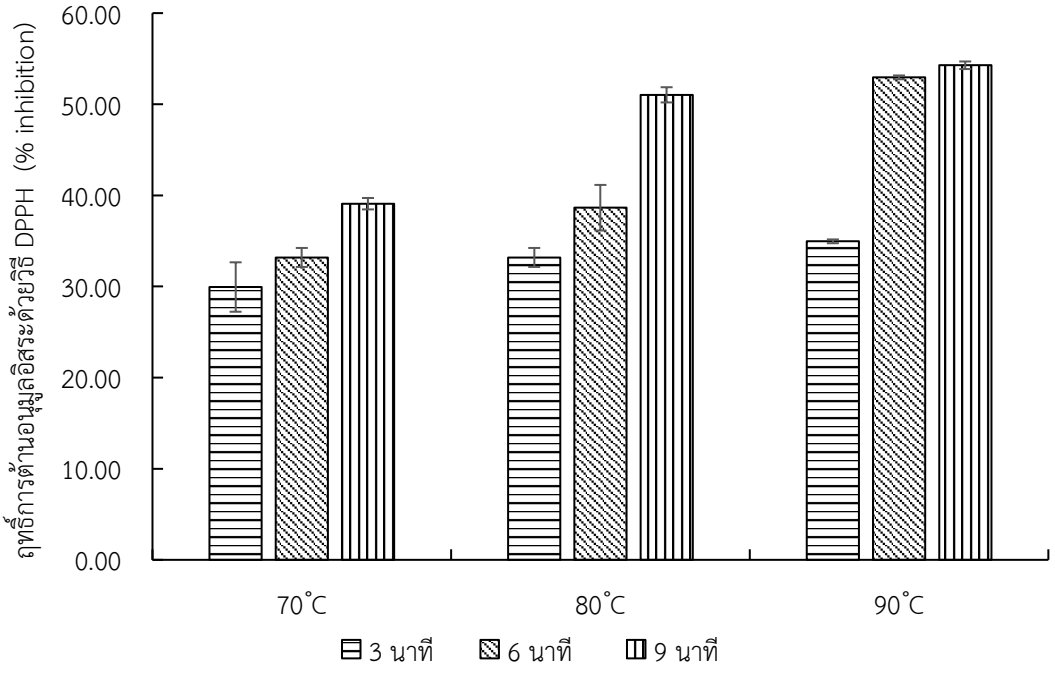
รูปที่ 18 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ได้จากการชงชาที่อุณหภูมิ 90˚C

* QE คือ quercetin equivalent

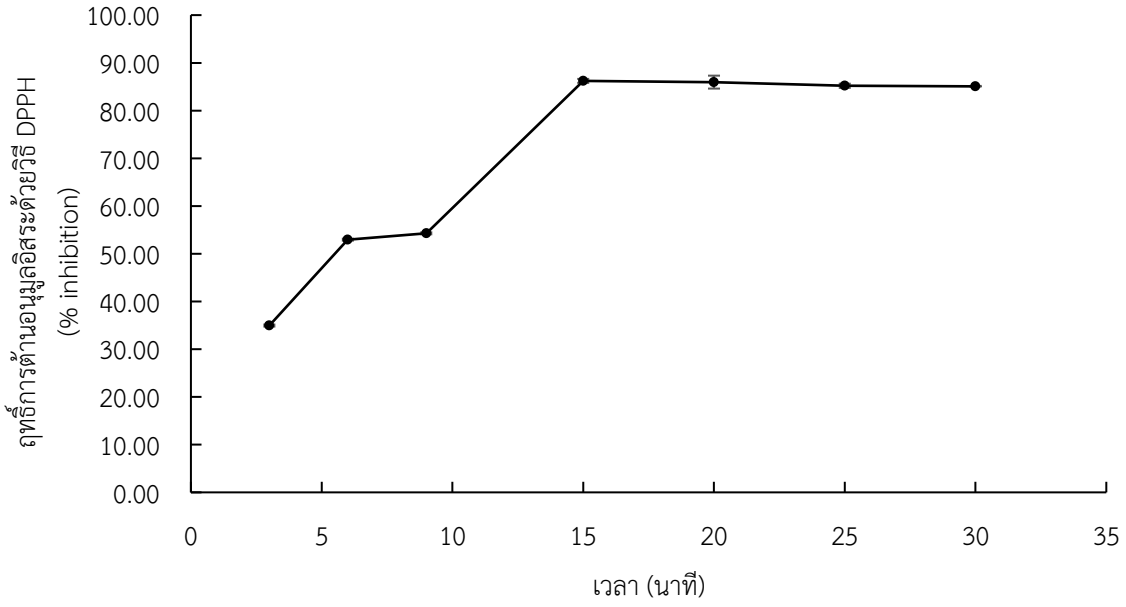
4.3.3 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ชงชาด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างกัน

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ส่งผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ในน้ำชาใบถั่วดาวอินคา พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการชงชาสูงขึ้น และใช้เวลาในการชงชานานขึ้น ส่งผลให้น้ำชาจากใบถั่วดาวอินคามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 19) เมื่อพิจารณาจากการชงชาระยะเวลา 9 นาที ที่อุณหภูมิ 70 ˚C 80 ˚C และ 90 ˚C พบว่าน้ำชาใบถั่วดาวอินคามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เท่ากับ 39.09±0.63 51.03±0.83 และ 54.28±0.42% inhibition ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการชงชาที่อุณหภูมิสูงขึ้นและใช้ระยะเวลาในการชงชาเท่ากัน ส่งผลให้น้ำชาใบถั่วดาวอินคามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่มากกว่า ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (รูปที่ 15) โดยพบว่าอุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการชงชาที่นานส่งผลให้มีสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส่งผลให้น้ำชาใบถั่วดาวอินคามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น

การเพิ่มเวลาในการชงชาเป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 90 ˚C พบว่าน้ำชาจากใบถั่วดาวอินคามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูงที่สุด (86.22±0.94% inhibition) ในขณะที่ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาที่ชงชาที่อุณหภูมิ 90 ˚C เป็นเวลา 25 นาที และ 30 นาที มีค่าลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 85.19±0.07 และ 85.09±0.07% inhibition ตามลำดับ (รูปที่ 20) แสดงให้เห็นว่าการชงชาใบถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานาน ทำให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเกิดการสลายตัว และส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Komes และคณะ (2010) ที่ศึกษาผลของการชงชาเขียวแบบต่างๆ ต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยพบว่าน้ำชาจากการชงชาเขียวแบบถุงที่เวลามากขึ้นมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มากขึ้น ซึ่งน้ำชาที่ได้จากการชงชาที่อุณหภูมิเท่ากัน (80 ˚C) แต่ใช้เวลาในการชงชาต่างกัน พบว่าน้ำชาเขียวมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูงสุดเมื่อชงชาเป็นเวลา 15 นาที (16.00±1.37 mmol/L trolox) จากนั้นฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ลดลงเมื่อชงชาเป็นเวลา 30 นาที (15.38±0.33 mmol/L trolox) และพบว่าน้ำชาจากการชงชาเขียวแบบถุงที่อุณหภูมิสูงขึ้น แต่ใช้เวลาในการชงชาเท่ากัน (3 นาที) มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มากขึ้น โดยการชงชาที่อุณหภูมิ 100 ˚C มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูงสุด (14.49±0.52 mmol/L trolox)



รูปที่ 19 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคา

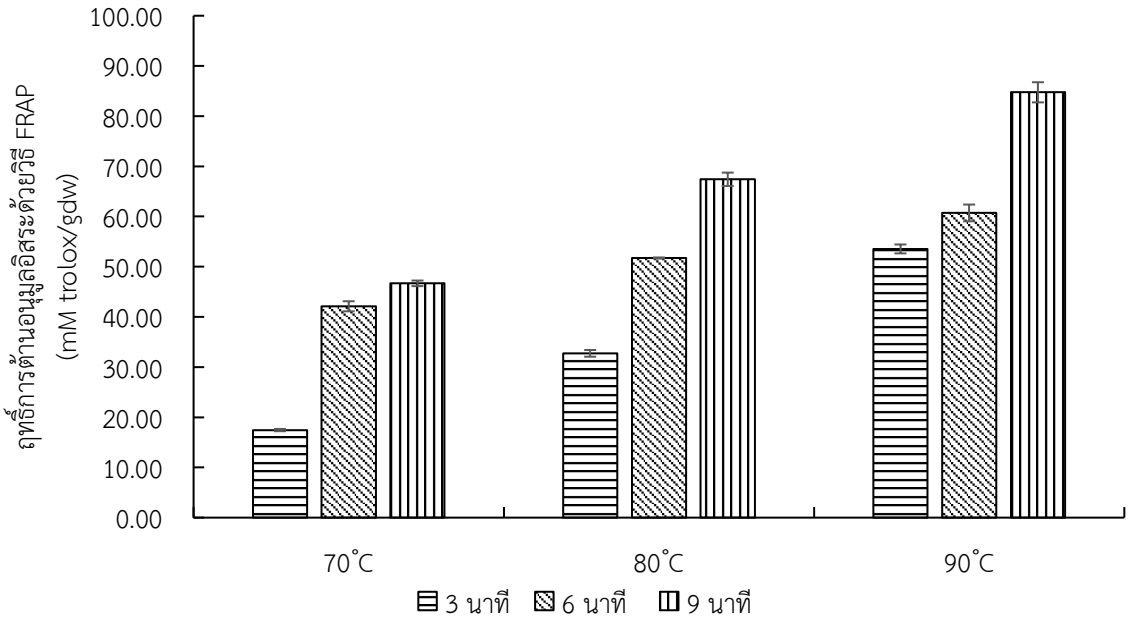


รูปที่ 20 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ได้จากการชงชาที่อุณหภูมิ 90˚C

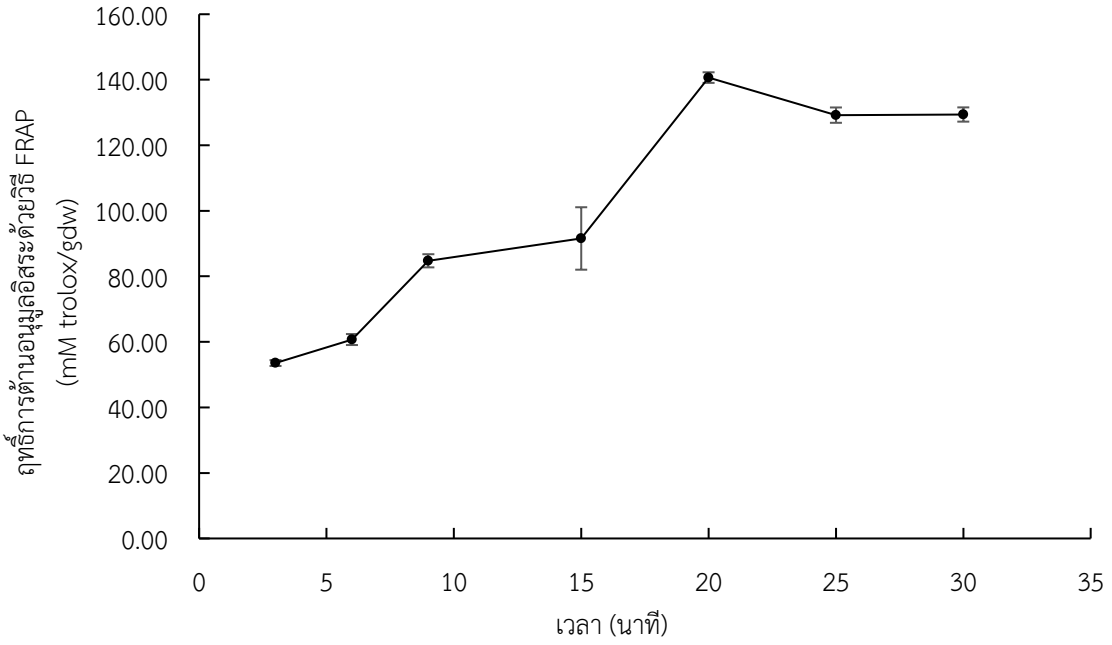
จากการวิเคราะห์ผลของการชงชาใบถั่วดาวอินคาต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (รูปที่ 21) พบว่าน้ำชาจากการชงชาที่อุณหภูมิ 70 ˚C 80 ˚C และ 90 ˚C เป็นเวลา 9 นาที มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เท่ากับ 46.68±0.56 67.41±1.34 และ 84.74±2.01 mM trolox/gdw ตามลำดับ และน้ำชาจากการชงชาเป็นเวลา 3 6 และ 9 นาที ที่อุณหภูมิ 90 ˚C มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เท่ากับ 53.54±0.89 60.71±1.67 และ 84.74±2.01 mM trolox/gdw ตามลำดับ โดยเมื่อใช้อุณหภูมิในการชงชาและเวลาในการชงชาที่นานขึ้นส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Pérez-Burillo และคณะ (2018) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการชงชาขาวต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยพบว่าการชงชาที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นและการใช้เวลาในการชงชาที่นานขึ้นส่งผลให้น้ำชามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาจากการชงชาที่อุณหภูมิ 98 ˚C ตั้งแต่เวลา 7 นาที เป็นต้นไป น้ำชาจะมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (α = 0.05) โดยฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP จากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้ในภาวะเดียวกัน

จากการศึกษาผลของการชงชาต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคา ที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ ของการชงชา พบว่าน้ำชาใบถั่วดาวอินคาจากการชงชาที่อุณหภูมิ 90 ˚C เป็นเวลา 20 นาที มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (140.67±1.62 mM trolox/gdw) และมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มเวลาการชงชาเป็น 25 นาที (129.20±2.34 mM trolox/gdw) และ 30 นาที (129.40±2.17 mM trolox/gdw) (รูปที่ 22) ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงเป็นผลมาจากการสลายตัวของสารต้านอนุมูลอิสระในระหว่างการชงชา (Lin et al., 2008)

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาผลของการชงชาเขียวแบบต่างๆ ต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยพบว่าน้ำชาจากการชงชาเขียวแบบถุงที่เวลามากขึ้นมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP มากขึ้น ซึ่งน้ำชาที่ที่ได้จากการชงชาที่อุณหภูมิเท่ากัน (80 ˚C) แต่ใช้เวลาในการชงชาต่างกัน พบว่าน้ำชาเขียวมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP สูงสุดเมื่อชงชาเป็นเวลา 5 นาที (21.65±1.85 mmol/ L Fe^{2+}) จากนั้นฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ลดลงเมื่อชงชาเป็นเวลา 10 15 และ 30 นาที (20.40±2.01 20.25±0.27 และ 20.20±0.83 mmol/ L Fe^{2+}) ตามลำดับ และพบว่าน้ำชาจากการชงชาเขียวแบบถุงที่อุณหภูมิสูงขึ้น แต่ใช้เวลาในการชงชาเท่ากัน (3 นาที) มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP มากขึ้น โดยการชงชาที่อุณหภูมิ 100 ˚C มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP สูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 15.35±0.6 mmol/ L Fe^{2+} (Komes et al., 2010)



รูปที่ 21 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคา



รูปที่ 22 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาที่ได้จากการชงชาที่อุณหภูมิ 90˚C

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ปริมาณความชื้นและค่า water activity ของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งทั้งสองวิธี (การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ) มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิทำแห้งสูงขึ้นและระยะเวลาในการทำแห้งนานขึ้น ใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 ˚C มีสีเขียวสว่าง โดยค่า L* และค่า a* มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้น ใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งทั้งสองวิธีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP ที่แตกต่างกัน โดยการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 ˚C ส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP สูงที่สุด แต่การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ˚C ส่งผลให้ใบถั่วดาวอินคามีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงสุด จากการศึกษาการชงชาที่อุณหภูมิและเวลาที่ต่างกันของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 ˚C พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นและเวลาในการชงชามากขึ้น โดยน้ำชาจากการชงชาที่อุณหภูมิ 90 ˚C เวลา 20 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาสูงสุด และการชงชาที่อุณหภูมิ 90 ˚C เวลา 15 นาที ส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของน้ำชาใบถั่วดาวอินคามีค่าสูงที่สุด

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งนี้คือควรขยายขอบเขตการศึกษาในส่วนของชาจากเมล็ดหรือผลของถั่วดาวอินคา ควรมีการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการชงชาต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาใบถั่วดาวอินคาให้สัมพันธ์กับสมบัติทางประสาทสัมผัส ควรมีการศึกษาอายุการเก็บของใบถั่วดาวอินคาเพิ่มเติม และควรให้คำแนะนำแก่เกษตรกรเกี่ยวกับการทำแห้งใบถั่วดาวอินคาเพื่อการจำหน่ายต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กมลชนก สกุลประเสริฐ. ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากใบผักหวานป่า Meliantha suavis Pierre. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.

ณัฏฐิกา ศิลาลาย. ฟลาโวนอยด์ในใบชา : หน้าที่ การใช้ประโยชน์ และการวิเคราะห์. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม 2 (มิถุนายน 2548-พฤษภาคม 2549): 1-10.

ณัฐนนท์ อยู่สถิตย์ และชญาดา กลิ่นจันทร์. การวิเคราะห์สารประกอบฟลาโวนอยด์ในใบสะระแหน่ ใบทับทิม และใบว่านแร้งคอดำเพื่อแปรรูปเป็นชาสมุนไพร. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, หน้า 322-338. 22 ธันวาคม 2559 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร, 2559.

นวลอนงค์ เสมสังข์. ปริมาณฟลาโวนอยด์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากข้าวไทย. [ออนไลน์]. 2559. แหล่งที่มา: http://www.research.cmru.ac.th/research59/ris/download.php?download_file=article&no=545 [10 เมษายน 2563]

บุหรัน พันธุ์สวรรค์. อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 21 (กรกฎาคม - กันยายน 2556): 275-286.

วุฒิชัย วิสุทธิพรต. ชา...คุณประโยชน์. วารสารหมอยาไทยวิจัย 1 (มกราคม-มิถุนายน 2558): 1-12.

สถานบันชาและกาแฟ แห่งมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. องค์ประกอบทางเคมีในใบชาสด. [ออนไลน์]. 2562. แหล่งที่มา: http://web2.mfu.ac.th/other/teainstitute/?p=295&lang=th [1 กันยายน 2562]

สมเกียรติ สุขุมพันธ์. การส่งเสริมศักยภาพการผลิตและการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากถั่วดาวอินคาเพื่อประโยชน์เชิงพาณิชย์. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา 13 (มกราคม-มิถุนายน 2562): 37-52.

อุดมวิทย์ ไวทยการ กัญญรัตน์ จำปาทอง และเถลิงศักดิ์ วีระวุฒิ. ดาวอินคา พืชมหัศจรรย์ สุดยอดโภชนาการ. [ออนไลน์]. 2562. แหล่งที่มา: http://doa.go.th/pibai/pibai/n17/v_10-nov/rai.html [3 กันยายน 2562]

ภาษาอังกฤษ

Adamczak, A., Buchwald, W., Kozłowski, J., and Mielcarek, S. The effect of thermal and freeze drying on the content of organic acids and flavonoids in fruit of European cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.). Herba Polonica 55 (2009): 94-102.

Alara, O.R., Abdurahman, N.H., Mudalip, S.K.A., and Olalere O.A. Effect of drying methods on the free radicals scavenging activity of *Vernonia amygdalina* growing in Malaysia. Journal of King Saud University 31 (2019): 495–499.

Al-Khalid, T., and El-Naas, M.H. Aerobic biodegradation of phenols: A comprehensive review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 42 (2012): 1631–1690.

Ames, B.N., Shigenaga, M.K., and Hagen, T.M. Oxidants, antioxidants, and the degenerative disease of aging. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 90 (1993): 7915-7922.

Balentine, D.A., Wiseman, S.A., and Bouwens, L.C.M. The chemistry of tea flavonoids. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 37 (1997): 693–704.

Chan, E.W.C., Lim, Y.Y., Wong, S.K., Lim, K.K., Tan, S.P., Lianto, F.S., and Yong, M.Y. Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. Food Chemistry 113 (2009): 166-172.

Chong, K.L., and Lim, Y.Y. Effects of drying on the antioxidant properties of herbal tea from selected *vitex* species. Journal of Food Quality (2011): 51-59.

Damiani, E., Bacchetti, T., Padella, L., Tiano, L., and Carloni, P. Antioxidant activity of different white teas: Comparison of hot and cold tea infusions. Journal of Food Composition and Analysis 33 (2014): 59–66.

Do, Q.D., Angkawijaya, A.E., Tran-Nguyen, P.L., Huynh, L.H., Soetaredjo, F.E., Ismadji, S., and Ju, Y.H. Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatica*. Journal of Food and Drug Analysis 22 (2014): 296-302.

Harbourne, N., Marete, E., Jacquier, J.C., and O'Riordan, D. Effect of drying methods on the phenolic constituents of meadowsweet (*Filipendula ulmaria*) and willow (*Salix alba*). Food Science and Technology 42 (2009): 1468–1473.

Heras-Ramírez, M.E., Quintero-Ramos, A., Camacho-Dávila, A.A., Barnard, J., Talamás-Abbud, R., Torres-Muñoz, J.V., and Salas-Muñoz, E. Effect of blanching and drying temperature on polyphenolic compound stability and antioxidant capacity of apple pomace. Food and Bioprocess Technology 5 (2012): 2201–2210.

Hossain, M.B., Barry-Ryan, C., Martina-Diana, A.B., and Brunton, N.P. Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs. Food Chemistry 123 (2010): 85-91.

İncedayi, B., Tamer, C.E., Sinir, G.O. Suna, S., and Çopur, O.U. Impact of different drying parameters on color, β-carotene, antioxidant activity and minerals of apricot (*Prunus armeniaca* L.). Food Science and Technology 36(1) (2016): 171-178.

Ip, R.W.L., and Wan, E.L.C. The new use of diffusion theories for the design of heat setting process in fabric drying. Advances in Modeling of Fluid Dynamics (2015): 144-170.

Klimczak, I., Malecka, M., Szlachta, M., and Gliszczynska-Swiglo, A. Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. Journal of Food Composition and Analysis 20 (2007): 313–322.

Komes, D., Horžić, D., Belščak, A., Ganić, K.K., and Vulić, I. Green tea preparation and its influence on the content of bioactive compounds. Food Research International 43 (2010): 167–176.

Labbé, D., Tremblay, A., and Bazinet, L. Effect of brewing temperature and duration on green tea catechin solubilization: Basis for production of EGC and EGCG-enriched fractions. Separation and Purification Technology 49 (2006): 1–9.

Lin, S.D., Liu, E.H., and Mau, J.L. Effect of different brewing methods on antioxidant properties of steaming green tea. Food Science and Technology 41 (2008): 1616-1623.

Lin, X., Zhang, L., Lei, H., Zhang, H., Cheng, Y., Zhu, R., and Ruan, R. Effect of drying technologies on quality of green tea. International Agricultural Engineering Journal 19 (2010): 30-37.

Maisuthisakul, P., Suttajit, M., and Pongsawatmanit, R. Assessment of phenolic content and free radical scavenging capacity of some Thai indigenous plants. Food Chemistry 100 (2007): 1409-1418.

Nascimento, A.K.L., Melo-Silveira, R.F., Dantas-Santos, N., Fernandes, J.M., Zucolotto, S.M., Rocha H.A.O., and Scortecci, K.C. Antioxidant and antiproliferative activities of leaf extracts from *Plukenetia volubilis* Linneo (Euphorbiaceae). Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine (2013): 1-10.

Orphanides, A., Goulas, V., and Gekas, V. Effect of drying method on the phenolic content and antioxidant capacity of spearmint. Czech Journal of Food Sciences 31 (2013): 509–513.

Pérez-Burillo, S., Giménez, R., Rufián-Henares, J.A., and Pastoriza, S. Effect of brewing time and temperature on antioxidant capacity and phenols of white tea: Relationship with sensory properties. Food Chemistry 248 (2018): 111–118.

Pokorny, J., Yanishlieva, N., and Gordon, M. Antioxidants in Food: Practical Applications. New York: CRC Press, 2001.

Pource, L. Routaboul, J.M. Cheynier, V., Lepiniec, L., and Debeaujon, I. Flavonoid oxidation in plants: From biochemical properties to physiological functions. Trends in Plant Science. 12 (2006): 29–36.

Pourmorad, F., Hosseiniimehr, S.J., and Shahabimajd, N. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. African Journal of Biotechnology 5(11) (2006): 1142-1145.

Prior, R.L., Wu, X., and Schaich, K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53 (2005): 4290–4302.

Roshanak S., Rahimmalek, M., and Goli, S.A.H. Evaluation of seven different drying treatments in respect to total flavonoid, phenolic, vitamin C content, chlorophyll, antioxidant activity and color of green tea (*Camellia sinensis* or *C. assamica*) leaves. Journal of Food Science and Technology 53 (2016): 721-729.

Sang, S.Y., Jamharee, F., Prasad, K.N. Azlan, A., and Maliki, N. Influence of drying treatments on antioxidant capacity of forage legume leaves. Journal of Food Science and Technology 51(5) (2014): 988–993.

Sukrasno, S., Fidriany. I., Anggadiredja, K., Handayani, W.A., and Anam, K. Influence of drying method on flavonoid content of *Cosmos caudatus* (Kunth) leaves. Research Journal of Medicinal Plants 5 (2) (2011): 189-195.

Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K., Chacana, M., Vergara, J., Martínez-Monzó, J., García-Segovia, P., Lemus-Mondaca, R., and Scala, K.D. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var.*Granny Smith*) slices. Food Chemistry 132 (2012): 51-59.

Wiseman, S.A., Balentine, D.A., and Frei, B. Antioxidants in tea. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 37 (1997): 705–718.

Wojdyło, A., Figiel., A., and Oszmianski, J. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry 57 (2009): 1337-1343.

Yang, J., Chen, J.F., Zhao, Y.Y., and Mao, L.C. Effects of drying processes on the antioxidant properties in sweet potatoes. Agricultural Sciences in China 9(10) (2010): 1522-1529.

Youssef, K.M., and Mokhtar, S.M. Effect of drying methods on the antioxidant capacity, color and phytochemicals of *Portulaca oleracea* L. leaves. Journal of Nutrition and Food Sciences 4 (2014): 1-6.

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

วิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry ดัดแปลงตามวิธี Chan และคณะ (2009)

สารเคมี

Gallic acid (Ajax Finechem, Australia)

Sodium carbonate (Na_2CO_3) (Daejung, Korea)

Folin-Ciocalteu (Merck, Germany)

Methanol (Fisher Scientific, UK)

<u>วิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน</u>

วิธีเตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต

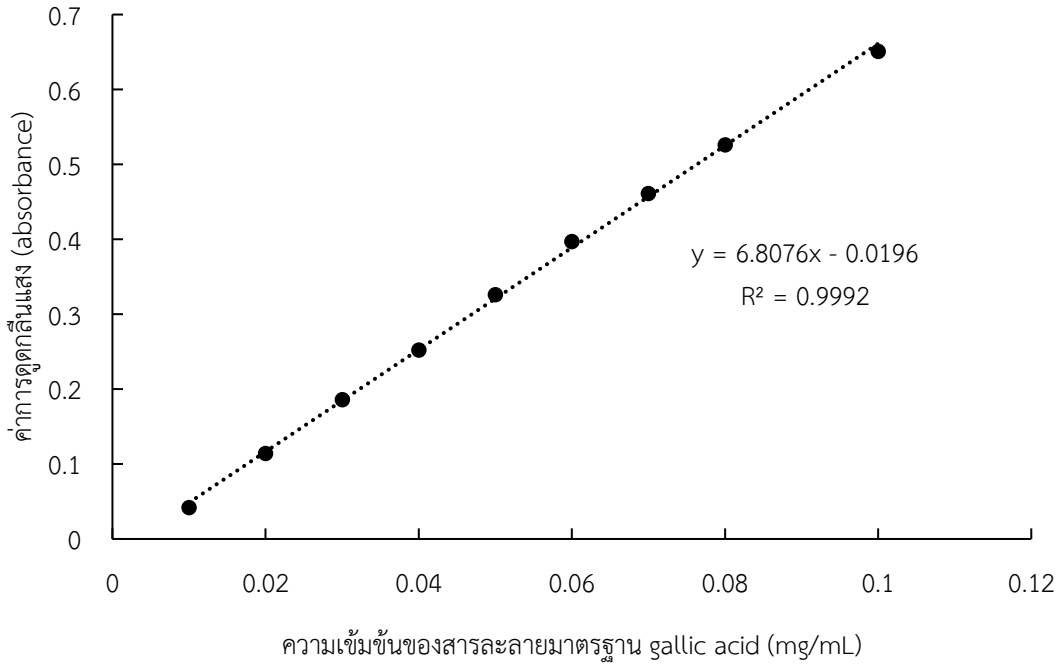
ละลายโซเดียมคาร์บอเนต 7.5 g ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรด้วย volumetric flask ขนาด 100 mL แล้วเขย่าให้เข้ากัน

วิธีเตรียมสารละลายมาตรฐาน gallic acid และการสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ชั่ง gallic acid 0.01 g ละลายในเมทานอล 100 mL
2. เจือจางโดยปิเปตสารละลายข้างต้นมา 1 2 3 4 5 6 7 และ 8 mL ลงใน volumetric flask ขนาด 10 mL แล้วเจือจางจนถึงขีดกำหนดปริมาตร
3. ได้สารละลายมาตรฐานเข้มข้น 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 และ 0.1 mg/mL
4. ปิเปตสารละลายแต่ละความเข้มข้นมา 0.25 mL ผสมน้ำกลั่น 3 mL แล้วเติม Folin-Ciocalteu reagent 0.25 mL จากนั้นเติม 7.5% Na_2CO_3 2.5 mL เขย่าให้เข้ากัน ตั้งไว้เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 nm

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. ปิเปตสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 0.3 mL ผสมกับ Folin-Ciocalteu reagent 1.5 mL
2. เติม 7.5% Na_2CO_3 1.2 mL แล้วเขย่าให้เข้ากัน ตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 nm โดยใช้ blank เป็น Folin-Ciocalteu reagent ผสมกับน้ำกลั่น แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้เทียบกับกราฟมาตรฐาน gallic acid ในช่วงความเข้มข้น 0.01-0.1 mg/mL



รูปที่ 23 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน gallic acid

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavonoid content)

วิเคราะห์ปริมาณปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดโดยดัดแปลงตามวิธีของ Pourmorad และคณะ (2006)

สารเคมี

Quercetin (Sigma-Aldrich, Germany)

Aluminium chloride ($AlCl_3$) (Ajax Finechem, New Zealand)

Potassium acetate (Brightchem, Malaysia)

Methanol (Fisher Scientific, UK)

<u>วิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน</u>

วิธีเตรียมสารละลาย quercetin

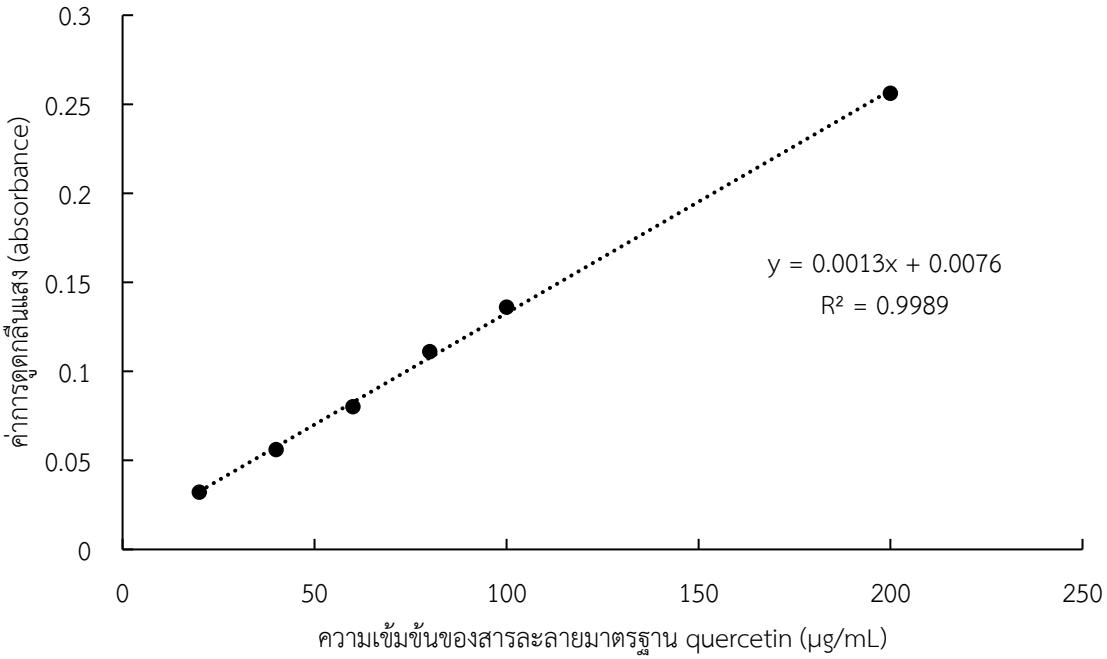
1. ชั่ง quercetin 5 mg ละลายด้วยเมทานอล แล้วปรับปริมาตรด้วย volumetric flask จนมีปริมาตรเท่ากับ 25 mL (ได้สารละลายเข้มข้น 200 µg/mL)
2. เจือจางสารละลายข้างต้นลงใน volumetric flask เพื่อให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 20 40 60 80 และ 100 µg/mL

วิธีสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลาย quercetin 0.3 mL ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมเมทานอล 1.7 mL
2. ปิเปต 10% $AlCl_3$ 0.1 mL แล้วเติม 1M potassium acetate 0.1 mL จากนั้นเติมน้ำกลั่น 2.8 mL
3. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 nm

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. ปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 0.3 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเติมเมทานอล 1.7 mL
2. ปิเปต 10% $AlCl_3$ 0.1 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วปิเปต 1M potassium acetate 0.1 mL และเติมน้ำกลั่น 2.8 mL
3. เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 nm แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐาน quercetin ในช่วงความเข้มข้น 20-120 µg/mL



รูปที่ 24 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน quercetin

ก.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH โดยดัดแปลงตามวิธีของ Maisuthisakul และคณะ (2007)

สารเคมี

2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma Aldrich, USA)

Methanol (Fisher Scientific, UK)

วิธีเตรียมสารละลาย DPPH

ชั่ง DPPH 0.0024 g ละลายด้วยเมทานอล 100 mL ใน volumetric flask ขนาด 100 mL (ความเข้มข้นของสารละลาย DPPH มีค่าเท่ากับ 60 µM)

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. ปิเปตสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 0.3 mL ผสมกับ 60 µM DPPH 2 mL ใส่หลอดทดลอง
2. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งไว้ในที่มืด 30 นาที
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm โดยใช้ blank เป็นเมทานอล และคำนวณ % inhibition โดย

$$\% \text{ inhibition} = 1 - \left(\frac{A_{sample}}{A_{control}}\right) \times 100$$

โดย Asample = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างผสม DPPH reagent

Acontrol = ค่าการดูดกลืนแสงของ methanol ผสม DPPH reagent

ก.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP

วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP โดยดัดแปลงตามวิธีของ Hossain และคณะ (2010)

สารเคมี

6-hydroxy-2, 5, 7, 8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (trolox) (Sigma Aldrich, USA)

Sodium acetate trihydrate (Ajax Finechem, Australia)

Tripyridyltriazine (TPTZ) (Merck, Germany)

Ferric chloride (POCH S.A., Poland)

Glacial acetic acid (A.R. grade, J.T. Baker Neutrasorb, USA)

0.1 M Hydrochloric acid (A.R. grade, Ajax Finechem, Australia)

Methanol (Fisher Scientific, UK)

<u>วิธีเตรียมสารละลาย FRAP reagent</u>

วิธีเตรียมสารละลาย acetate buffer pH 3.6

1. เตรียมสารละลาย acetate buffer โดยชั่ง sodium acetate 0.31 g
2. เติม acetic acid 1.6 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 mL

วิธีเตรียมสารละลาย Ferric chloride

1. เตรียม 20 mM ferric chloride โดยชั่ง ferric chloride 0.054 g
2. ผสมน้ำกลั่น 10 mL

วิธีเตรียมสารละลาย TPTZ

1. เตรียม 0.01M TPTZ โดยชั่ง TPTZ มา 0.031 g ผสมกับ 0.04M HCl 10 mL
2. ให้ความร้อนสารละลายบน hot plate ที่อุณหภูมิ 60 ˚C

วิธีเตรียม FRAP reagent

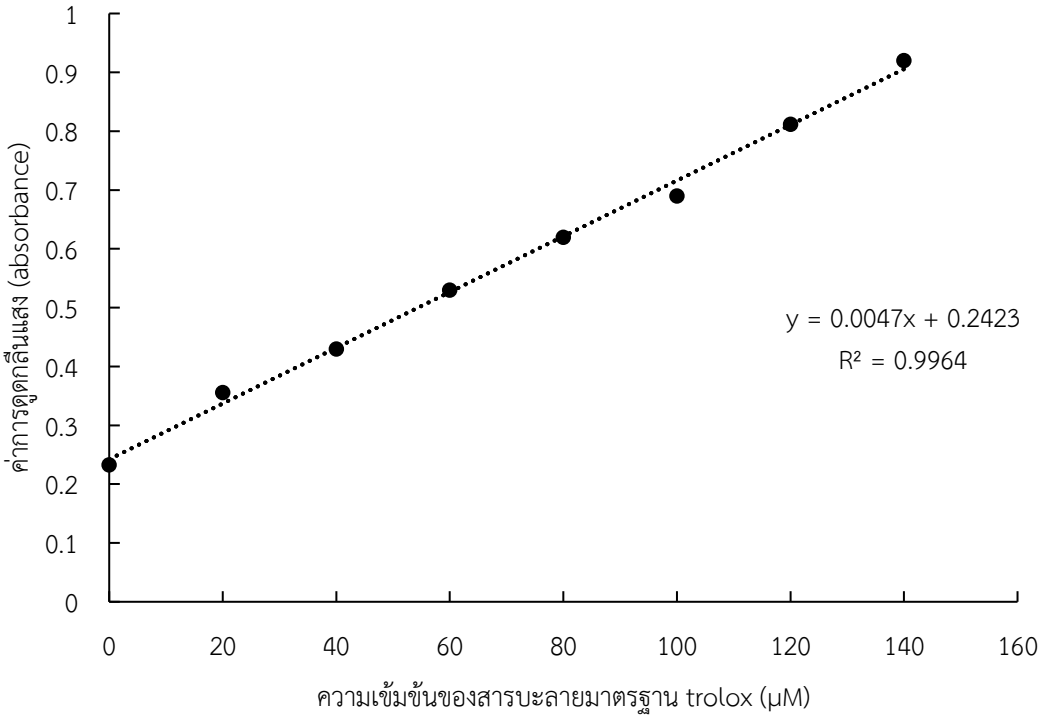
เตรียม FRAP reagent โดยผสมสารละลาย acetate buffer pH 3.6 100 mL กับ TPTZ 10 mM ปริมาตร 10 mL และ $FeCl_3$ 20 mM ปริมาตร 10 mL

<u>วิธีการเตรียมสารละลาย trolox และการสร้างกราฟมาตรฐาน</u>

1. ชั่ง trolox 0.0031 g ละลายด้วยเมทานอล แล้วปรับปริมาตรด้วย volumetric flask จนมีปริมาตร 25 mL (สารละลายเข้มข้น 500 µM)
2. เจือจางด้วย volumetric flask ให้ได้สาระลายที่มีความเข้มข้น 20 40 60 80 100 120 และ 140 µM
3. ปิเปตสารละลาย 0.27 mL ผสม FRAP reagent 4 mL ตั้งไว้ในที่มืด 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. ปิเปตสารสกัดตัวอย่างมา 0.27 mL ผสมกับ FRAP reagent 4 mL ใส่ในหลอดทดลอง
2. เติมน้ำกลั่น 5.4 mL เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งไว้ในที่มืด 30 นาที
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐาน trolox ในช่วงความเข้มข้น 0-140 µM



รูปที่ 25 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน trolox

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ข.1 ปริมาณความชื้นของใบถั่วดาวอินคา

วัดปริมาณความชื้นของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่อง Moisture Analyzer HB43-S โดยใช้อุณหภูมิ 120 ˚C ใช้ตัวอย่างประมาณ 0.5 g

ข.2 ค่า water activity ของใบถั่วดาวอินคา

วัดค่า water activity ของใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องวัดค่า water activity (Aqua lab Series 3) โดยใช้ตัวอย่างประมาณ 0.25 g

ข.3 ค่าสีของใบถั่วดาวอินคา

วัดสีของใบถั่วดาวอินคาโดยบดตัวอย่างใบอย่างละเอียดและผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปวัดค่าสี ด้วยเครื่อง chroma meter (Minolta, Model CR-300 series, Japan) ระบบ CIE LAB และบันทึกค่า L*, a* และ b* ก่อนการวัดทุกครั้งต้องมีการปรับมาตรฐานเครื่อง

โดยที่ ค่า L* แสดงถึง ค่าความสว่าง

ค่า a* แสดงถึง ความเป็นสีแดงและสีเขียว

หากค่า a* เป็นลบ แสดงถึงความเป็นสีเขียว

หากค่า a* เป็นบวก แสดงถึงความเป็นสีแดง

ค่า b* แสดงถึง ความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน

หากค่า b* เป็นลบ แสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน

หากค่า b* เป็นบวก แสดงถึงความเป็นสีเหลือง

ภาคผนวก ค

ก. ตู้อบลมร้อน 50 ˚C

ข. ตู้อบลมร้อน 60 ˚C

ค. ตู้อบลมร้อน 70 ˚C

ง. ตู้อบสุญญากาศ 50 ˚C

จ. ตู้อบสุญญากาศ 60 ˚C

ฉ. ตู้อบสุญญากาศ 70 ˚C

รูปที่ 26 ใบถั่วดาวอินคาที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธี (ก-ค) ตู้อบลมร้อน (50 ˚C - 70 ˚C) และ (ง-ฉ) ตู้อบสุญญากาศ (50 ˚C - 70 ˚C)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวนวพร ปัญญะ
ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ
วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ)
ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา 2562
โทรศัพท์ 099-783-4980
E-mail navaporn.guy@gmail.com

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวฌานิยา โสระเสาว์
ตำแหน่ง	ผู้ร่วมวิจัย
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ)
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2562
โทรศัพท์	085-795-2648
E-mail	ringing12@hotmail.co.th