



การศึกษาวิธีและสภาวะการอบแห้งสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ชาจากดอกกาแฟโรบัสต้า  
(*Coffea canephora*)

The Study of Drying Methods and Conditions for Production of Tea from Robusta  
(*Coffea canephora*) Coffee Flower

อชิชา ชูสุทธิ<sup>๔</sup>

Athicha Choosut

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Science in Food Science and Technology  
Prince of Songkla University

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การศึกษาวิธีและสภาวะการอบแห้งสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ชาจากดอกกาแฟโรบัสต้า  
(*Coffea canephora*)

The Study of Drying Methods and Conditions for Production of Tea from Robusta  
(*Coffea canephora*) Coffee Flower

อชิชา ชูสุทธิ<sup>๕</sup>

Athicha Choosut

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Science in Food Science and Technology

Prince of Songkla University

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์      การศึกษาวิธีและสภาวะการอบแห้งสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ชาจากดอกกาแฟ  
โรบัสต้า (*Coffea canephora*)

ผู้เขียน              นางสาวอริษา ชูสุทธิ

สาขาวิชา            วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

---

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก่องกาญจน์ กิจรุ่งโรจน์)	.....ประธานกรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศิริวงศ์ไพศาล)
	.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก่องกาญจน์ กิจรุ่งโรจน์)
	.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และ  
เทคโนโลยีอาหาร

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งแสง)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาของนักศึกษาเอง และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านได้ ณ ที่นี้

ลงชื่อ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก่องกาญจน์ กิจรุ่งโรจน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ .....

(นางสาวธิดา ชุสุทธิ์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....

(นางสาวธิดา ชุสุทธิ์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาวิธีและสภาวะการอบแห้งสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ชาจากดอกกาแฟ โรบัสต้า ( <i>Coffea canephora</i> )
ผู้เขียน	นางสาวอริษา ชุสุทธิ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
ปีการศึกษา	2562

### บทคัดย่อ

การศึกษาวิธีและสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมในการผลิตชาจากดอกกาแฟโดยใช้วิธีการอบแห้งแบบลมร้อน (HD) ที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 8 6 4 และ 2 ชั่วโมงตามลำดับ วิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ (IVD) ที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 50 นาที และ 55 องศาเซลเซียส นาน 40 นาที วิธีการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ (MVD) ที่ 1800 วัตต์ นาน 20 นาที และ 4800 วัตต์ นาน 10 นาที พบว่าเมื่อเปรียบเทียบในวิธีอบแห้งแบบลมร้อน ตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ความสามารถในการให้อิเล็กตรอนเมื่อทดสอบด้วยวิธี FRAP สูงที่สุด ( $P < 0.05$ ) รวมทั้งมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงที่สุด ( $P < 0.05$ ) ขณะที่ลักษณะปรากฏของดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟ สี กลิ่นรสของน้ำชา และความชอบโดยรวมของทุกตัวอย่าง จะไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) เมื่อพิจารณาวิธีอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ พบว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล ABTS และ DPPH สูงกว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ( $P < 0.05$ ) แม้ว่าจะคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟทุกคุณลักษณะไม่มีความแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) เมื่อพิจารณาตัวอย่างที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่ 1800 และ 4800 วัตต์ พบว่า ตัวอย่างที่อบแห้งที่ 4800 วัตต์เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเปรียบเทียบในวิธีการอบแห้งวิธีเดียวกัน เนื่องจากมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH และ FRAP สูงกว่าชาดอกกาแฟที่อบแห้งที่ 1800 วัตต์ ( $P < 0.05$ ) เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบของดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟพบว่าทุกคุณลักษณะของทั้งสองตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ )

เมื่อนำสภาวะต่างๆ ที่คัดเลือกในแต่ละวิธีการอบแห้ง ได้แก่ การอบแห้งแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์มาเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมและคุณสมบัติทางเคมี พบว่าน้ำชาจากดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ( $32.61 \pm 0.31$  มิลลิกรัมแกลลิก/กรัมต่อน้ำหนักแห้ง) รองลงมาคือตัวอย่างอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ( $28.45 \pm 0.12$  มิลลิกรัมแกลลิก/กรัมต่อน้ำหนักแห้ง) แบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ( $19.55 \pm 0.18$  มิลลิกรัมแกลลิก/กรัมต่อน้ำหนักแห้ง) และตัวอย่างอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์ตามลำดับ ( $8.18 \pm 0.04$  มิลลิกรัมแกลลิก/กรัมต่อน้ำหนักแห้ง) และเมื่อพิจารณากิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ พบว่าตัวอย่างที่ใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS สูงสุด ( $P < 0.05$ ) ในขณะที่ตัวอย่างที่อบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีกิจกรรม DPPH radical scavenging และ FRAP สูงสุด ( $P < 0.05$ ) สำหรับตัวอย่างที่อบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS, DPPH radical scavenging และ FRAP ต่ำสุด ( $P < 0.05$ ) เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบคุณลักษณะดอกกาแฟ พบว่าดอกกาแฟอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งและแบบอินฟราเรดสุญญากาศมีคะแนนสูงสุด เมื่อพิจารณาคคุณลักษณะน้ำชาจากดอกกาแฟ พบว่าน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศและแบบไมโครเวฟสุญญากาศมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสีมากที่สุด ( $P < 0.05$ ) ขณะที่คะแนนความชอบด้านกลิ่น กลิ่นรส และคะแนนความชอบโดยรวมของน้ำชาจากตัวอย่างที่อบแห้งแบบลมร้อน แบบอินฟราเรดสุญญากาศ และแบบไมโครเวฟสุญญากาศพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) อย่างไรก็ตามน้ำชาจากดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรสของน้ำชา และคะแนนความชอบโดยรวมน้อยที่สุด ( $P < 0.05$ ) จากผลการทดสอบด้านการยอมรับผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความตั้งใจซื้อชาสมุนไพรจากดอกกาแฟที่อบแห้งแบบลมร้อน แบบอินฟราเรดสุญญากาศ และแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ระดับ "จะซื้อผลิตภัณฑ์แน่นอน" และ "อาจจะซื้อผลิตภัณฑ์" ร้อยละ 60 58 และ 56 ตามลำดับ ขณะที่ให้คะแนนตัวอย่างทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระดับ "จะไม่ซื้อผลิตภัณฑ์แน่นอน" และ "อาจจะไม่ซื้อผลิตภัณฑ์" ร้อยละ 50

สารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่ที่พบในน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบใช้ความร้อน ได้แก่สารพอลิฟีนอลประเภทกรดฟีโนลิก ได้แก่ กรดควินิก(Quinic acid) กรด 5-คาเฟอิลควินิก (5Z-Caffeoylquinic acid) กรดคลอโรจีนิก (Chlorogenic Acid) กรด 1,3-ไดคาเฟอิลควินิก (1,3-Dicaffeoylquinic acid) และสารประเภทฟลาโวนอยด์ ได้แก่ คาทีชิน (Catechin) และรูทีน (Rutin) ขณะที่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบเพียงสารประกอบฟีนอลิกเพียงกรดควินิก (Quinic acid) กรดคลอโรจีนิก (Chlorogenic Acid) รูทีน (Rutin) และ กรด 1,3-ไดคาเฟอิลควินิก (1,3-Dicaffeoylquinic acid) นอกจากนี้ในตัวอย่างที่อบแห้งแบบลมร้อนยังพบกรดคาเฟอิก (Caffeic Acid) อีกหนึ่งชนิด

ดังนั้นเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมและคุณสมบัติทางเคมีของชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งวิธีต่างๆ ด้วยสภาวะที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว พบว่าตัวอย่างที่อบแห้งแบบอินฟราเรด สูดงูอากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นวิธีและสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตผลิตภัณฑ์ชาจากดอกกาแฟโรบัสต้า



<b>Thesis Title</b>	The study of drying methods and conditions for production of tea from Robusta ( <i>Coffea canephora</i> ) coffee flower
<b>Author</b>	Ms. Athicha Choosut
<b>Major Program</b>	Food Science and Technology
<b>Academic Year</b>	2019

### ABSTRACT

The optimal conditions for drying Robusta coffee flower using different methods and conditions (hot air drying (HD) at 50 60 70 and 80°C, drying time was 8 6 4 and 2 hours, respectively; infrared vacuum drying (IVD) at 50°C (50 min) and 55°C (40 min); microwave vacuum drying (MVD) at 1800 Watt (20 min) and 4800 Watt (10 min) were studied. When considered in both antioxidant activities and acceptability among HD samples, the sample at 80°C obtained the highest total phenolic content (TPC) and the antioxidant ability of FRAP ( $P < 0.05$ ) as well as odor acceptance scores ( $p < 0.05$ ). However, no differences in appearance of dried flower and the infusion, color flavor of the infusion and overall acceptance scores of all samples were observed ( $p > 0.05$ ). Among the IVD samples, the infusion at 50°C had higher ABTS and DPPH radical scavenging activities than that of 55°C ( $p < 0.05$ ). The acceptance scores of the dried flower and the infusion of both samples were not significantly different ( $p > 0.05$ ). Comparing among the MVD samples, The MVD sample at 4800 W obtained higher TPC, TFC, DPPH radical scavenging activity and FRAP than that at 1800 W ( $p < 0.05$ ). However, no differences in acceptance scores of all characteristic were found between both samples ( $p > 0.05$ ).

When comparing among the conditions selected in each drying method, including the HD at 80°C, the IVD at 50°C, the MVD at 4800 Watt and the Freeze dry (FD) methods, it was found that the FD has the highest TPC ( $32.61 \pm 0.31$  mg gallic / g dry weight), followed by The IVD at 50°C ( $28.45 \pm 0.12$  mg gallic / g dry weight) the HD at 80°C ( $19.55 \pm 0.18$  mg gallic / g dry weight) and the MVD at 4800 watts respectively ( $8.18 \pm 0.04$  mg gallic / g dry weight). When considering on the antioxidant activity, it was found that the HD at 80°C had the highest ABTS antioxidant activity ( $P < 0.05$ ), while the FD had the highest DPPH radical scavenging and FRAP ( $P < 0.05$ )

activities. Nevertheless the IVD sample obtained the lowest ABTS, DPPH radical scavenging and FRAP antioxidant activity ( $P < 0.05$ ). The acceptance test result showed that the FD and the IVD at 50°C had the highest appearance and color scores of the dried flowers ( $p < 0.05$ ). When considering on the infusion, the IVD at 50°C and the MVD at 4800 watts had the highest appearance and color scores ( $P < 0.05$ ). In addition, no differences in odor, flavor of infusions and overall acceptance score were observed among the HD at 80°C the IVD at 50°C and the MVD at 4800 watts samples ( $P > 0.05$ ). However, the FD obtained the lowest scores of appearance, color, odor, flavor and overall ( $P < 0.05$ ). Purchase intent scores of the HD at 80°C the IVD at 50°C and the MVD at 4800 watts were rated under criterion of "likely to buy" and "may to buy the product" with frequency of 60% 58% and 56%, respectively. While the FD were scored at "definitely not buy the product" and "may not buy the product" with frequency 50%.

The main phenolic compounds found in the samples were polyphenols, phenolic acid including quinic acid, 5Z-Caffeoylquinic acid, chlorogenic acid, 1,3-Dicaffeoylquinic acid and flavonoid substances i.e. catechin and rutin. While, those found in FD sample were quinic acid, chlorogenic acid rutin and 1,3-Dicaffeoylquinic acid. In addition, the HD sample also contained caffeic Acid.

When considered on both antioxidant activities and acceptability, the HD at 80°C and IVD at 50°C were the most suitable methods for producing tea from the Robusta coffee flower.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ก่องกาญจน์ กิจรุ่งโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำในงานวิจัย ตลอดจนดูแลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยรัตน์ ศิริวงศ์ไพศาล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลาในการตรวจทานและแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคุณก้อง และพี่ๆ ทีมงานทุกคนจากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์ กาแฟแก้วมือและท่องเที่ยวเชิงเกษตร อำเภอกระบุรี จังหวัดระนอง ที่ให้ความร่วมมือและสนับสนุน ดอกกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า (*Coffea canephora*) เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เจ้าหน้าที่จากสถาบันอาหาร และเจ้าหน้าที่จากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนวิจัยภายใต้โครงการ ทุนอุดหนุนการวิจัยภายใต้โครงการ “การสร้างนวัตกรรม วิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีทางด้านเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าอุตสาหกรรมเกษตรในเขตพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง AGR045-STP60” ปีงบประมาณ 2560 คณะอุตสาหกรรมเกษตร และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อธิชา ชูสุทธิ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(5)
Abstract.....	(8)
กิตติกรรมประกาศ.....	(10)
สารบัญ.....	(11)
รายการตาราง.....	(12)
รายการภาพประกอบ.....	(13)
บทที่	
1    บทนำ	
บทนำต้นเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร.....	2
วัตถุประสงค์.....	26
2    วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	27
สารเคมี.....	27
อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	27
วิธีการทดลอง.....	28
3    ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	33
4    สรุปผลการทดลอง.....	74
เอกสารอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก.....	87
ประวัติผู้เขียน.....	108

## รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1	การผลิตกาแฟในประเทศไทย ปี 2561-2563 (ผลพยากรณ์การผลิต ปี 2563)	5
2	ประเภทของสารประกอบฟีนอลิกในพืช	16
3	ค่าสีของดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟ และความใสของน้ำชาของดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยวิธี และสภาวะต่างๆ	37
4	ผลความชื้นของดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยวิธี และสภาวะต่างๆ	38
5	อัตราการทำแห้งของดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 1800 และ 4800 วัตต์	40
6	คุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยวิธีและสภาวะต่างๆ	44
7	คะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกาแฟอบแห้ง และน้ำชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยวิธี และสภาวะต่างๆ	48
8	ค่าสีของดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟ และความใสของน้ำชาของดอกกาแฟที่ผ่านการคัดเลือกจากการอบแห้งด้วยวิธี และสภาวะต่างๆ	50
9	ผลความชื้นของดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟที่ผ่านการคัดเลือกจากการอบแห้งด้วยวิธี และสภาวะต่างๆ	53
10	คุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ, ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของดอกกาแฟที่อบแห้งที่ผ่านการคัดเลือกจากวิธีและสภาวะต่างๆ	56
11	สารประกอบฟีนอลิกของน้ำชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งวิธีต่างๆ ด้วยสภาวะที่ผ่านการคัดเลือก	62
12	ข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค	66
13	พฤติกรรมด้านสุขภาพของผู้บริโภค	67
14	ข้อมูลพฤติกรรมการบริโภคชาสมุนไพร	68
15	ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อชาสมุนไพร	71
16	คะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกาแฟอบแห้ง และน้ำชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งที่ผ่านการคัดเลือกด้วยวิธี และสภาวะต่างๆ	72

## รายการภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
1 ดอกกาแฟอาราบิก้า ( <i>Coffea Arabica</i> L)	3
2 ดอกกาแฟโรบัสต้า ( <i>Coffea canephora</i> )	3
3 การเปลี่ยนแปลงของน้ำในอาหารระหว่างการอบแห้ง	7
4 กราฟแสดงการสูญเสียความชื้นในอาหารระหว่างอบแห้ง	8
5 การเปลี่ยนแปลงของน้ำในอาหารระหว่างการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	14
6 โครงสร้างทั่วไปของฟลาโวนอยด์	17
7 ดอกปีเป้ะ (Loquat, <i>Eriobotrya japonica</i> (Lindl.) Thunb.)	23
8 ดอกแบลค โคล์ส ( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	24
9 ดอกไต้หวัน ( <i>Eucommia ulmoides</i> Oliv.)	25
10 อัตราการทำแห้งของดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส	39
11 อัตราการทำแห้งของดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียส	39
12 ดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียสตามลำดับ	45
13 ดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียสตามลำดับ	46
14 ดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 1800 และ 4800 วัตต์ตามลำดับ	47
15 ดอกกาแฟที่อบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ (A) แบบลมร้อน (B) แบบแช่เยือกแข็ง (C) และแบบไมโครเวฟสุญญากาศ (D)	49
16 น้ำชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งแบบลมร้อน (HD) แบบแช่เยือกแข็ง (FD) แบบไมโครเวฟสุญญากาศ (MW) และแบบอินฟราเรดสุญญากาศ (IR)	49

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	LCMS ของน้ำชาจากดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (a) แบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (b) แบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์ (c) แบบแช่เยือกแข็ง (d)	61
18	ความตั้งใจซื้อชาสมุนไพรจากดอกกาแฟอบแห้งวิธีต่างๆ ด้วยสภาวะที่ผ่านการคัดเลือก	73

## บทที่ 1

### บทนำ

#### บทนำต้นเรื่อง

กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่เป็นที่เป็นที่น่าสนใจ เนื่องจากความนิยมในการบริโภคเพิ่มมากขึ้น ข้อมูลจากคณะกรรมการพัฒนาคุณภาพข้อมูลด้านการเกษตร ณ วันที่ 28 มิถุนายน 2562 ได้รายงานไว้ว่า เนื้อที่ให้ผลรวมของกาแฟทั้งประเทศเพิ่มขึ้น เนื่องจากเนื้อที่ให้ผลผลิตจากแหล่งผลิตกาแฟทางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลางเพิ่มขึ้น จากการปลูกใหม่ในปี 2559 เริ่มให้ผลได้ในปีนี้ แหล่งผลิตสำคัญ 5 อันดับแรก ได้แก่ ชุมพร ระนอง เชียงราย เชียงใหม่ จ.ลำปาง (กรมวิชาการเกษตร, 2559)

โดยทั่วไปกาแฟมีอยู่หลายสายพันธุ์แต่สายพันธุ์ที่นิยมนำมาบริโภคหรือมีผลต่อเศรษฐกิจนั้น มีอยู่สองสายพันธุ์ คือพันธุ์อาราบิก้า (*Coffea arabica* L.) และพันธุ์โรบัสต้า (*Coffea robusta*) โดยสายพันธุ์โรบัสต้ามีรสชาติกระด้างกว่า และมีสารคาเฟอีนมากกว่าพันธุ์อาราบิก้า โดยมีปริมาณร้อยละ 2 ถึง 3 (กรมวิชาการเกษตร, 2559) กาแฟจะออกดอกหลังจากผ่านความแห้งแล้งและผ่านความชุ่มชื้นจากฝนหรือจากการให้น้ำ กาแฟจะเริ่มติดดอกและออกผลหลังจากปลูกไปแล้วประมาณปีที่ 3 ผลกาแฟจะเริ่มสุกประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของต้นกาแฟและสภาพของพื้นที่ปลูก (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2559) ดอกกาแฟจะบานพร้อมกัน มีกลิ่นหอมคล้ายกลิ่นมะลิป่า และใช้เวลาในการบานต่อเนื่องกัน 8 - 12 วัน ดอกจะบานอยู่ได้ประมาณ 3 วันจึงเหี่ยว กลีบดอกและส่วนอื่นๆจะร่วง คงเหลือแต่รังไข่ที่จะกลายเป็นผล ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงมากมักมีผลทำให้ดอกกาแฟผิดปกติ โดยพบว่าเกษตรกรผู้ไม่สมบูรณ์ ทำให้ไม่สามารถติดผลได้ ลักษณะของดอกกาแฟดังกล่าว เรียกว่าดอกดาว (Star flower) (กรมวิชาการเกษตร, 2559) โดยปกติดอกกาแฟมีการติดผลเพียงร้อยละ 16-26 เท่านั้น

จากข้อมูลผลการสำรวจของสวนเศรษฐกิจรายสาขา ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจ ธุรกิจและเศรษฐกิจฐานราก ธนาคารออมสิน สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ ได้แก่ เครื่องดื่มชูกำลัง น้ำเกลือแร่ ชาพร้อมดื่ม เป็นต้น คาดว่าในปี 2562 มีอัตราการเติบโตชะลอตัวอยู่ที่ร้อยละ 0.88/ปี จากปี 2561 รวมถึงการขยายตัวของการส่งออกเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ไปยังกลุ่มประเทศ CLMV ได้แก่ กัมพูชา ลาว พม่า และเวียดนาม ซึ่งเป็นประเทศในกลุ่มอาเซียนที่มีแนวโน้มเศรษฐกิจโตต่อเนื่อง โดยมีปัจจัยที่สนับสนุนให้อุตสาหกรรมยังคงเติบโตได้ เช่น กระแสการดูแลสุขภาพ



สุขภาพของผู้คนในยุคปัจจุบันมีการหันมาเลือกบริโภคอาหารและเครื่องดื่มที่มีคุณภาพ มีความปลอดภัยและดีต่อสุขภาพ ทำให้ความต้องการบริโภคสินค้าอาหาร และเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ภายในประเทศเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อผู้ประกอบการที่อยู่ในห่วงโซ่อุปทานสินค้าอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพเติบโตตามไปด้วย โดยผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่มีแนวโน้มเติบโตและเป็นที่น่าสนใจ ได้แก่ อาหารออร์แกนิก อาหารคลีน อาหารที่ลดการปรุงแต่ง เครื่องดื่มสมุนไพรพร้อมชงพร้อมดื่ม เครื่องดื่มออร์แกนิก เป็นต้น (ส่วนเศรษฐกิจรายสาขา ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจ ธุรกิจและเศรษฐกิจฐานราก ธนาคารออมสิน, 2562)

จากแนวโน้มดังกล่าวจึงเป็นโอกาสให้แก่ผู้ประกอบการนำดอกกาแฟที่ไม่ติดผลหรือหลังติดผลแล้วมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชาดอกกาแฟ ซึ่งน่าจะมีโอกาสได้รับความนิยมจากผู้บริโภคสูง เนื่องจากชาเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมจากทั่วโลกจากน้ำดื่ม (Mukhtar and Ahmad, 2000) นอกจากนี้ดอกกาแฟยังมีกลิ่นหอมและมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งปัจจุบันผู้ประกอบการได้นำดอกกาแฟมาทำแห้งด้วยวิธีตากแสงอาทิตย์จนกระทั่งดอกกาแฟแห้ง จากนั้นจึงนำมาคั่วในกระทะโดยใช้ระยะเวลาสั้นๆ เพื่อพัฒนากลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น แต่วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลานาน (โดยเฉลี่ย 2-3 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ) มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับสารสำคัญและกิจกรรมด้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งดอกกาแฟเพื่อผลิตชาสมุนไพรจากดอกกาแฟที่มีกิจกรรมด้านอนุมูลอิสระสูงสุด และเป็นที่ยอมรับเพื่อพัฒนาคุณภาพชาจากดอกกาแฟให้มีคุณประโยชน์แก่ผู้บริโภคมากที่สุด นอกจากนี้ยังช่วยพัฒนาศักยภาพในการดำเนินธุรกิจ โดยพัฒนาวิธีการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงขึ้น เป็นการยกระดับผู้ประกอบการ เพิ่มมูลค่าแก่ดอกกาแฟและช่วยเสริมรายได้เกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ

## การตรวจเอกสาร

### 1. กาแฟ

กาแฟอยู่ในตระกูล (Family) Rubiaceae, วงศ์ (Genus) Coffea กาแฟทุกชนิดเป็น ไม้ยืนต้น ลักษณะเป็นไม้พุ่มเล็กไปกระทั่งถึงต้นใหญ่สูงถึง 10 เมตร ลักษณะของต้น ใบ ยอด และดอกมีความหลากหลายมาก ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของกาแฟ มีบางประเทศนำกาแฟพันธุ์อื่นๆ มาปลูกเพื่อการบริโภคตามท้องถิ่นหรือนำมาเพื่อการผสมพันธุ์ เพื่อการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่ดีบางอย่างมาสู่พันธุ์ที่ปลูกทางการค้า พันธุ์กาแฟที่สำคัญมีดังต่อไปนี้ (กรมวิชาการเกษตร, 2559)

ก. กาแฟอาราบิก้า มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea Arabica* L. มีโครโมโซมเป็น เตตราพลอยด์ (Tetraploid)  $2n = 44$  มีดอกสมบูรณ์เพศผสมตัวเองได้ จึงมีหลายสายพันธุ์

ข. กาแฟโรบัสต้า มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea canephora* มีชื่อพ้องมากมาย เช่น *C. Robusta*, *C. laurentii De wild*, *C. ugandae Cramer*, *C. kouilouensis Pierre ex Dewild* เป็นต้น กาแฟโรบัสต้า มีโครโมโซม  $2n = 22$  ดอกไม่สามารถผสมตัวเองได้ (Self-pollination) ต้องผสมข้ามต้น (Cross pollination) ซึ่งจะต้องอาศัย ลม และแมลงช่วยผสมพันธุ์ ด้วยเหตุนี้ดอกของกาแฟโรบัสต้า จึงมีกลิ่นหอมมากเพื่อล่อแมลง เนื่องจากต้นกาแฟทุกต้นเป็นพันธุ์ทาง (Heterozygous) สูงมาก จึงเป็นเรื่องยากที่จะจำแนกพันธุ์โรบัสต้าได้อย่างถูกต้อง

### 1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟ

#### ดอก

ดอกกาแฟเป็นดอกเดี่ยว มีสีขาว มีกลีบดอก 5 กลีบ และกลีบใบ 5 กลีบ มีเกสร 5 อัน รังไข่ 2 ห้อง แต่ละห้องมีไข่ 1 ใบ ดอกจะออกเป็นกลุ่มที่โคนใบทั้ง 2 ข้างของข้อบน กิ่งนอนที่ 1 กลุ่มดอกแต่ละข้ออาจมีดอก 2-20 ดอก ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของต้น กิ่งนอนที่ 2 หรือกิ่งนอนที่ 3 จะออกดอกเหมือนกิ่งนอนที่ 1 ดังภาพที่ 1 (องค์การสวนพฤกษศาสตร์, 2554) และ 2 (ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง, 2562)



ภาพที่ 1 ดอกกาแฟอาราบิก้า (*Coffea Arabica L.*)

ที่มา: องค์การสวนพฤกษศาสตร์ (2554)



ภาพที่ 2 ดอกกาแฟโรบัสต้า (*Coffea canephora*)

ที่มา: ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง (2562)

## 1.2 แหล่งเพาะปลูก และปริมาณผลผลิต

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2561) รายงานว่า ทั้งโลกผลิตกาแฟได้ 8.9 ล้านตัน มีประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ ดังนี้ บราซิล เวียดนาม อินโดนีเซีย โคลัมเบีย อินเดีย เม็กซิโก เปรู และไทย ปริมาณที่ผลิตได้ 2.96, 1.46, 0.69, 0.65, 0.31, 0.27, 0.25 และ 0.03 ล้านตัน

การผลิตกาแฟมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับความต้องการบริโภคกาแฟที่เพิ่มขึ้นทุกปี จาก 151 ล้านกระสอบ (ปี 2558) เป็น 161 ล้านกระสอบ (ปี 2561) ในปี 2562 คาดว่าผลผลิตกาแฟโลกยังเพิ่มขึ้นต่อเนื่องอยู่ที่ 171 ล้านกระสอบ (กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2562)

สำหรับสถานการณ์การผลิตกาแฟในประเทศไทย เนื้อที่ให้ผลรวมทั้งประเทศเพิ่มขึ้น เนื่องจากแหล่งผลิตกาแฟทางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง เนื้อที่ให้ผลเพิ่มขึ้นจากการปลูกใหม่ในปี 2559 เริ่มให้ผลได้ในปีนี้ อย่างไรก็ตามปีนี้คาดว่าผลผลิตต่อไร่ลดลง เนื่องจากปีนี้ทุกภาคของประเทศไทยประสบปัญหาสภาพอากาศร้อนจัดและแล้งยาวนาน ตั้งแต่ต้นปี 2562 ปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอ ทำให้ต้นกาแฟไม่สมบูรณ์การออกดอกน้อย ส่วนที่ออกดอกแล้ว ดอกแห้งไม่ติดผล ส่วนที่ติดผลแล้วผลมีขนาดเล็ก และแห้งฝ่อ ส่งผลให้ภาพรวมผลผลิตทั้งประเทศลดลง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การผลิตกาแฟในประเทศไทย ปี 2561-2563 (ผลพยากรณ์การผลิต ปี 2563)

ประเทศ / ภาค	เนื้อที่ให้ผล (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)			ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)		
	Harvested area (rais)	Production (tons)	Yield per rai (kg)	Harvested area (rais)	Production (tons)	Yield per rai (kg)	Harvested area (rais)	Production (tons)	Yield per rai (kg)
ปี	2561	2562	2563	2561	2562	2563	2561	2562	2563
รวมทั้งประเทศ	257,761	257,628	261,855	23,617	26,364	23,824	92	102	91
ภาคเหนือ	78,685	80,385	84,643	10,053	8,364	8,312	128	104	98
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	1,518	1,846	1,878	93	123	118	61	67	63
ภาคกลาง	1,600	1,679	1,716	144	168	167	90	100	97
ภาคใต้	175,958	173,718	173,618	13,327	17,709	15,227	76	102	88

ที่มา: คณะกรรมการพัฒนาข้อมูลคุณภาพด้านการเกษตร (2562)

## 2. ชาสมุนไพร

ชาสมุนไพร หมายถึง การนำส่วนต่างๆ ของพืชชนิดอื่นที่ไม่มีการแปรสภาพมาทำให้แห้ง ซึ่ง “ชาสมุนไพร” ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 280) พ.ศ.2547 กำหนดคุณลักษณะ ดังภาคผนวก ก.

## 3. การกำจัดน้ำ (Dehydration) หรือการทำแห้ง (Drying)

การกำจัดน้ำหรือการทำแห้ง เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างมากในการแปรรูปอาหาร โดยทั่วไปหมายถึงการใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุม เพื่อให้มีน้ำที่มีอยู่ในอาหาร กลายเป็นไอ และเกิดความร้อนแฝงจากการกลายเป็นไอ เพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ออกไปจากอาหารโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีน้ำที่มีอยู่ในอาหารมีปริมาณที่ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ โดยการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ซึ่งมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และลดการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนี้ยังช่วยให้สะดวกในการขนส่ง ยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มความหลากหลายแก่ผู้บริโภค (Goula, 2016)

ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมกระบวนการอบแห้ง ได้แก่ การถ่ายเทความร้อน สำหรับความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ และการเคลื่อนที่ของน้ำและไอน้ำผ่านอาหาร ซึ่งมีผลในการแยกน้ำออกจากอาหาร (Goula, 2016)

คุณสมบัติทางเคมีทางกายภาพ และเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำที่ยึดเกาะในอาหาร มีน้ำอยู่ 3 ประเภท (วิลโลว์ รังสาตทอง, 2543) คือ

ก. โมเลกุลน้ำที่ยึดกับอณูโมเลกุลได้แก่ กลุ่มคาร์บอกซิล และอะมิโน

ข. โมเลกุลน้ำที่ยึดกับกลุ่มไฮดรอกซิลและอะไมด์ (Amide) ด้วยพันธะไฮโดรเจน

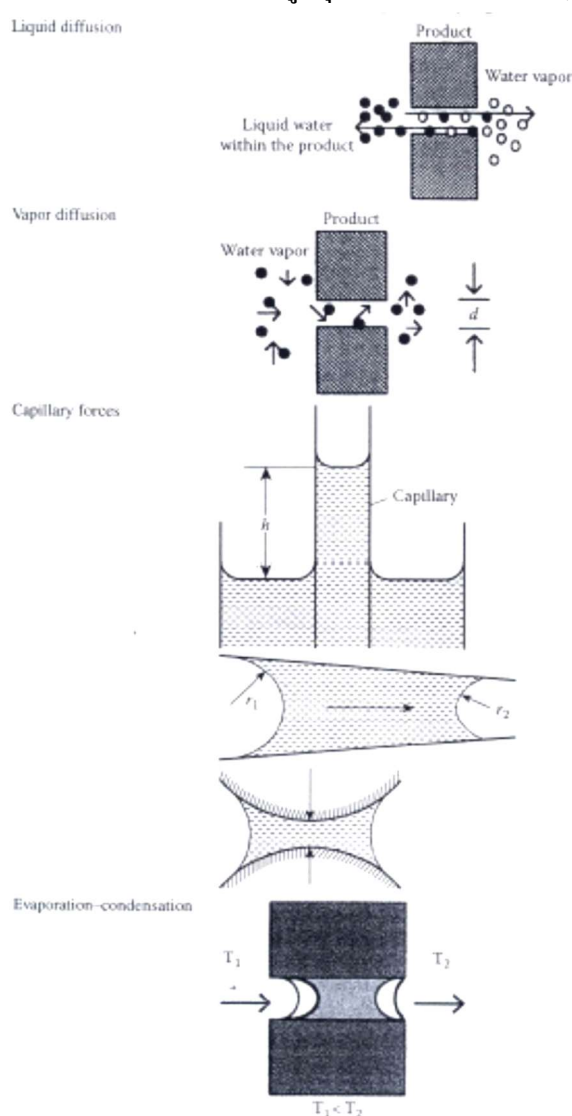
ค. น้ำอิสระที่พบในช่องว่างอินเตอร์สทิเชียล (Interstitial pores) ซึ่งแรงคาพิลลารีและองค์ประกอบที่ละลายอยู่ ทำให้ความดันไอลดลง

ระหว่างกระบวนการอบแห้งนั้น ระดับความยากง่ายของการกำจัดน้ำออกไปจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับว่าน้ำนั้นเป็นชนิดใด ซึ่งน้ำอิสระจะระเหยและถูกกำจัดออกไปในช่วงแรกของการอบแห้ง จากนั้นจะเป็นโมเลกุลน้ำที่ยึดด้วยพันธะไฮโดรเจน และสุดท้ายจะเป็นน้ำที่ยึดด้วยพันธะอณูโมเลกุลพลังงานที่ใช้ในการกำจัดความชื้นจากน้ำแต่ละชนิดอาจจะใช้ปริมาณพลังงานที่แตกต่างกันในการกำจัดออกไปขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์และชนิดของน้ำ (วิลโลว์ รังสาตทอง, 2543)

### 3.1 กลไกการทำแห้ง

ความชื้นในอาหารแห้งสามารถเคลื่อนที่จากทั้งเฟสของของเหลวและแก๊ส การเคลื่อนที่ของน้ำภายในของแข็งสามารถอธิบายความแตกต่างของกลไกการแพร่เหมือนกับการแพร่ของของเหลว เนื่องจากความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ การแพร่ผ่านของความดันไอและการเคลื่อนที่ของ

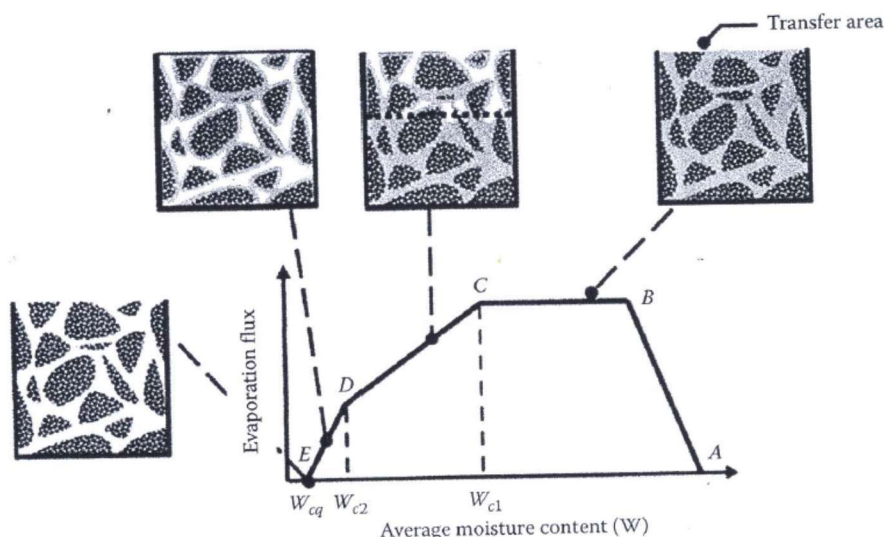
น้ำจากแรงคาปิลลารี (Capillary force) การเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างการทำแห้งดังแสดงในภาพที่ 3 การแพร่ของน้ำ (Liquid diffusion) คือ การที่น้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นไอน้ำ โดยน้ำเกิดการเคลื่อนที่ออกจากพื้นผิวและเกิดการระเหย จากนั้นเกิดการแพร่ของไอน้ำ (Vapor diffusion) โดยมีเปลี่ยนแปลงความดันไอน้ำภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาด จำนวนรูพรุน ความคดเคี้ยว (Tortuosity) และรูปร่างของผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นน้ำเกิดการเคลื่อนที่โดยแรงคาปิลลารี (Capillary force) โดยเคลื่อนผ่านทางช่องเล็กๆ บริเวณเหนือพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ จากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลระหว่างของเหลวและของแข็ง โดยอัตราการควบแน่นเท่ากับอัตราการระเหยของน้ำบริเวณพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ และไม่มีการสะสมของน้ำในรูพรุนใกล้พื้นผิว (Goula, 2016)



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของน้ำในอาหารระหว่างการอบแห้ง  
ที่มา: Goula (2016)

### 3.2 อัตราการทำให้แห้ง

อัตราการทำให้แห้ง คือ อัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อพื้นที่ที่เกิดการระเหยต่อหน่วยเวลา ในระหว่างการทำให้แห้ง ซึ่งเส้นโค้งของการอบแห้ง (Drying curve) ได้จากข้อมูลของน้ำหนักของตัวอย่างขณะทำให้แห้ง และความสัมพันธ์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปกับความชื้น โดยปกติความชื้นอธิบายเป็นกิโลกรัมหรือปอนด์ของน้ำ ต่อกิโลกรัมหรือปอนด์ของตัวอย่างแห้ง ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างการสูญเสียความชื้นระหว่างการทำให้แห้ง ดังนี้ จากจุด B แสดงถึงจุดสมดุลของอุณหภูมิของพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ โดยช่วง BC คือช่วงอัตราการทำให้แห้งคงที่ (Constant rate period) เป็นจุดที่น้ำอิสระถูกกำจัดออกจากผลิตภัณฑ์ ในช่วงนี้พื้นผิวของผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเปียกชื้น อุณหภูมิบริเวณพื้นผิวจะเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb temperature) โดยการควบคุมอัตราการอบแห้งเป็นการแพร่ของไอน้ำผ่านพื้นผิวระหว่างอากาศและความชื้น ในช่วงสิ้นสุดของระยะอัตราการทำให้แห้งคงที่ ความชื้นมีการเคลื่อนที่จากภายในของแข็งสู่พื้นผิวโดยแรงคาปิลลารีและอัตราการอบแห้งยังอยู่ในระดับคงที่ เมื่อความชื้นเริ่มเข้าสู่จุดความชื้นวิกฤต การระเหยของความชื้นบริเวณพื้นผิวจะลดลง ทำให้เกิดพื้นผิวแห้ง (จุด D) ช่วงต่อมาคืออัตราการอบแห้งลดลง น้ำบริเวณพื้นผิวจะระเหยไปหมดจนกระทั่งเข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงช่วงที่สอง (จุด DE) ความชื้นในผลิตภัณฑ์จะเคลื่อนที่ผ่านของแข็งทำให้เกิดการเค้นตัวของความเข้มข้นระหว่างส่วนที่อยู่ลึกภายในและส่วนพื้นผิว ในช่วงนี้ น้ำที่ถูกตรึงไว้จะถูกกำจัด และปริมาณความชื้นจะลดลง ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงจะเกิดอย่างรวดเร็วกว่าช่วงเริ่มต้นและเกิดต่อเนื่องจนกระทั่งความชื้นของลดลงถึงจุดสมดุล ซึ่งความชื้นอากาศสูงกว่าผลิตภัณฑ์ จากนั้นการอบแห้งจะสิ้นสุดลง (Goula, 2016)



ภาพที่ 4 กราฟแสดงการสูญเสียความชื้นในอาหารระหว่างการอบแห้ง  
ที่มา: Goula (2016)

### 3.3 ประเภทและเครื่องมือที่ใช้ในการทำแห้ง

#### 3.3.1 การทำแห้งโดยใช้ลมร้อน (Hot air drying)

การทำแห้งด้วยลมร้อน จะอาศัยลมร้อนจากแหล่งความร้อนเป่าผ่านลงบนผิวอาหารที่เปียกชื้น เมื่ออาหารหรือลมร้อนพัดผ่านหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ใอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันที่ไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำ อาหารชั้นในด้านในจะมีความดันไอสุงและค่อยๆ ลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่ไอน้ำออกจากอาหาร โดยทั่วไปจะใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด หรือแบบตู้ในการอบแห้งอาหารที่เป็นชิ้นๆ โดยจะนำวัตถุดิบวางไว้ในถาด ตะแกรง หรือแผ่นที่มีรูพรุน แล้วเป่าลมร้อนขนานไปกับผิวหน้าวัตถุดิบ หรือเป่าตั้งฉากกับถาดที่ข้อมให้ลมผ่านได้ ลมร้อนจะผ่านเข้าไปในชั้นวัตถุดิบทำให้เกิดการระเหยความชื้นออกจากอาหาร วิธีนี้จะใช้ลมร้อนที่มีความเร็วไม่สูงนัก ดังนั้นวัตถุดิบจึงยังอยู่หนึ่ง ไม่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนหรือการกระแทกใดๆ จึงไม่เกิดความเสียหายจากการแตกหัก (Goula, 2016)

การใช้ความร้อนในการทำแห้งอาหารจะส่งผลต่อคุณภาพอาหารในหลายด้าน เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น และรสชาติ สี คุณค่าทางโภชนาการ เป็นต้น ซึ่งสามารถปรับปรุงให้คุณภาพของอาหารดีขึ้นได้ โดยการแปรรูปเบื้องต้น เช่น การลวกผัก หรือผลไม้ก่อนการนำไปทำแห้ง การปอกเปลือกหรือหั่นสามารถส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสเช่นกัน การทำแห้งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสมากกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ อีกทั้งในระหว่างการทำแห้ง ความร้อนจะทำให้สารให้กลิ่นของอาหารระเหยออกไปด้วย ดังนั้นการเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถลดการสูญเสียสารให้กลิ่น นอกจากนี้การทำแห้งยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีผิวอาหารและเปลี่ยนการสะท้อนของสี การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนและมีการออกซิเดชันระหว่างการทำแห้ง โดยการใช้เวลานานและอุณหภูมิในการทำแห้งส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้ง่าย และอาจเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษา หากยังคงมีกิจกรรมของเอนไซม์อยู่ซึ่งสามารถป้องกันโดยการลวกวัตถุดิบก่อนนำมาทำแห้ง (นิธิยา รัตนานพนธ์, 2544)



ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งแบบใช้ลมร้อน (สุคนธ์ชื่น ศรีงาม, 2540)

ก. ธรรมชาติของอาหาร

อาหารที่มีรูพรุน เนื้อโปร่ง จะส่งผลให้มีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบ (Capillary force) เร็วกว่าการแพร่ในอาหารที่มีลักษณะเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารที่มีเนื้อโปร่งจึงแห้งได้เร็วกว่าอาหารที่มีเนื้อแน่น รวมทั้งอาหารที่มีการลวก นวดคลึงทำให้เซลล์แตกจึงแห้งได้เร็วกว่า

ข. ขนาดและรูปร่าง

เป็นสมบัติทางกายภาพของอาหารที่มีผลต่อการทำแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก จะมีอัตราการทำแห้งที่เร็วขึ้น หากอาหารมีความหนามากอัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่มีความหนาน้อยกว่า เนื่องจากอัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

ค. ตำแหน่งของอาหาร

อาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่าหรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำจะสามารถระเหยได้ดีกว่า

ง. ปริมาณอาหารต่อถาด

อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากๆจะมีอัตราการอบแห้งที่ช้า เนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึง จึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราการอบแห้งช้าลง

จ. ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน

อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อย ซึ่งจะมีผลในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่

ฉ. อุณหภูมิของอากาศร้อน

ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ จึงมีผลต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อการอบในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงด้วย

ช. ความเร็วของลมร้อน

ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไป ดังนั้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น การเคลื่อนย้ายจึงดีขึ้น การเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตร/นาที นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตา อากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

### 3.3.2 การทำแห้งโดยวิธีไมโครเวฟ (Microwave drying)

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงชนิดหนึ่งที่สายตาไม่สามารถมองเห็นได้ มีความถี่อยู่ระหว่างคลื่นวิทยุและคลื่นอินฟราเรด โดยคลื่นไมโครเวฟมีความถี่คลื่นสูงสุดประมาณ 2,450 ล้านรอบ/วินาที ในทางอุตสาหกรรมจะใช้ความถี่ในช่วง 915 – 2,450 เมกกะเฮิรตซ์ (MHz) ความยาวคลื่นไมโครเวฟในช่วง 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร มีความถี่ของช่วงคลื่นในช่วง 300 เมกกะเฮิรตซ์ (MHz) ถึง 300 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) คลื่นไมโครเวฟสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในวัสดุ และทำให้วัสดุซึ่งมีองค์ประกอบเป็นน้ำอยู่ร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งภายในและที่ผิวพร้อมๆ กัน (สุคนธ์ชื่น ศรีงาม, 2540)

สมบัติของคลื่นไมโครเวฟ (Regier and Schubert, 2005) มีดังนี้

ก. การสะท้อนของคลื่น (Reflection) คลื่นไมโครเวฟเมื่อส่งไปสู่วัสดุโลหะจะเกิดการสะท้อนกลับ คลื่นไม่สามารถทะลุผ่านโลหะไปได้ ดังนั้นจึงส่งผลให้ไม่เกิดความร้อนในวัสดุที่ถูกห่อหุ้มด้วยโลหะ

ข. การทะลุผ่านของคลื่น (Penetration or Transparant) คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านวัสดุบางชนิด เช่น แก้ว เป็นต้น

ค. การดูดกลืนของคลื่น (Absorption) คลื่นไมโครเวฟสามารถถูกดูดกลืนได้โดยอาหาร น้ำ หรือวัตถุที่มีส่วนประกอบของน้ำอยู่ ซึ่งจะส่งผลทำให้กำลังงานของคลื่นไมโครเวฟลดลงไป และจะเปลี่ยนสภาพจากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในวัสดุนั้น

กลไกการเกิดความร้อนด้วยไมโครเวฟ (Zhang *et al.*, 2006) มี 2 รูปแบบดังนี้

ก. ไอออนิก โพลาร์ไรเซชัน (Ionic Polarization)

เป็นการเกิดความร้อนที่เป็นผลมาจากผลของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในสารละลาย เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้าแต่ละโมเลกุลซึ่งมีประจุไฟฟ้าประจำตัว จะถูกกระตุ้นและเร่งให้มีการเคลื่อนที่ จึงทำให้เกิดการเสียดสีกับโมเลกุลอื่นๆ เกิดการเปลี่ยนพลังงานจลน์ให้กลายเป็นพลังงานความร้อน จากนั้นเกิดการกระจายความร้อนไปสู่ส่วนอื่นๆ ต่อไป การเกิดความร้อนแบบนี้จะเกิดขึ้นภายในเซลล์แล้วค่อยแพร่มายังบริเวณด้านนอก

ข. ไดโพล โรเทชัน (Dipole Rotation)

เป็นการเกิดความร้อนกับวัสดุที่มีสารประกอบมีขั้วเป็นองค์ประกอบ เช่น น้ำ โดยธรรมชาติที่น้ำที่อยู่ในวัสดุจะเรียงตัวประจุบวกและลบบนโมเลกุลอย่างไม่มีระเบียบ แต่เมื่อโมเลกุลเหล่านั้นถูกกระทบกับคลื่นไมโครเวฟ ประจุจะเกิดการเคลื่อนที่และ

จัดเรียงมีระเบียบขึ้น หากมีการสลับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ประจุเหล่านั้นก็จะเคลื่อนที่กลับทิศตามการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นกัน และเกิดการวิ่งสลับเป็นหลายล้านครั้ง/วินาที จนส่งผลทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นมาภายในอาหาร

คลื่นไมโครเวฟเมื่อมากระทบกับวัสดุที่มีน้ำหรือความชื้นภายใน บางส่วนจะถูกโมเลกุลของน้ำในอาหารดูดซับเอาไว้ ทั้งนี้ขึ้นกับคุณสมบัติของอาหารชนิดนั้น เมื่ออาหารได้รับคลื่นไมโครเวฟ จะทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัววนไปมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเกิดขึ้นประมาณ 915-2,450 ล้านครั้งต่อ 1 วินาที จากอัตราการหมุนตัวนี้ส่งผลทำให้เกิดการเคลื่อนที่และการเสียดสีระหว่างโมเลกุล จนเกิดเป็นพลังงานจลน์และค่อยๆ เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน อาหารจึงร้อนทั่วทั้งชิ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นอัตราการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจึงมีความสำคัญต่อปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งความแตกต่างของความร้อนที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ เรียกว่าความหลวม (Lossy) ค่าความหลวมจะแปรผันกับความถี่ อุณหภูมิ และชนิดของวัสดุ หากวัสดุมีความหลวมมากแสดงว่าวัสดุนั้นสามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้มากซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัสดุและปริมาณน้ำที่มีในวัสดุ ความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นภายในแล้วค่อยแพร่ความร้อนออกมาอย่างต่อเนื่องสู่ภายนอก ดังนั้นการใช้ไมโครเวฟในการทำแห้ง ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลเร็วขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจึงสั้นลง และไม่ทำให้ผิวหนังร้อนเกินไป (Cheng *et al.*, 2006) นอกจากนี้การอบแห้งในสภาวะสุญญากาศจะทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยของน้ำในอาหารต่ำกว่าปกติ เนื่องจากการลดระดับความดันอยู่ในระดับสุญญากาศนั้นจะส่งผลให้อุณหภูมิการระเหยลดลงด้วยเช่นกัน (Opoku *et al.*, 2007) เนื่องจากไมโครเวฟจะสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนในขณะที่แทรกเข้าไปในวัสดุ ยิ่งอาหารชนิดใดมีค่าปัจจัยการสูญเสีย (Loss factor) สูง ก็จะทำให้ความร้อนสูง แต่ขณะเดียวกันพลังงานในการเจาะทะลุเข้าไปในชิ้นอาหารก็จะยิ่งลดลง จึงทำให้ทะลุผ่านเข้าไปได้ระยะสั้นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าคลื่นความถี่ไมโครเวฟที่ใช้จะมีผลต่อระดับความลึกที่คลื่นผ่านขึ้นอาหาร โดยทั่วไปค่าความถี่ 915 เมกกะเฮิร์ตซ์ จะทะลุผ่านเข้าไปในชิ้นอาหารและสามารถให้ค่าความร้อนได้ลึกกว่าค่าความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ตซ์ 3 เท่า (Kumar and Karim, 2019) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งด้วยไมโครเวฟมีความสำคัญต่อการออกแบบหรือเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะอาหาร เช่น ถ้าชิ้นอาหารที่จะแปรรูปด้วยไมโครเวฟมีความหนาสมควรจะเลือกคลื่นไมโครเวฟที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามการอบแห้งที่มีอัตราการถ่ายเทมวลที่เร็วเกินไป บางครั้งอาจเกิดผลเสียต่อเนื้อสัมผัสได้ในบางกรณี นอกจากนี้การใช้ไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้มักพบรอยไหม้ในบางตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทั้งนี้คลื่นไมโครเวฟหลังถูกดูดซับจะสลายตัวทันที ไม่มีการตกค้างในอาหาร (Zhang *et al.*, 2006)

### 3.3.3 การทำแห้งแบบรังสีอินฟราเรด (Infrared drying)

รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation, IR) เป็นพลังงานในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแยกตามความยาวของคลื่นได้ 3 ระดับ คือรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น (Near-infrared radiation, NIR) มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.78-1.4 ไมโครเมตร รังสีอินฟราเรดคลื่นกลาง (Mid-infrared radiation, MIR) มีความยาวคลื่นระหว่าง 1.4-3.0 ไมโครเมตร และรังสีอินฟราเรด คลื่นยาว (Far-infrared radiation, FIR) มีความยาวคลื่นระหว่าง 3-1000 ไมโครเมตร (Sasaori, 1988)

กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอาหาร มักใช้เทคนิคการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาว ในรูปของตัวทำความร้อน (Sakai and Mao, 2006) โดยมีความยาวคลื่นระหว่าง 2.5-30 ไมโครเมตร (Shimizu and Igarashi, 1991) ตัวทำความร้อนที่อาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาว (FIR) มักจะทำด้วยลวดนิโครม (Nichrome) และหุ้มด้วยเซรามิกส์ (Ceramics) ซึ่งมีความถี่ระหว่าง 600-950 เคลวิน ความยาวคลื่นของพลังงานที่แผ่รังสีสูงสุดระหว่าง 3-5 ไมโครเมตร ในขณะที่ตัวทำความร้อนที่อาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น (NIR) เช่น หลอดไฟฟ้าที่ทำด้วยขดลวดทังสเตน (Tungsten) ซึ่งมีความถี่ระหว่าง 2400-2500 เคลวิน ความยาวคลื่นของพลังงานที่แผ่รังสีสูงสุด ระหว่าง 1.1-1.3 ไมโครเมตร มากกว่าตัวทำความร้อนอินฟราเรดคลื่นสั้น อาหารได้รับความร้อนโดยการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านทางอากาศและถูกดูดกลืนในอาหาร การแผ่รังสีเป็นการถ่ายเทพลังงานโดยไม่ต้องอาศัยสารตัวกลาง ซึ่งมีความเร็วสูงสุดเท่ากับความเร็วแสง และเกิดได้ในสุญญากาศ การถ่ายเทพลังงานความร้อนนั้นเกิดจากรังสีที่ปลดปล่อยจากวัตถุต่างๆ เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของตัวเองและอุณหภูมิที่ล้อมรอบ (Cengel, 2006) เนื่องจากอาหารจะดูดกลืนพลังงานที่แผ่รังสีได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า (Sasaori, 1988) รังสีอินฟราเรดสามารถทะลุผ่านอาหารแต่ละชนิดด้วย ระยะความลึกประมาณ 1-18 มิลลิเมตร โดยพลังงานที่ส่งผ่านเข้าไปในอาหารจะถูกลดทอนตามระยะความลึกของการทะลุผ่าน (วัชรินทร์ ดงบัง, 2556)

ดังนั้นคุณลักษณะที่สำคัญของการให้ความร้อนจากรังสีอินฟราเรด คือ การถ่ายความร้อนสู่อาหารอย่างมีประสิทธิภาพ จึงสามารถช่วยลดเวลาของกระบวนการและค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ทั้งนี้อากาศภายในอุปกรณ์ไม่ได้ถูกทำให้ร้อน ดังนั้นอุณหภูมิอากาศโดยรอบจึงสามารถคงที่อยู่ในระดับปกติ (Sakai and Mao, 2006) นอกจากนี้การนำรังสีอินฟราเรดมาเป็นแหล่งให้ความร้อนในการอบแห้งร่วมกับสุญญากาศ ส่งผลให้ผิวภายนอกของวัสดุอบแห้งไม่เหี่ยวแห้ง และยังคงสมบัติของผลิตภัณฑ์ไว้ใกล้เคียงกับวัตถุดิบที่นำมาอบแห้ง (สิงหนาท พวงจันทร์แดง, 2554)

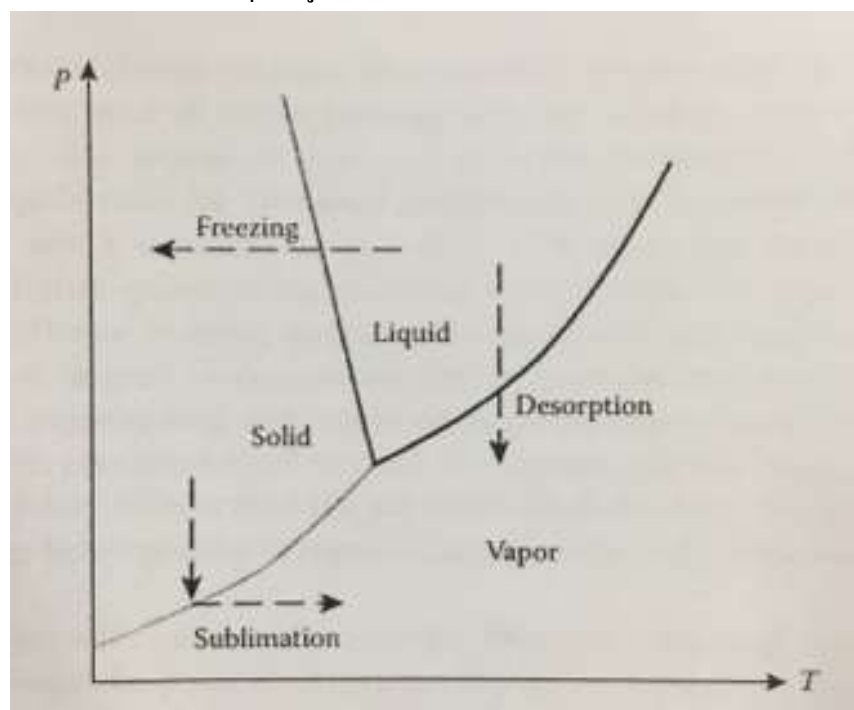
### 3.3.4 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีขั้นตอน (ภาพที่ 5) (สิงหนาท พวงจันทร์แดง, 2554; Goula, 2016) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การแช่เยือกแข็ง โดยการลดอุณหภูมิของตัวอย่างลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นน้ำภายในอาหารจะถูกทำให้เย็นลงจนถึงจุดเยือกแข็งโดยเร็ว จนน้ำกลายเป็นน้ำแข็ง ชนิดของอาหารจะเป็นตัวกำหนดเครื่องมือที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งเพื่อควบคุมขนาดของเกล็ดน้ำแข็ง และหลีกเลี่ยงการทำลายตัวอย่าง โดยอาหารชิ้นเล็กจะทำการแช่เยือกแข็งแบบเร็วทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก ช่วยป้องกันไม่ให้โครงสร้างของเซลล์ถูกทำลาย กรณีที่เป็นอาหารเหลวจะทำการแช่เยือกแข็งแบบช้าเพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ซึ่งจะมีช่องว่างให้ไอระเหยของน้ำเคลื่อนที่ออกไปได้ง่ายขึ้น

ขั้นตอนที่ 2 การทำแห้งขั้นต้น โดยการให้เพิ่มอุณหภูมิภายใต้สภาวะสุญญากาศ น้ำแข็งจะสามารถระเหิดกลายเป็นไอน้ำได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว โดยจะเริ่มจากชั้นน้ำแข็งบริเวณผิวหน้าของอาหาร ทำให้บริเวณนี้กลายเป็นชั้นแห้ง

ขั้นตอนที่ 3 การทำแห้งขั้นที่สอง น้ำที่ยังคงจับอยู่ภายในอาหารจะระเหิดผ่านชั้นแห้งออกไปสู่ผิวหน้าของอาหารจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของน้ำในอาหารระหว่างการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง  
ที่มา: Goula (2016)

ระยะเวลาการระเหิดขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด วิธีนี้เป็นการทำแห้งโดยที่อาหารไม่ผ่านความร้อน อาหารทำแห้งที่ได้จะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง และคงเหลือคุณภาพทางประสาทสัมผัสไว้เป็นอย่างดี สามารถเก็บได้นาน 12 เดือนในบรรจุภัณฑ์ที่ดี นอกจากนี้ยังสามารถรักษากลิ่นให้ยังคงอยู่ในอาหารได้ เนื่องจากสารให้กลิ่นซึ่งมีคุณสมบัติที่ระเหยง่าย ไม่ละลายอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำซึ่งกลายเป็นน้ำแข็ง ดังนั้นสารให้กลิ่นจึงคงเหลืออยู่ในอาหาร และไม่ระเหิดกลายเป็นไอไปพร้อมกับน้ำแข็ง เนื้อสัมผัสของอาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งเยือกแข็ง ยังคงสภาพเดิมดีมาก การหดตัวของอาหารน้อย โดยปราศจากการเกิดเปลือกแข็งที่บริเวณผิวนอกอาหาร โครงสร้างของอาหารจะคงรูปร่างเดิมได้ดี มีรูพรุน โปร่ง ทำให้สามารถดูดน้ำกลับได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ แต่จะแตกหักได้ง่าย จึงไม่ทนต่อแรงกระแทก โครงสร้างที่มีรูพรุนทำให้เกิดออกซิเจนซึมผ่านเข้าไปได้ง่าย และก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน อย่างไรก็ตามการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีค่าใช้จ่ายสูง และใช้เวลามากกว่าวิธีการทำแห้งแบบปกติ เพราะต้องทำให้อาหารอยู่สถานะเยือกแข็งก่อนที่จะนำมาระเหิด และในการทำแห้งเยือกแข็งต้องทำให้เป็นสถานะสุญญากาศเล็กน้อย จึงทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น (ปิ่นฉัตร ภัทรสถาพรกุล, 2547; ลิงหนาท พวงจันทร์แดง, 2554)

#### 4. สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก เป็นสารเมตาบอไลต์ที่ขึ้นทุติยภูมิ (Secondary metabolite) ที่พืชสร้างขึ้นมาเพื่อป้องกันตัวเองจากการถูกทำลายด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต เชื้อโรค ปรสิต รวมไปถึงศัตรูพืช ดังนั้นจึงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านแบคทีเรีย ไวรัส ต้านการอักเสบและการแพ้ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อคุณสมบัติด้านการรับรู้ทางประสาทสัมผัส (Overall organoleptic properties) เช่น สารประกอบฟีนอลิกชนิด โพรไซยานิดินทำปฏิกิริยากับไกลโคโปรตีนในต่อมน้ำลาย ทำให้เกิดรสขมและฝาดในผักและผลไม้ (Balasundram *et al.*, 2006) โดยทั่วไป สารประกอบกลุ่มนี้มักทำปฏิกิริยากับสารที่มีความเป็นกรด (Acidic substances) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลอื่นๆ สารประกอบฟีนอลิกมีความไวต่อการออกซิเดชันกับเอนไซม์ฟีนอลเลส (Phenolases) โดยเปลี่ยนโมโนฟีนอล (Monophenols) เป็นไดฟีนอล (Diphenols) และควิโนน (Quinones) ตามลำดับ นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังทำหน้าที่เป็นสารคีเลต (Chelating metals) ดักจับไอออนของโลหะเข้าไปในโมเลกุล เช่น เควอร์ซีทิน (Quercetin) และสารประกอบฟีนอลิกยังทำหน้าที่ทั้งเป็นสารให้อิเล็กตรอนหรือเป็นตัวให้อิเล็กตรอน และกำจัดออกซิเจนที่อยู่ในรูปแอกทีฟ จึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านออกซิเดชันที่สำคัญชนิดหนึ่งในพืชทั่วไป (Packer *et al.*, 1999; Rice-Evans and Miller, 1997)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนอะโรมาติกตั้งแต่ 1 หมู่ขึ้นไป รวมตัวกับหมู่ไฮดรอกซิลตั้งแต่ 1 หมู่ขึ้นไป โดยอาจมีรูปแบบเป็นโมเลกุลฟีนอลิกอย่างง่าย (Simple phenolic molecules) ได้แก่ กรดฟีนอลิก (Phenolic acids) และฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) จนถึงสารประกอบโพลีเมอร์ที่มีขนาดใหญ่ (Highly polymerized compounds) สารประกอบในกลุ่มนี้มักจะเรียกว่าโพลีฟีนอล (บุศรากรณ์ มหาโยธี, 2551) ดังแสดงในตารางที่ 3 ตารางที่ 2 ประเภทของสารประกอบฟีนอลิกในพืช

Class	Structure
Simple phenolics, benzoquinones	C <sub>6</sub>
Hydroxybenzoic acids	C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub>
Acetophenones, phenylacetic acids	C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub>
Hydroxycinnamic acids, phenylpropanoids (coumarins, isocoumarins, chromones, chromenes)	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub>
Napthoquinones	C <sub>6</sub> -C <sub>4</sub>
Xanthones	C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>6</sub>
Stilbenes, anthraquinones	C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>6</sub>
Flavonoids, isoflavonoids	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub>
Lignans, neolignans	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Biflavonoids	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> ) <sub>2</sub>
Lignins	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> ) <sub>n</sub>
Condensed tannins (proanthocyanidins or flavolans)	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> ) <sub>n</sub>

ที่มา: Balasundram และคณะ (2006)

สารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืชสามารถจำแนกชนิดตามโครงสร้างพื้นฐานได้ 4 กลุ่มใหญ่ (บุศรากรณ์ มหาโยธี, 2551) คือ

4.1 อนุพันธ์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxylated derivatives) ของกรดซินนามิกและกรดเบนโซอิก ได้แก่ สารประกอบที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นพวกกรดฟีนอลิก (Phenolic acids)

4.1.1 กรดไฮดรอกซีซินนามิก (Hydroxycinnamic acids) เป็นกรดฟีนอลิกกลุ่มใหญ่ที่สุดพบทั่วไปในพืช โดยปกติเกิดขึ้นจากหลายๆ รูปแบบ เช่น เกิดจากการย่อยของเอนไซม์หรือการเชื่อมกันของเอสเทอร์ของกรดไฮดรอกซี (Hydroxy acids) ตัวอย่างเช่น Quinic, Shikimic และ Tartaric acid p-coumaric acid เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นอนุพันธ์ของกรดไฮดรอกซีของกรดซินนามิก มีลักษณะเป็นผลึกแข็งสีขาวละลายในน้ำ ได้แต่ละลายได้ดีในเอทานอล และไดเอทิลเอสเทอร์ กรดนี้พบได้ 3 ไอโซเมอร์ คือ o-Coumaric acid, m-Coumaric acid และ p-Coumaric acid โดยแตกต่างกันที่ตำแหน่งไฮดรอกซี p-Coumaric acid เป็นไอโซเมอร์ที่พบมากที่สุด ในธรรมชาติ พบในถั่วลิสง แครอท พริกสีเขียวย สตรอเบอร์รี่ สับประรด มะเขือเทศ และกระเทียม

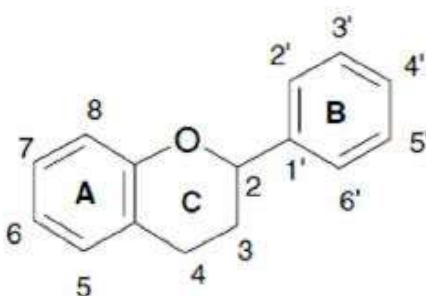
4.1.2 กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (Hydroxybenzoic acids) มีโครงสร้างโดยทั่วไปคือ C<sub>6</sub>-C<sub>1</sub> เป็นอนุพันธ์ของกรดเบนโซอิก ความแปรผันโครงสร้างของกรดนี้ขึ้นอยู่กับ

การเกิดปฏิกิริยา Hydroxylations และ Methylations ของวงแหวนอะโรมาติก เช่น Phydroxybenzoic, vanillic, น้ำตาลหรือกรดอินทรีย์ ถูกสะสมอยู่บริเวณผนังเซลล์ของพืชในส่วนของที่เรียกว่า ลิกนิน

ตัวอย่างกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก เช่น กรดซาลิไซลิก (2-Hydroxybenzoate) และกรดแกลลิก ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่อยู่ในโมเลกุล ซึ่งมีส่วนร่วมในการสร้าง Hydrolysable gallotannins ทำให้ได้ Hexahydroxydiphenic acid และ Dilactone, Ellagic acid โดยปกติแล้ว Ellagic acid พบใน Ellagitannins เช่น เอสเทอร์ของ Diphenic acid

4.2 คิวมาริน (Coumarins) เป็นพวกที่มีโครงสร้างเป็น  $C_6-C_3$  เหมือนกรดซินนามิก แต่  $C_3$  จะเกิดเป็นออกซิเจน เฮเทอโรไซเคิล (Oxygen heterocycle) คิวมารินจะพบอยู่ค่อนข้างน้อยในส่วนของเมล็ด และโดยมากจะพบอยู่ในรูปของกลูโคไซด์ (Glucoside)

4.3 ฟลาโวนอยด์ เป็นสารประกอบฟีนอลิกหลักที่พบมากที่สุด พบได้ทั่วไปในอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์ชา หรือชาสมุนไพร มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยในโครงสร้างดังภาพที่ 7 ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอม จัดเรียงตัวแบบ  $C_6-C_3-C_6$  ในโครงสร้างมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือมีวงแหวน A และ B (Phenyl ring) จับกับไพแรนหรือไพโรน (C) ดังภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ ring C ทำให้มีการแบ่งฟลาโวนอยด์ออกเป็นกลุ่มต่างๆ แบ่งได้ 6 กลุ่มตามระดับการออกซิเดชันและหมู่ฟังก์ชันของ ring C คือ ฟลาโวนส์ (Flavones), ฟลาวาโนน (Flavanones), ไอโซฟลาโวนส์ (Isoflavones), ฟลาโวนอลส์ (Flavonols), ฟลาวานอลส์ (Flavanols) และแอนโทไซยานินส์ (Anthocyanins)



ภาพที่ 6 โครงสร้างทั่วไปของฟลาโวนอยด์

ที่มา: Balasundram และคณะ (2006)

4.4 โพลีฟีนอลิก แทนนิน (Polyphenolic tannin) และลิกนิน (Lignin) เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีโมเลกุลใหญ่ (Polymeric phenol) สามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากให้ความร้อนด้วยกรดหรือด่าง (บุศรากรณ์ มหาโยธี, 2551) คือ

4.4.1 แทนนินที่สามารถถูกไฮโดรไลส์ได้ (Hydrolysable tannins)  
เมื่อไฮโดรไลส์ด้วยกรด จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดฟีนอลิกกับกลูโคส



4.4.2 คอนเดนแทนนิน (Condensed tannin) เมื่อไฮโดรไลส์ด้วยกรด จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นฟลาโวนอลกับสารสีน้ำตาล

4.4.3 ลิกนิน เมื่อไฮโดรไลส์ด้วยด่างจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นอนุพันธ์ของกรดเบนโซอิก และกรดซินนามิก

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งชนิดสารประกอบฟีนอลิกตามจำนวนวงแหวนฟีนอลได้ 3 ชนิด (บุศรากรณ์ มหาโยธี, 2551) ดังนี้

- โมโนไซคลิกฟีนอล (Monocyclic phenols) มีวงแหวนฟีนอล 1 วง ที่พบทั่วไปในพืช ได้แก่ ฟีนอล แคเทคอล (catechol) ไฮโดรควิโนน (Hydroquinone) และพารา-ไฮดรอกซีซินนามิกแอซิด (*p*-Hydroxycinnamic acid)

- ไดไซคลิกฟีนอล (Dicyclic phenols) มีวงแหวนฟีนอล 2 วง ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ และลิกแนน (Lignans)

- โพลีไซคลิกฟีนอล (Polycyclic phenols) หรือโพลีฟีนอล ได้แก่ ลิกนิน เมลานิน (Melanin) ฟลาโวลาน (Flavolan)

## 5. สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant)

อนุมูลอิสระ (Free radical) เป็นสารที่มีอิเล็กตรอนซึ่งไม่มีคู่ (Unpaired electron) อยู่ในวงรอบของอะตอมหรือโมเลกุล ทำให้ไม่เสถียรและสามารถไปจับกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่นเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เช่น อนุมูลไฮดรอกซี (Hydroxy radical) อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (Superoxide radical) อนุมูลเพอร์ออกไซด์ (Peroxy radical) อนุมูลแอลคอกซี (Alkoxy radical) และอนุมูลไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide radical) เป็นต้น ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้เกิดได้จากปัจจัยทั้งภายในและภายนอกในร่างกาย ปัจจัยภายในร่างกาย เช่น การเผาผลาญอาหาร การหายใจ การออกกำลังกาย การติดเชื้อ และความเครียด ส่วนปัจจัยภายนอกในร่างกาย ได้แก่ อาหารที่เกิดการออกซิไดซ์ในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา สารกันบูด ยาฆ่าแมลง แสงอัลตราไวโอเล็ต และมลพิษต่างๆ เป็นต้น (ศิริธร ศิริอมรพรรณ, 2557)

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) คือ โมเลกุลของสารที่สามารถป้องกันหรือชะลอกระบวนการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังสารออกซิไดซ์ ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติในอาหาร เกิดสารที่เป็นอันตรายต่อร่างกายและยังสามารถทำลายคุณค่าทางโภชนาการด้วย นอกจากนี้อนุมูลอิสระยังสามารถทำลายเซลล์ของ

ร่างกาย สารต้านอนุมูลอิสระจะเข้าไปยับยั้งปฏิกิริยาถูกโอซิเดชันนี้ด้วยการเข้าจับกับอนุมูลอิสระและสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (ศิริธร ศิริอมรพรรณ, 2557)

ระบบกำจัดอนุมูลอิสระ หรือระบบต้านอนุมูลอิสระ ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระและเอนไซม์ชนิดต่างๆที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase; PPO) และเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (Peroxidase; POD) โดยเอนไซม์ทั้งสองชนิดเกี่ยวข้องกับกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่พบมากที่สุด ในพืช (Robards *et al.*, 1999) และมีบทบาทอย่างมากในการต่อต้านการเกิดสารอนุมูลอิสระที่อาจเป็นสาเหตุของโรคหัวใจและมะเร็ง (อุษาวดี ชนสูตร และนิธิยา รัตนานนท์, 2549) สำหรับสารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติ ได้แก่ วิตามินซี วิตามินเอ ซีลีเนียม แอนโทไซยานิน เบต้าแคโรทีน สารพฤกษเคมีต่างๆ (Phytochemicals) เช่น สารโพลีฟีนอล (Polyphenol) และไอโซฟลาโวน (Isoflavones) เป็นต้น โดยมีรายงานการวิจัยพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่พบในผักและผลไม้มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระสามารถจำแนกออกได้ตามโครงสร้างและกลไกการต้านการเกิดออกซิเดชันที่แตกต่างกัน ดังนี้ (ศิริธร ศิริอมรพรรณ, 2557)

#### ก. สารต้านอนุมูลอิสระทั่วไป (General antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระทั่วไปจะมีบทบาทสำคัญในการทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระแล้วกลายเป็นสารประกอบที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยา โดยทั่วไปกลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระเพอร์ออกไซด์และแอลคอกซีที่เกิดจากการสลายตัวของสารประกอบเพอร์ออกไซด์

#### ข. สารช่วยให้สารประกอบเพอร์ออกไซด์มีความคงตัว (Peroxide stabilizer)

สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้จะมามีบทบาทในการป้องกันหรือยับยั้งการสลายตัวของสารประกอบเพอร์ออกไซด์ไปเป็นอนุมูลอิสระ

#### ค. สารเสริมฤทธิ์ (Synergists)

สารเสริมฤทธิ์เป็นสารที่ไม่มีกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระ แต่มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมให้สารต้านอนุมูลอิสระสามารถทำงานได้ดีขึ้น ในลักษณะการรวมพลังให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีขึ้นกว่าเดิม

#### ง. สารคีเลต (Chelating agent)

สารคีเลตหรือสารจับกับโลหะ จะเป็นสารที่ทำหน้าที่ในการจับกับโลหะที่เป็นตัวกระตุ้นให้สารประกอบเพอร์ออกไซด์สลายตัวไปเป็นอนุมูลอิสระ เมื่อสารคีเลตจับกับโลหะจะเกิดเป็น

สารประกอบที่เชื่อมต่อกับปฏิกิริยา ส่งผลให้โลหะไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาต่อไปได้ โดยกรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับเหล็ก (Iron) และคอปเปอร์ไอออน (Copper iron)

#### จ. สารจับออกซิเจนซิงเกิลต (Singlet oxygen quencher)

สารจับออกซิเจนซิงเกิลตหรือสารจับออกซิเจนเดี่ยว มีบทบาทในการเปลี่ยนซิงเกิลตออกซิเจนหรือออกซิเจนที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว (Singlet oxygen) ที่อยู่ในสถานะถูกกระตุ้น (Excited state) ไปเป็นทรูปเลตออกซิเจน (Triplet oxygen) หรือออกซิเจนที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว 2 ตัว ที่อยู่ในสถานะพื้น (Ground state) ซึ่งมีความเสถียร

กลไกการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของสารต้านอนุมูลอิสระบางชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์และกรดฟีนอลิกมีสมบัติในการให้ไฮโดรเจนอะตอมหรืออิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากการเกิดออกซิเดชัน และเกิดเป็นอนุมูลของฟลาโวนอยด์และกรดฟีนอลิก ซึ่งมีความเชื่อมต่อกับปฏิกิริยามากกว่าจากการเกิดเรโซแนนซ์ภายในโครงสร้าง นอกจากนี้อนุมูลของฟลาโวนอยด์และกรดฟีนอลิก 2 โมเลกุลยังสามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรควิโนนและฟลาโวนอยด์หรือกรดฟีนอลิกที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระกลับมาได้อีกเช่นเดียวกับโทโคฟีรอล อนุมูลอิสระของกรดฟีนอลิกสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลเพอร์ออกไซด์กลายเป็นสารพอลิฟีนอล-เพอร์ออกไซด์ (phenolic-peroxyl species) และทำให้ปฏิกิริยาลึกลับลดลง ในขณะที่เดียวกันเมื่อกรดฟีนอลิกถูกออกซิไดซ์ไปเป็นสารประกอบอื่นๆ ที่ยังมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ยังสามารถทำหน้าที่ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ (ศิริธร ศิริอมรพรรณ, 2557)

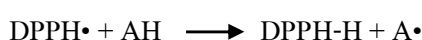
**5.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (Antioxidant activity determination)** สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพ และการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ ในแต่ละประเภทจะมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีมีความจำเพาะแตกต่างกัน โดยปกติมักใช้หลายวิธีร่วมกันในการตรวจสอบและสรุปผล

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของสารต้านออกซิเดชันในตัวอย่างประเภทต่างๆ โดยใช้อนุมูลอิสระที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนและวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งหรือกำจัดอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างที่สนใจโดยวัดปริมาณอนุมูลอิสระที่ลดลง หรือที่เหลือจากการคลุกคลื่นแสง ดังวิธีการต่างๆ (บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556) ได้แก่

5.1.1 การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (Diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay)

เป็นการทดสอบด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระก็คืออนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH<sup>•</sup>, diphenyl-picrylhydrazyl radical) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูป

อนุมูลอิสระที่คงตัวและมีสีม่วงสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เมื่อ DPPH<sup>•</sup> ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระ (สารที่ให้อิเล็กตรอน) จะทำให้สีม่วงจางลงๆ จนเป็นสีเหลือง ซึ่งก่อนนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงต้องวางไว้ที่มีดเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถหาสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้ จากการคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH สูตรคำนวณได้จากการนำค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงจากการใส่ตัวอย่างเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงตั้งต้น ดังนี้



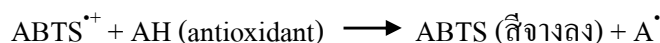
$$\text{DPPH radical scavenging (\%)} = [(A_0 - A_s) / A_0] \times 100$$

โดย  $A_0$  = ค่าการดูดกลืนแสงตั้งต้น และ  $A_s$  = ค่าการดูดกลืนแสงหลังจากเติมสารตัวอย่างสารมาตรฐานที่ใช้ในการเทียบสารต้านอนุมูลอิสระ คือ โทร็อกซ์ (trolox, 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchlorman-2-carboxylic acid) แสดงค่าเป็น TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) มีหน่วยเป็นมิลลิโมลาร์ต่อมิลลิกรัม หรือไมโคร - โมลาร์ต่อมิลลิกรัม (บุหรัน พันธุ์สุวรรณค์, 2556)

### 5.1.2 การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการย้อมสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส

(ABTS radical cation decolorization assay)

เป็นวิธีการวัดความสามารถในการย้อมสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่มีสีเขียวปนน้ำเงิน สามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เนื่องจาก  $\text{ABTS}^{+\bullet}$  มีค่าการดูดกลืนแสงสูง จึงต้องทำการเจือจาง  $\text{ABTS}^{+\bullet}$  ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ จากนั้นนำ  $\text{ABTS}^{+\bullet}$  มาทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างที่ละลายด้วยเอทานอลเจือจาง ซึ่งจะทำให้สีจางลงและตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา จึงสามารถหาความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้จากการคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้งอนุมูลอิสระ  $\text{ABTS}^{+\bullet}$

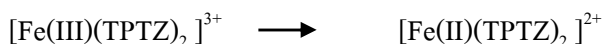


ซึ่งวิธีการคำนวณ และการเทียบกับสารมาตรฐานโทร็อกซ์ได้จากการนำค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงจากการใส่ตัวอย่างเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงตั้งต้น (บุหรัน พันธุ์สุวรรณค์, 2556)

### 5.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ

(Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assay)

วิธีการนี้อาศัยหลักการของสารต้านอนุมูลอิสระสามารถถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับสารประกอบเชิงซ้อน  $[\text{Fe(III) (TPTZ)}_2]^{3+}$  ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปเป็น  $[\text{Fe(II) (TPTZ)}_2]^{2+}$



ซึ่ง  $[\text{Fe(II)(TPTZ)}_2]^{2+}$  มีความสามารถในการดูดกลืนแสง ที่ความยาว 593 นาโนเมตร ปริมาณของ  $[\text{Fe(II)(TPTZ)}_2]^{2+}$  ที่เกิดขึ้นสามารถประมาณความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ในรูป FRAP value เทียบกับกราฟมาตรฐานของเฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4$ ) ซึ่งขั้นตอนโดยละเอียดของวิธีการนี้ได้แก่การทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน  $[\text{Fe(III)(TPTZ)}_2]^{3+}$  ประกอบด้วยนำสารละลาย TPTZ (2,4,6-tri (2-pyridyl)-s-triazine) ที่ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง มาทำปฏิกิริยากับสารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์ และสารละลายเฟอร์ริกไตรคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต จากนั้นทำการรีดิวซ์เฟอร์ริกโดยการเติมสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต หรือสารตัวอย่าง (สารต้านอนุมูลอิสระ) และตั้งทิ้งไว้ในที่มืด (บุหรัน พันธุ์สุวรรณ, 2556)

## 6. ผลของการทำแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของชาสมุนไพร

Lu และคณะ (2015) ได้ศึกษาวิธีการทำแห้งที่มีผลต่อสารสำคัญของชาดอกปีแป๊ะ (*Loquat, Eriobotrya japonica (Lindl.) Thunb.*) (ภาพที่ 7) โดยใช้การอบแห้ง 4 วิธี ได้แก่ การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นเวลา 16 ชั่วโมง การอบแห้งแบบไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 140 280 420 560 และ 700 วัตต์เป็นเวลา 14 12 8 6 และ 6 นาที ตามลำดับ, การอบแห้งแบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 8 7 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ และการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 7 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าสารประกอบโพลีฟีนอล และสารประกอบฟลาโวนอยด์ในดอกปีแป๊ะจะมีปริมาณสูงสุดในการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เนื่องจากใช้สภาวะสุญญากาศและอุณหภูมิต่ำในการอบแห้ง ซึ่งมีผลให้สารดังกล่าวสูญเสียลงน้อยที่สุด และจากการศึกษาที่การอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 420 วัตต์ มีโพลีฟีนอลและฟลาโวนอยด์มากที่สุด รองลงมา สำหรับที่ กำลังไฟฟ้า 140 และ 280 วัตต์นั้น มีการใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีน้ำตาล และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ในขณะเดียวกันเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าที่สูงกว่า 420 วัตต์นั้น จะมีผลทำให้โพลีฟีนอลและฟลาโวนอยด์ถูกทำลายได้ สำหรับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์มีค่าสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อาจจะทำให้โพลีฟีนอลและฟลาโวนอยด์บางส่วน เปลี่ยนสภาพเป็นสถานะอิสระ



ภาพที่ 7 ดอกปีเป๊ะ (Loquat, *Eriobotrya japonica* (Lindl.) Thunb.)

ที่มา: Lu และคณะ (2015)

Siriamompun และคณะ (2012) ได้ศึกษาการอบแห้งดอกดาวเรือง 3 วิธี ได้แก่ วิธีการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง การอบแห้งแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงด้วยความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที และการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด โดยใช้อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาทีและใช้รังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 15 – 100 ไมโครเมตร ที่ระดับความเข้มแสง 5 กิโลวัตต์/ตารางเมตร พบว่าการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด จะให้ค่าความต่างของสีของดอกดาวเรืองน้อยที่สุด ( $P < 0.05$ ) ดังนั้นสีที่ปรากฏหลังจากการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดจะมีสีใกล้เคียงกับดอกดาวเรืองสด และมีปริมาณของสารประกอบฟลาโวนอยด์มากที่สุด รวมทั้งให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดในเนื่องจากรังสีอินฟราเรดทำให้เกิดการสั่นภายในโมเลกุลจนเกิดความร้อน จนสามารถทำลายพันธะโควาเลนต์ของโมเลกุลได้ สารที่อยู่ภายในโมเลกุล เช่น ฟลาโวนอยด์ แคโรทีนอยด์ ไลโคปีน แแทนนิน ฯลฯ จึงเกิดการปลดปล่อยออกมา นอกจากนี้รังสีอินฟราเรด เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถดูดซับโดยตรงจากอาหารที่อบแห้งและเสียพลังงานที่ใช้ไปน้อยกว่าการใช้ลมร้อน

Ji และคณะ (2012) ได้ทำการศึกษาผลจากการอบแห้งดอกแบลค โลคัส (*Robinia pseudoacacia* L.) (ภาพที่ 8) โดยใช้วิธีการอบแห้งที่แตกต่างกัน 4 วิธี ได้แก่ การอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ ซึ่งมีอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 27 ชั่วโมง การใช้ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.4 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง การอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟแบบสูญญากาศ กำลังไฟฟ้า 1500 วัตต์ ความดัน 70 กิโลปาสคาล ระยะเวลา 40 นาที และการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 10 ปาสคาล ระยะเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างที่มีการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณของสารฟีนอลิกมากที่สุด เนื่องจากการแช่เยือกแข็งทำให้เกิดเกล็ดน้ำแข็งภายในเนื้อเยื่อ และ

เกลือน้ำแข็งจะเกิดการรบกวน โครงสร้างของเซลล์ ทำให้สารละลายสามารถเข้าสู่เซลล์ได้ง่าย ส่งผลให้สกักได้ดีขึ้น สำหรับวิธีการอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ไม่สามารถยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ได้ในทันที ได้แก่ กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ทำให้สารประกอบฟีนอลิกถูกย่อยสลายก่อนที่จะอบแห้งอย่างสมบูรณ์ วิธีการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศสามารถยับยั้งเอนไซม์ได้อย่างรวดเร็วกว่าแบบใช้ลมร้อน นอกจากนี้ในสถานะสุญญากาศ ทำให้ช่องว่างระหว่างเซลล์ภายในเกิดการรวมตัวกัน เป็นการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิก ทำให้การสกัดสารประกอบฟีนอลิกมีประสิทธิภาพมากขึ้น



ภาพที่ 8 ดอกแบลค โลคัส (*Robinia pseudoacacia* L.)

ที่มา: Zell (2009)

Dong และคณะ (2011) ศึกษาการอบแห้งดอกโต้วตัง (*Eucommia* male flower) (ภาพที่ 9) โดยใช้ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 40 280 420 560 และ 700 วัตต์ ระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 นาที ตามลำดับ เพื่อศึกษาผลที่มีต่อสารประกอบฟลาโวนอยด์ กรดคลอโรจีนิก อาร์คิวบินและกรดจินีโพซิดิก พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถรักษาสารประกอบดังกล่าวได้ดีที่สุดคือที่กำลังไฟฟ้า 560 วัตต์ โดยใช้ระยะเวลา 2-3 นาที โดยที่กำลังไฟฟ้าเดียวกัน แต่จะใช้ระยะเวลาสั้น จะไม่สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ในการสลายสารประกอบต่างๆได้ และที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เมื่อใช้ระยะเวลาสั้นๆ สามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ แต่อาจมีผลทำให้สารประกอบเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อนได้



ภาพที่ 9 ดอกโต้วต้ง (*Eucommia ulmoides* Oliv.)

ที่มา: Dong และคณะ (2011)

จากการศึกษาของ Hamrouni-Sellami และคณะ (2012) ในการอบแห้งเสจ (*Salvia officinalis* L.) ให้มีความชื้นหลังการอบแห้งน้อยกว่า ร้อยละ 10 โดยใช้วิธีการต่างๆ ได้แก่ การผึ่งลม ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 13 วัน (ความชื้นร้อยละ 7) การอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 8 วัน (ความชื้นร้อยละ 6) และที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 5 วัน (ความชื้น ร้อยละ 5) การอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์/ตัวอย่างสด จำนวน 30 กรัม ระยะเวลา 5 นาที (ความชื้น ร้อยละ 5) และที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์/ตัวอย่างสด จำนวน 30 กรัม ระยะเวลา 3 นาที (ความชื้น ร้อยละ 3) และใช้การอบแห้งแบบอินฟราเรด ที่ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 14 ชั่วโมง (ความชื้น ร้อยละ 5) และที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 9 ชั่วโมง (ความชื้น ร้อยละ 5) พบว่าตัวอย่างที่ใช้ไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์/ตัวอย่างสด 30 กรัม มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดปริมาณมากที่สุด และในตัวอย่างที่ถูกอบแห้งแบบอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสมีสารดังกล่าวอย่างน้อยที่สุด แม้ว่าการใช้รังสีอินฟราเรดทำให้เกิดการทำลายพันธะ โคเวเลนต์ และเกิดการปลดปล่อยสารอนุมูลอิสระ เช่น ฟลาโวนอยด์ แครโทีนแทนนิน แอสคอร์เบต ฟลาโวนโพรดีน หรือ โพลีฟีนอลจากภายในเซลล์ แต่สารประกอบฟีนอลิกแต่ละชนิดมีพันธะที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในพืช รวมทั้งตำแหน่งที่อยู่ภายในเซลล์ รวมทั้งการอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสอาจส่งผลต่อการทำลายพันธะที่แตกต่างกัน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้ สำหรับการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟ ความเข้มข้นของสนามไมโครเวฟจะทำให้เกิดความดันไอและอุณหภูมิภายในเนื้อเยื่อของพืชสูง ทำให้เกิดการรบกวนบริเวณภายในผนังเซลล์ของพืช สารประกอบฟีนอลิกจะถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มมากขึ้น



### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของวิธีและสภาวะการอบแห้งต่อคุณภาพทางกายภาพ สมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชัน รวมทั้งการยอมรับทางประสาทสัมผัสของดอกกาแฟและชาจากดอกกาแฟ
2. เพื่อศึกษาผลของวิธีการอบแห้งต่อชนิดของสารประกอบฟีนอลิกในชาจากดอกกาแฟ
3. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อชาจากดอกกาแฟ

## บทที่ 2

### วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

#### วัสดุอุปกรณ์

##### วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

ดอกกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า (*Coffea canephora*) จากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์กาแฟแก้วมือและท่องเที่ยวเชิงเกษตร อำเภอกระบุรี จังหวัดระนอง ที่เก็บเกี่ยวด้วยมือ โดยมีการเก็บเกี่ยวหลังจากต้นกาแฟติดดอกประมาณ 3-4 วัน ซึ่งเป็นระยะที่ดอกติดผลแล้ว และยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีของดอก นำดอกกาแฟที่ได้บรรจุถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) ที่เจาะรู แล้วบรรจุในกล่องโฟม ขนส่งมายังคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภายใน 8 ชั่วโมง จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไม่เกิน 3 วัน

##### สารเคมี

สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ทางเคมีเป็นกรดวิเคราะห์ ได้แก่ สารละลายฟอลิน-ไซโอแคลทู ฟีนอล รีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu reagent), โซเดียมคาร์บอเนต, กรดแกลติก, โซเดียมไนไตรท์, อะลูมิเนียมคลอไรด์, โซเดียมไฮดรอกไซด์, คาเทชิน, 2,2'-อะซิโน-บิส-3-เอทิลเบนโซไทลีน-6-ซัลโฟนิค โฟนิค แอซิด ((2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS)), โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต, เมทานอล, โทรลิกซ์, 2,2'-ไดฟีนิล-1-ไพคริล-ไฮดรากลิก ((2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical, DPPH)), เอทานอล, อะซีเตตไตรไฮเดรต, กรดอะซิติก, 2,4,6-ทริส (2-ไพริดีน-เอส-ไพออะซีน ((2,4,6-Tris (2-pyridyl)-s-triazine, TPTZ)), กรดไฮโดรคลอริก และเพอร์ริคคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต

##### อุปกรณ์

- เครื่องวัดค่าสี (ColorFlex, HunterLab, Reston, VA, USA)
- เครื่องวัดค่าสีและค่าความใส (ColorQuest XT, HunterLab, Reston, VA, USA)
- เครื่องวัดความชื้นแบบอินฟาเรด (Sartorius, MA150, MA, USA)
- ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (ประเทศไทย)

- เครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) (CoolSafe 55, ScanLaf A/S, Lyngø, Denmark)
- เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ (Microwave Vacuum Dryer) (มาร์ชคูล, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย)
- เครื่องอบแห้งอินฟราเรดสุญญากาศ (Infrared Vacuum Dry) (มาร์ชคูล, 100L, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Visible Spectrophotometer) (Biochrom, Libra S4, Cambridge, England)
- เครื่องชั่ง แบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius, Model BSA-224S, Sartorius, Goettingen, Germany)
- เครื่องกวนสารละลาย (BIG SQUID, IKA LABORTECHNIK, Stanfen, Germany)
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) (W350, Memmert, Schwabach, Germany)
- เครื่องผสมแบบ Vortex (G-560E, Scientific Industries, NY, USA)

## วิธีการ

### ตอนที่ 1 ศึกษาผลของวิธีการอบแห้งและสภาวะต่างๆที่มีต่อคุณภาพดอกกาแฟอบแห้ง

นำดอกกาแฟมาอบแห้งโดยใช้วิธีอบแห้งต่างๆ ดังนี้

- การทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (Hot air drying, HD) ใช้ดอกกาแฟ ซึ่งเก็บเกี่ยวเมื่อวันที่ 19 มกราคม 2561 ใช้ตัวอย่างจำนวน 200 กรัม/ถาดตะแกรง ขนาด 4 ตารางฟุต โดยอบที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่าง จำนวน 6 กรัม มาวัดความชื้นทุกชั่วโมงโดยใช้เครื่องวัดความชื้นแบบอินฟราเรด (วัดตัวอย่างครั้งละ 2 กรัม จำนวน 3 ซ้ำ) จนกระทั่งดอกกาแฟมีความชื้น ร้อยละ 10 หรือต่ำกว่า (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 280) พ.ศ. 2547)

- การทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ (Infrared-Vacuum drying, IVD) ใช้ดอกกาแฟซึ่งเก็บเกี่ยวเมื่อวันที่ 21 มกราคม 2561 ใช้ตัวอย่างจำนวน 150 กรัม/ถาดขนาด 25 x 30 เซนติเมตร อบที่อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 50 และ 40 นาที สุ่มตัวอย่างมาวัด

ความชื้นทุก 10 นาทีเช่นเดียวกับการอบแห้งแบบลมร้อน จนกระทั่งดอกกาแฟมีความชื้น ร้อยละ 10 หรือต่ำกว่า

- การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ (Microwave Vacuum drying, MVD) ใช้ดอกกาแฟซึ่งเก็บเกี่ยวเมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2561 ใช้ตัวอย่างจำนวน 5 กิโลกรัม ใส่ตะกร้าสำหรับเครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟ นำมาอบแห้งที่ระดับ 1800 และ 4800 วัตต์ เป็นระยะเวลา 20 และ 10 นาที ตามลำดับ โดยกำหนดให้ตะกร้าสามารถหมุนเหวี่ยงได้ขณะอบแห้ง โดยทุกๆ 5 นาทีจะหยุดเป็นเวลา 2 นาทีจนกระทั่งครบเวลาตามกำหนด เพื่อจะสูมตัวอย่างมาวัดความชื้นเช่นเดียวกับการอบแห้งแบบลมร้อน จนกระทั่งดอกกาแฟมีความชื้น ร้อยละ 10 หรือต่ำกว่า

- การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying, FD) จนกระทั่งดอกกาแฟมีความชื้นร้อยละ 10 หรือต่ำกว่า

นำตัวอย่างดอกกาแฟที่ผ่านการอบแห้งแล้ว บรรจุในถุงพอยด์ที่ลามิเนตด้วยพอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate, PET) และพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) ปิดผนึกแล้วเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกระทั่งนำไปทำการวิเคราะห์

### 1.1 การเตรียมน้ำชาจากดอกกาแฟ

นำดอกกาแฟอบแห้ง จำนวน 1.6 กรัม เติมน้ำร้อน โดยใช้ น้ำ ตราเซเว่นซีเล็ค ซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 7 อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ปริมาตร 110 มิลลิลิตร แล้วแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นกรองเอากากดอกกาแฟออกด้วยตะแกรง (Ozturk *et al.*, 2016) โดยอัตราส่วนการแช่ชาและปริมาณน้ำร้อนที่ใช้ในการชงชา พิจารณาจากผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสในการทดลองเบื้องต้น จากงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับชาสมุนไพรร และจากการสำรวจข้อมูลที่แสดงบนบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ชาดอกไม้ที่จำหน่ายในท้องตลาด รวมทั้งจากความเห็นของผู้ประกอบการผู้ผลิตชาดอกกาแฟ

### 1.2 การตรวจสอบคุณภาพชาจากดอกกาแฟ

นำดอกกาแฟอบแห้ง และน้ำชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยวิธี และสภาวะต่างๆ มาตรวจสอบคุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

#### 1.2.1 คุณภาพด้านกายภาพของดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟ

1.2.1.1 การวัดค่าสีของดอกกาแฟ โดยใช้เครื่องวัดค่าสี (ColorFlex, HunterLab, Reston, VA, USA) อ่านค่าโดยใช้ ระบบ CIE Lab วัดค่าเป็น L\*, a\*, b\* โดยที่ L\* แสดงค่า

ความสว่างของสี ซึ่งมีค่า 0 - 100 ที่ 0 แสดงถึงสีดำ และ 100 แสดงถึงสีขาว,  $a^*$  และ  $b^*$  บอกเฉดสี โดย  $+a^*$  หมายถึงเฉดของสีแดง,  $-a^*$  หมายถึงเฉดของสีเขียว,  $+b^*$  หมายถึงอยู่ในเฉดของสีเหลือง และ  $-b^*$  หมายถึงอยู่ในเฉดของสีน้ำเงิน (Siriamornpun *et al.*, 2012)

ค่าความเข้มสี (Chroma,  $C^*$ ) และค่ามุมของสี (Hue angle,  $h^*$ ) (Pankaj *et al.*, 2013)

$$\text{โดย} \quad h^* = \tan^{-1} [b^*/a^*]$$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

1.2.1.2 การวัดค่าสีและค่าความใสของน้ำชาจากดอกกาแฟ นำน้ำชาจากดอกกาแฟใส่ในภาชนะตัวอย่าง (Cuvette cup) แล้วนำไปวางในตำแหน่งที่วัดค่าการทะลุผ่านของแสง โดยใช้เครื่องวัดค่าสี (ColorQuest XT, HunterLab, USA) (Lu *et al.*, 2015) ค่าสีที่ได้โดยใช้ระบบ CIE Lab วัดค่าเป็น  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  (Siriamornpun *et al.*, 2012) ค่าความเข้มสี (Chroma,  $C^*$ ) และค่ามุมของสี (Hue angle,  $h^*$ ) (Pankaj *et al.*, 2013) ส่วนค่าความใสใช้เครื่องวัดค่าสีและค่าความใส (ColorQuest XT, HunterLab, Reston, VA, USA) แสดงเป็น % Transmission (T)

## 1.2.2 คุณภาพด้านเคมีของน้ำชาจากดอกกาแฟ

1.2.2.1 วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของดอกกาแฟ (AOAC, 2000)

ดั่งภาคผนวก ข.

1.2.2.2 วิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาจากดอกกาแฟ

(Siriamornpun *et al.*, 2012) ดั่งภาคผนวก ค.

1.2.2.3 วิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของน้ำชาจากดอกกาแฟ

(Siriamornpun *et al.*, 2012) ดั่งภาคผนวก ง.

1.2.2.4 วิเคราะห์สมบัติของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำชาจากดอกกาแฟ  
ได้แก่

- การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูล 2,2'-อะซิโน-บิส-3-เอทิลเบนโซไทอะโซลีน-6-ซัลโฟนิค แอซิด ((2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS)) (Lu *et al.*, 2015)

ดั่งภาคผนวก จ.

- การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูล 2,2-ไดฟีนิล-1-ไพคริลไฮไดรราซิล ((2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical, DPPH)) (Lu *et al.*, 2015) ดังภาคผนวก ฉ.
- การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์ Ferric reducing antioxidant power assay (FRAP) (Siriamornpun *et al.*, 2012) ดังภาคผนวก ช.

### 1.2.3 คุณภาพด้านประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างมาทดสอบโดยใช้มาตราความชอบทดสอบ (Hedonic scale) 9 คะแนน (โดย 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด 5 หมายถึง บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบที่คุ้นเคยกับการบริโภคชาสมุนไพร จำนวน 30 คน ทดสอบการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ และสีของดอกกาแฟอบแห้ง จากนั้นทดสอบน้ำชาจากดอกกาแฟ ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวม โดยเตรียมน้ำชาจากดอกกาแฟ เช่นเดียวกับข้อ 1.1 ควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างที่ 65 องศาเซลเซียส ขณะเสิร์ฟให้ผู้ทดสอบ (Theron *et al.*, 2014)

คัดเลือกชาดอกกาแฟที่ได้จากการอบแห้งแต่ละวิธี (อบแห้งแบบใช้ลมร้อน, อินฟราเรด, สูญญากาศ และไมโครเวฟสูญญากาศ) โดยใช้คะแนนความชอบรวม และมีกิจกรรมการกำจัดออกซิเดชันสูงสุดของแต่ละวิธีการอบแห้ง ไปศึกษาขั้นตอนต่อไป

### ตอนที่ 2 ศึกษาผลของวิธีการอบแห้งต่างๆ ที่สภาวะที่เหมาะสมที่มีต่อคุณภาพดอกกาแฟอบแห้งและน้ำชาจากดอกกาแฟ

นำชาจากดอกกาแฟที่ได้จากการอบแห้งวิธีต่างๆ ที่ได้คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 1.2 เปรียบเทียบกับดอกกาแฟที่ผ่านการอบแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็ง (Freeze drying, FD) ซึ่งเตรียมโดยนำดอกกาแฟมาแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ก่อนนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ระยะเวลา 20 ชั่วโมง โดยวัดดูดิบที่นำมาอบแห้งในขั้นตอนนี้ทุกวิธีเป็นดอกกาแฟที่เก็บเกี่ยวเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2562

### 2.1 คุณภาพทางกายภาพของดอกกาแฟอบแห้งและน้ำชาจากดอกกาแฟ

นำมาทดสอบด้านกายภาพ เช่นเดียวกับข้อ 1.2.1

## 2.2 คุณภาพด้านเคมีของน้ำชาจากดอกกาแฟ

นำมาทดสอบด้านเคมี เช่นเดียวกับข้อ 1.2.2

## 2.3 การตรวจสอบชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของน้ำชาจากดอกกาแฟด้วยวิธีต่างๆ ที่สภาวะเหมาะสม

วิเคราะห์ด้วยวิธี Liquid chromatograph mass spectrometry (LC-MS) (Cai *et al.*, 2005) โดยส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ซึ่งวิธี LC-MS เป็นวิธีวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และมีความละเอียดสูง ทำให้สามารถระบุโครงสร้างทางเคมีของสารที่ต่างกันได้ (ณัฐธิดา ศรีบุญวรกุล, 2560)

## 2.4 ศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรของผู้บริโภค

นำชาจากดอกกาแฟที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 1.2 มาศึกษาการยอมรับ และความตั้งใจซื้อของผู้บริโภค โดยใช้ผู้ทดสอบที่คุ้นเคยกับการบริโภคชาสมุนไพร จำนวน 50 คน จากนั้นทำการประเมินโดยแบบสอบถามซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วน (ดังภาคผนวก ซ.) ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมด้านการดูแลสุขภาพและการบริโภคชาสมุนไพร

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ชาจากดอกกาแฟ โดยทดสอบการยอมรับดอกกาแฟอบแห้ง ด้านลักษณะปรากฏ และสี จากนั้นทดสอบการยอมรับน้ำชาจากดอกกาแฟ (เตรียมเช่นเดียวกับข้อ 1.1) ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบรวม โดยใช้มาตราความชอบ 9 คะแนน

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์

## 3. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิจัยข้อ 1.2.1, 1.2.2, 2.1 และ 2.2 วางแผนการทดสอบแบบ Completely Randomized Design (CRD) ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยการใช้มาตราความชอบ (Hedonic scale) ใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's Multiple Range Test ส่วนข้อมูลจากแบบสอบถาม ในข้อ 1.2.3 และ 2.4 และการศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรของผู้บริโภค วิเคราะห์ความถี่ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)

### บทที่ 3

#### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 1. ผลของวิธีและสภาวะการอบแห้งต่างๆ ต่อคุณภาพของดอกกาแฟอบแห้งและน้ำชาจากดอกกาแฟ

##### 1.1 คุณภาพทางกายภาพของดอกกาแฟอบแห้งและน้ำชาจากดอกกาแฟ

สีเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญต่ออาหาร เนื่องจากมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงสีของวัตถุดิบ และจะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการอบแห้ง (Prachayawarakorn *et al.*, 2004) ค่าสีที่ใช้ในการประเมินลักษณะปรากฏของตัวอย่างที่ทำการศึกษา จะแสดงเป็นค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  โดยค่า  $L^*$  แสดงค่าความสว่างของสี ซึ่งมีค่า 0 – 100 ค่าที่เข้าใกล้ 100 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างมากจนเป็นสีขาวหรือสีจาง แต่ถ้าค่า  $L^*$  เข้าใกล้ 0 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างน้อยลงจนเป็นสีคล้ำ ส่วนค่า  $a^*$  และ  $b^*$  บอกเฉดสี โดยค่า  $a^*$  ที่เป็นบวก หมายถึงเฉดของสีแดง  $a^*$  ที่เป็นลบ หมายถึงเฉดของสีเขียว ส่วนค่า  $b^*$  ที่เป็นบวก หมายถึงอยู่ในเฉดของสีเหลือง และค่า  $b^*$  เป็นลบ หมายถึงอยู่ในเฉดของสีน้ำเงิน (Siriamornpun *et al.*, 2012) สำหรับการแสดงเฉดสี (Hue,  $h^*$ ) เป็นตัวเลขที่ระบุว่าสีมีตำแหน่งอยู่ที่ใดในกราฟมีหน่วยเป็นองศา  $h^* = 0^\circ$  และ  $360^\circ$  แสดงว่าเป็นเฉดสีแดง  $h^* = 90^\circ$  แสดงว่าเป็นเฉดสีเหลือง  $h^* = 180^\circ$  แสดงว่าเป็นเฉดสีเขียว  $h^* = 270^\circ$  แสดงว่าเป็นเฉดสีน้ำเงิน ส่วนค่าความเข้มสี (Chroma,  $C^*$ ) เป็นตัวเลขบ่งบอกความค่าแสดงความเข้มตัวของสี ถ้ามีค่ามาก สีจะเข้มมาก (Pankaj *et al.*, 2013)

ผลของวิธีและสภาวะการอบแห้งที่มีต่อค่าสีของดอกกาแฟ แสดงดังตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่อบแห้งโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 6 4 และ 2 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่าสีของดอกกาแฟอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีค่า  $L^*$  สูงที่สุด และตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่า  $b^*$  ต่ำที่สุด แต่ค่า  $a^*$  ไม่มีความแตกต่างระหว่างตัวอย่างทั้งหมด ( $P > 0.05$ ) สำหรับค่า  $h^*$  เป็นตัวเลขที่ระบุตำแหน่งของสีมีหน่วยเป็นองศา โดยดอกกาแฟที่อบแห้งแบบลมร้อนมีค่า  $h^*$  อยู่ในช่วง 1.21 ถึง 1.11 ซึ่งอยู่ในเฉดสีแดง-เหลือง โดยดอกกาแฟที่อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีเฉดสีเหลืองและมีความเข้มของสีน้อยที่สุด สำหรับสีของน้ำชาจากดอกกาแฟ พบว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส มีค่า  $L^*$  และค่าความใสสูงที่สุด แต่มีค่า  $b^*$  ต่ำที่สุด



ส่วนตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่า  $a^*$  สูงที่สุด ( $P < 0.05$ ) และมีค่า  $h^*$  อยู่ในช่วง -1.55 ถึง -1.53 ซึ่งอยู่ในเขตสีเหลือง-เขียว ค่า  $C^*$  ของน้ำชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียสมีค่าความอึดตัวของสีน้อยกว่าดอกกาแฟที่อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส การใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำชามีเขตสีเหลืองมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่อบแห้งด้วยเครื่องอินฟาเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 50 นาที และที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 40 นาที พบว่าค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) ของดอกกาแฟไม่มีความแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) ค่า  $h^*$  มีค่าอยู่ในช่วง 0.96 ถึง 0.99 ซึ่งอยู่ในเขตสีแดง-เหลือง ซึ่งเขตสีและค่าความสว่างของดอกกาแฟที่อบแห้งแบบอินฟาเรดสุญญากาศทั้งสองอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) สำหรับสีของน้ำชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีค่า  $L^*$  และค่าความใสสูงกว่า แต่มีค่า  $a^*$  และค่า  $b^*$  ต่ำกว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ( $P < 0.05$ ) สำหรับสำหรับค่า  $h^*$  ของน้ำชาจากดอกกาแฟมีค่าอยู่ในช่วง 1.49 ถึง 1.53 ซึ่งอยู่ในเขตสีแดง-เหลืองเช่นเดียวกับดอกอบแห้ง โดยน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบอินฟาเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสมีความอึดตัวของสีน้อยกว่าน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบอินฟาเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่อบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศที่ 1800 วัตต์ 20 นาที และที่ 4800 วัตต์ 10 นาที พบว่าค่าสีของดอกกาแฟอบแห้งที่ 4800 วัตต์ มีค่า  $L^*$  และ  $b^*$  สูงกว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่ 1800 วัตต์ ซึ่งการอบแห้งตัวอย่างที่ 4800 วัตต์ ใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่าโดยใช้เวลา 10 นาที ขณะที่การอบแห้งตัวอย่างที่ 1800 วัตต์ ใช้ระยะเวลา 20 นาที มีผลให้ค่าความสว่างของตัวอย่างลดลงตามระยะเวลาการอบแห้ง อย่างไรก็ตามค่า  $a^*$  ไม่มีความแตกต่าง ( $P > 0.05$ ) ค่า  $h^*$  มีค่าอยู่ในช่วง 0.94 ถึง 0.99 ซึ่งอยู่ในเขตสีแดง-เหลือง ซึ่งเขตสีของดอกกาแฟที่อบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศไม่มีความแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) แต่ดอกกาแฟที่อบแห้งที่ 4800 วัตต์ มีค่าความอึดตัวของสีมากกว่าดอกกาแฟที่อบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 1800 วัตต์ การอบแห้งที่ใช้ระยะเวลาสั้นทำให้ค่าความอึดตัวของสีมากขึ้น สำหรับค่า  $L^*$ ,  $b^*$  และค่าความใสของน้ำชาจากดอกกาแฟที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศไม่มีความแตกต่าง ( $P > 0.05$ ) ค่า  $h^*$  ของน้ำชาจากดอกกาแฟมีค่า 1.52 ถึง 1.55 ซึ่งอยู่ในเขตสีแดง-เหลือง โดยน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 1800 วัตต์มีเขตสีเหลืองกว่าน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์ แต่มีค่าความอึดตัวของสีไม่ต่างกัน

การอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำ พบว่าปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลส่วนใหญ่ เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบใช้เอนไซม์ (Enzymatic browning reactions) เนื่องจากการใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้งไม่สามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ อีกทั้งต้องใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ทำให้เอนไซม์ที่หลงเหลืออยู่ภายในดอกกาแฟทำปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งความชื้นของดอกกาแฟจะลดลง ส่งผลให้ดอกกาแฟมีสีเข้มขึ้น โดยเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดปฏิกิริยาประเภทนี้คือพอลิฟีนอลออกซิเดส ซึ่งจัดเป็นเอนไซม์ในกลุ่มของออกซิโดรีดักเทส (Oxidoreductases) ในสภาพปกติเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจะถูกเก็บอยู่ใน โครงสร้างของไทลาคอยด์ (Thylakoid) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของคลอโรพลาสต์ แต่เมื่อเนื้อเยื่อของพืชได้รับความเสียหายหรือถูกทำลายจะทำให้เซลล์พืชแตกออก สารประกอบฟีนอลิกซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยา (Substrate) ที่อยู่ในแวคิวโอล (Vacuole) (Macheix *et al.*, 1990) จึงทำปฏิกิริยากับเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน ได้เป็นไดฟีนอล (Diphenol) และถูกออกซิไดส์ต่อเป็นสารออร์โท-ควิโนน (*O*-quinone) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดอะมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาล และจะรวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่ ส่งผลให้มีสีเข้มขึ้น (นิธิยา รัตนปานนท์ และพิมพ์เพ็ญ เฉลิมพงศ์, 2559) โดยปกติเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจะอยู่ในรูปดีออกซี (Deoxy form) ซึ่งจะต้องเปลี่ยนไปอยู่ในรูปออกซี (Oxy form) ก่อน จึงจะสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลได้ กลไกในการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส จะมีอยู่ 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน (Hydroxylation) เป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนโมโนฟีนอล ไปเป็น ออร์โท-ควิโนน (Monophenol oxidase activity) โดยเอนไซม์ครีโนเลส (Cresolase) หรือไทโรซิเนส (Tyrosinase) ซึ่งใช้ออกซิเจนเป็นสารตั้งต้น และปฏิกิริยากำจัดไฮโดรเจน (Dehydrogenation) เป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนโอ-ไดไฮดรอกซีฟีนอล (*O*-dihydroxy phenol) ไปเป็นโอ-ไดควิโนน (*O*-diquinone) แคตคอลลาส (Catecholase) หรือ ปฏิกิริยาไดฟีนอล ออกซิเจน ออกซิโดรีดักเทส (Diphenol oxygen oxidoreductase activity) โดยมีออกซิเจนเป็นสารตั้งต้น เพื่อสร้างสารโอ-ควิโนน (*O*-quinones) โดยเอนไซม์แคตคอลลาส (Whitaker, 1995) ทั้งนี้อัตราการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาทางเอนไซม์ คือ สมบัติเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพของสารประกอบฟีนอลิก และเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสที่มีอยู่ในผักและผลไม้ รวมทั้งค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ออกซิเจนและอุณหภูมิ (Martinez and Whitaker, 1995) โดยการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูง ระยะเวลาสั้น หรือการมีออกซิเจนในระบบในปริมาณมากจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีได้มากขึ้น (Arora *et al.*, 2003)

สำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง มีผลทำให้เอนไซม์ในวัตถุดิบถูกยับยั้ง เนื่องจากความร้อนทำให้โปรตีนเสียสภาพ (Warmbier *et al.*, 1975; Saguy and Karel., 1980; Driscoll and

Madamba., 1994; Rapusas and Driscoll, 1995) ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบใช้เอนไซม์ลดน้อยลง ขณะที่ส่งผลในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (Non-enzymatic browning reactions) ได้แก่ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งการเปลี่ยนสีเป็นผลมาจากปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) และหมู่อะมิโนที่เป็นอิสระซึ่งนำไปสู่การเกิดเม็ดสีน้ำตาลของเมลานอยดิน (Melanoidin) (ประสาร สวัสดิ์ชิตัง, 2538) และปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่น้ำตาลจากน้ำหวานในดอกกาแพที่ระดับสูงกว่าจุดหลอมเหลว ในสถานะที่ไม่มีสารประกอบไนโตรเจนหรือโปรตีน (Berk, 1976) ทำให้โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) เปลี่ยนไปอยู่ในรูป 1,2-อินอล (1,2-enol form) และได้สารประกอบคาราเมล (Caramel) การเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ในอาหารนั้นจะเกิดได้มากขึ้นขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard precursor) หรือวิตามินซี ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ออกซิเจน เวลา และอุณหภูมิ (ประสาร สวัสดิ์ชิตัง, 2538)

สำหรับค่าความใสของตัวอย่างที่ใช้การอบแห้งโดยลมร้อนและอินฟราเรดสุญญากาศเห็นว่าตัวอย่างที่อบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงส่งผลให้ความใสมีแนวโน้มมากกว่า (ค่า %T สูง) ที่อุณหภูมิต่ำ ขณะที่การอบแห้งโดยไม่โครเวฟสุญญากาศที่วัตต์ต่างกัน มีค่าความใสไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) ความขุ่นเกิดจากการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกออกมานอกเซลล์ทำให้เกิดตะกอน และเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนและโพลีฟีนอล โดยเฉพาะประเภทฟลาโวนอยด์และกรดฟีนอลิก เช่น สารคาเทชิน (Catechin) กรดคลอโรเจนิค (Chlorogenic acid) กรดเฟอร์ูลิก (Ferulic acid) กรดแกลลิก (Gallic acid) คูเคอร์มิน (Curcumin) เรสเวอราทรอล (Resveratrol) ส่งผลให้เกิดการตกตะกอนและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโปรตีน (Siebert *et al.*, 1996) สารประกอบตั้งต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจึงมีผลทำให้โปรตีนเสียสภาพ ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยากับโพลีฟีนอลลดลง

ตารางที่ 3 ค่าสีของดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟและความใสของน้ำชาของดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยวิธี และสภาวะต่างๆ

วิธีการ อบแห้ง	สภาวะการ อบแห้ง	ค่าสีของดอกกาแฟแห้ง				ค่าสีของน้ำชาจากดอกกาแฟ				ความใส (%T)		
		L*	a*	b*	Hue	Chroma	L*	a*	b*		Hue	Chroma
ตูบลมร้อน	50 องศา	36.33 ± 0.94 <sup>b</sup>	5.95 ± 0.47 <sup>a</sup>	12.80 ± 0.30 <sup>a</sup>	1.14 ± 0.02 <sup>ab</sup>	14.12 ± 0.46 <sup>a</sup>	94.25 ± 0.11 <sup>b</sup>	-0.35 ± 0.02 <sup>a</sup>	17.92 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.00 <sup>a</sup>	17.92 ± 0.06 <sup>b</sup>	85.85 ± 0.28 <sup>b</sup>
	เซลเซียส											
	60 องศา	35.98 ± 1.05 <sup>b</sup>	5.59 ± 0.80 <sup>a</sup>	11.17 ± 0.15 <sup>b</sup>	1.11 ± 0.05 <sup>b</sup>	12.50 ± 0.47 <sup>b</sup>	94.04 ± 0.08 <sup>b</sup>	-0.31 ± 0.01 <sup>a</sup>	19.20 ± 0.04 <sup>a</sup>	-1.56 ± 0.00 <sup>a</sup>	19.20 ± 0.04 <sup>a</sup>	85.37 ± 0.19 <sup>b</sup>
	เซลเซียส											
อินฟราเรด	70 องศา	35.36 ± 0.56 <sup>b</sup>	4.92 ± 0.34 <sup>a</sup>	13.05 ± 0.28 <sup>a</sup>	1.21 ± 0.02 <sup>a</sup>	13.95 ± 0.35 <sup>a</sup>	95.31 ± 0.18 <sup>a</sup>	-0.52 ± 0.04 <sup>b</sup>	14.10 ± 0.11 <sup>b</sup>	-1.54 ± 0.00 <sup>b</sup>	14.11 ± 0.11 <sup>c</sup>	88.36 ± 0.55 <sup>a</sup>
	เซลเซียส											
	80 องศา	38.88 ± 1.26 <sup>a</sup>	5.29 ± 0.80 <sup>b</sup>	12.79 ± 0.34 <sup>a</sup>	1.18 ± 0.05 <sup>ab</sup>	13.85 ± 0.61 <sup>a</sup>	95.48 ± 0.23 <sup>a</sup>	-0.63 ± 0.04 <sup>c</sup>	14.18 ± 0.12 <sup>b</sup>	-1.53 ± 0.00 <sup>c</sup>	14.19 ± 0.12 <sup>c</sup>	88.76 ± 0.55 <sup>a</sup>
	เซลเซียส											
สุญญากาศ	50 องศา	24.60 ± 0.07 <sup>a</sup>	7.46 ± 0.84 <sup>a</sup>	10.74 ± 0.15 <sup>a</sup>	0.96 ± 0.06 <sup>a</sup>	13.09 ± 0.43 <sup>a</sup>	83.87 ± 0.65 <sup>b</sup>	3.44 ± 0.15 <sup>a</sup>	43.81 ± 0.09 <sup>a</sup>	1.49 ± 0.00 <sup>b</sup>	43.94 ± 0.10 <sup>a</sup>	63.81 ± 1.24 <sup>b</sup>
	เซลเซียส											
	55 องศา	24.20 ± 0.43 <sup>a</sup>	6.52 ± 0.64 <sup>a</sup>	10.04 ± 0.46 <sup>a</sup>	0.99 ± 0.03 <sup>a</sup>	11.97 ± 0.72 <sup>a</sup>	86.43 ± 0.34 <sup>a</sup>	1.49 ± 0.07 <sup>b</sup>	35.87 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.53 ± 0.00 <sup>a</sup>	35.90 ± 0.04 <sup>b</sup>	68.84 ± 0.70 <sup>a</sup>
	เซลเซียส											
ไมโครเวฟ	1800 วัตต์	22.37 ± 0.45 <sup>b</sup>	6.71 ± 0.18 <sup>a</sup>	9.24 ± 0.32 <sup>b</sup>	0.94 ± 0.02 <sup>a</sup>	11.42 ± 0.27 <sup>b</sup>	90.87 ± 0.53 <sup>a</sup>	0.46 ± 0.12 <sup>b</sup>	24.69 ± 0.16 <sup>b</sup>	1.55 ± 0.00 <sup>a</sup>	24.70 ± 0.16 <sup>a</sup>	78.21 ± 1.15 <sup>a</sup>
	4800 วัตต์	26.03 ± 0.36 <sup>a</sup>	6.69 ± 0.41 <sup>a</sup>	10.09 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.99 ± 0.03 <sup>a</sup>	12.11 ± 0.21 <sup>a</sup>	90.12 ± 0.98 <sup>a</sup>	1.31 ± 0.21 <sup>a</sup>	24.91 ± 0.37 <sup>a</sup>	1.52 ± 0.01 <sup>b</sup>	24.95 ± 0.38 <sup>a</sup>	76.57 ± 2.13 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษร a, b, c, d ที่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ใช้วิธีการอบแห้งชนิดเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันที่ P < 0.05

## 1.2 คุณภาพด้านเคมีของน้ำชาจากดอกกาแฟ

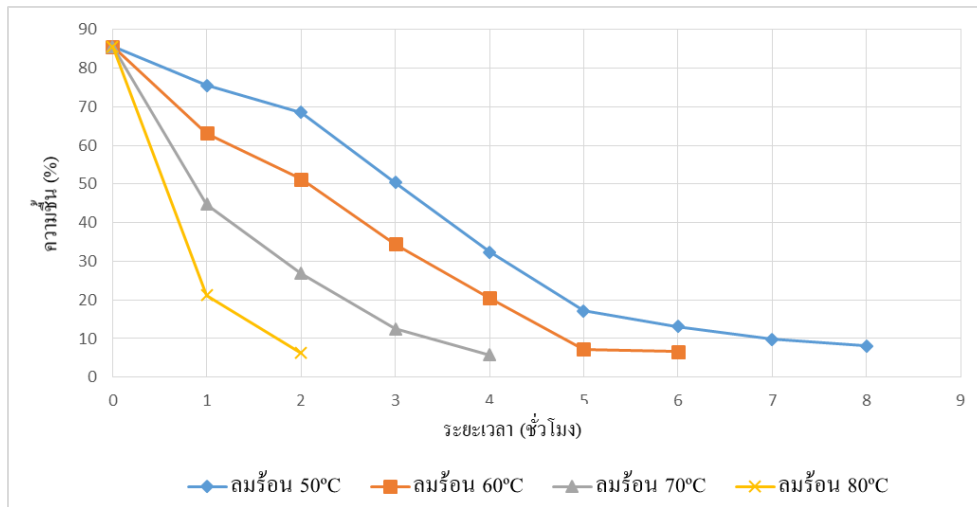
การอบแห้งด้วยวิธีและสภาวะต่างๆ พบว่าทุกตัวอย่างมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนัก ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานเรื่อง ชาสมุนไพร (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 280) พ.ศ. 2547) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลความชื้นของดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยวิธี และสภาวะต่างๆ

วิธีการอบแห้ง	สภาวะการอบแห้ง	ความชื้น (ร้อยละ)
ตู้อบลมร้อน	50 องศาเซลเซียส, 8 ชั่วโมง	$8.13 \pm 0.47$
	60 องศาเซลเซียส, 6 ชั่วโมง	$6.68 \pm 0.51$
	70 องศาเซลเซียส, 4 ชั่วโมง	$5.80 \pm 0.24$
	80 องศาเซลเซียส, 2 ชั่วโมง	$6.20 \pm 0.18$
อินฟราเรดสุญญากาศ	50 องศาเซลเซียส, 50 นาที	$7.38 \pm 0.69$
	55 องศาเซลเซียส, 40 นาที	$8.20 \pm 0.87$
ไมโครเวฟสุญญากาศ	1800 วัตต์, 20 นาที	$7.00 \pm 0.31$
	4800 วัตต์, 10 นาที	$5.33 \pm 0.22$

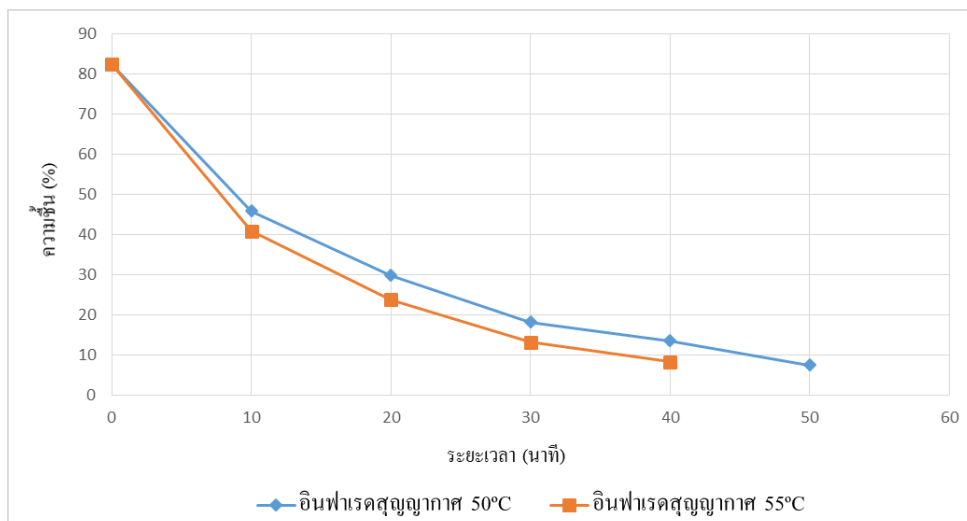
หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

การอบแห้งดอกกาแฟโดยมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ  $85.53 \pm 2.45$  ที่อุณหภูมิและระยะเวลาอบแห้งต่างๆ มีผลต่ออัตราการอบแห้งต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 10 จะเห็นว่าการอบแห้งแบบลมร้อนทุกอุณหภูมิในช่วงระยะเวลา 0 – 3 ชั่วโมง ทำให้ความชื้นของดอกกาแฟเกิดการลดลงอย่างรวดเร็ว โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีอัตราการอบแห้งสูง และอัตราการอบแห้งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิกอบแห้งต่ำลง จากนั้นเริ่มเข้าสู่ช่วงการอบแห้งแบบคงที่ และเข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง โดยดอกกาแฟที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส จะมีความชื้นลดต่ำกว่าร้อยละ 10 เมื่ออบแห้งเป็นระยะเวลา 2 4 6 และ 8 ชั่วโมงตามลำดับ



ภาพที่ 10 อัตราการทำแห้งของดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 11 แสดงอัตราการอบแห้งของดอกกาแฟด้วยอินฟราเรดสุญญากาศ พบว่าการอบแห้งที่ระยะเวลา 0 – 10 นาที ทำให้ความชื้นของดอกกาแฟ (ดอกกาแฟมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ  $82.37 \pm 2.14$ ) เกิดการลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นเริ่มเข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งจะลดลง และเข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่เมื่อระยะเวลาผ่านไป 30 นาที โดยความชื้นของดอกกาแฟที่อบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียส จะมีความชื้นลดต่ำกว่าร้อยละ 10 เมื่ออบแห้งเป็นระยะเวลา 50 และ 40 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 11 อัตราการทำแห้งของดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 5 แสดงอัตราการอบแห้งดอกกาแฟด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่าการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 1800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 - 10 นาที ทำให้ความชื้นของดอกกาแฟ (ดอกกาแฟมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ  $83.62 \pm 2.27$ ) เกิดการลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะเวลาผ่านไป ความชื้นของดอกกาแฟมีอัตราการอบแห้งลดลงจนกระทั่งดอกกาแฟมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 โดยความชื้นของดอกกาแฟที่อบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 1800 และ 4800 วัตต์ ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 20 และ 10 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ 5 อัตราการทำแห้งของดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 1800 และ 4800 วัตต์

ระยะเวลา (นาที)	ความชื้นของดอกกาแฟที่อบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ	
	1800 วัตต์	4800 วัตต์
0	$83.62 \pm 2.27$	$83.62 \pm 2.27$
5	$35.6 \pm 1.15$	$35.6 \pm 1.04$
10	$22.9 \pm 0.89$	$5.33 \pm 0.52$
15	$12.3 \pm 0.72$	-
20	$7 \pm 0.31$	-

จากตารางที่ 6 แสดงผลของวิธีและสภาวะต่างๆ ในการอบแห้งที่มีต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ เมื่อเปรียบเทียบ ระหว่างตัวอย่างชาดอกกาแฟที่ใช้วิธีการอบแห้งแบบลมร้อน พบว่าชาดอกกาแฟที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด ( $P < 0.05$ ) แต่ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดไม่มีความแตกต่าง ( $P > 0.05$ ) โดยการอบแห้งแบบลมร้อนมีตัวกลางเป็นลมร้อนในการถ่ายเทความร้อน และสามารถยับยั้งเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol Oxidase/PPO) ที่มีอยู่ในพืชได้อย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส ทำให้ลดการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกจากปฏิกิริยาของเอนไซม์เหล่านี้ (Dewanto *et al.*, 2002)

การอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ พบว่าชาดอกกาแฟที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสมีปริมาณฟีนอลิกและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงกว่า ชาดอกกาแฟที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ( $P < 0.05$ ) โดยการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ เป็นการใช้รังสีอินฟราเรดสร้างของความร้อนทำให้เกิดการสลายโครงสร้างของเซลล์ ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกมีการปลดปล่อยออกมาภายนอกเซลล์มากขึ้น (Arslan and Ozcan, 2010) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิสูงจึงมีปริมาณมากกว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างความร้อนจากภายในอาหาร ทำให้โมเลกุลภายในอาหารเกิดการสั่น เกิดการทำลายพันธะโควาเลนต์ภายในโมเลกุล ทำให้กระตุ้นสารประกอบฟีนอลิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำให้เป็นอิสระ และเกิดการปลดปล่อยสารประกอบ เช่น ฟลาโวนอยด์, แคลโรทีน, ไลโคปีน, แทนนิน, แอสคอร์เบต, ฟลาโวโปรตีน หรือโพลีฟีนอล

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่อบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่าชาดอกกาแฟที่อบแห้งที่ 4800 วัตต์ มีปริมาณฟีนอลิกและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าชาดอกกาแฟที่อบแห้งที่ 1800 วัตต์ ( $P < 0.05$ ) โดยการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ เป็นการสร้างความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง โดยคลื่นไมโครเวฟจะเหนี่ยวนำให้โมเลกุลของน้ำภายในอาหารเกิดการหมุนจากการเปลี่ยนแปลงขั้วไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดการเสียดสีของโมเลกุลของน้ำภายในอาหารจนเกิดเป็นพลังงานความร้อนอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ทำลายเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ช่องว่างภายในเซลล์เกิดการรวมตัวกัน (Collapsed) เกิดการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกออกมาภายนอกเซลล์มากขึ้น (Di Cesare *et al.*, 2003) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Figiel (2010) ที่ศึกษาการทำแห้งบิทูทด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่าเมื่อใช้กำลังวัตต์สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงขึ้น

จากตารางที่ 6 เมื่อทดสอบประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP ในตัวอย่างชาดอกกาแฟที่ใช้วิธีการอบแห้งแบบลมร้อน พบว่าชาดอกกาแฟที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล ABTS และ DPPH สูงที่สุด ( $P < 0.05$ ) และตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนเมื่อทดสอบวิธี FRAP สูงที่สุด ( $P < 0.05$ ) สอดคล้องกับจากงานวิจัยของฤทธิชัย อัครราชันย์ (2556) พบว่าการอบแห้งดอกเบญจมาศด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าตัวอย่างที่อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสสามารถกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS และ DPPH มากกว่าการอบแห้งที่สภาวะอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องจากตัวอย่างดอกเบญจมาศที่อบแห้งในสภาวะดังกล่าวเกิดความร้อนในระดับที่เหมาะสมในการอบแห้ง ซึ่งที่สภาวะการอบแห้งนี้อาจทำให้สารที่มีสมบัติในการกำจัดอนุมูลอิสระถูกปลดปล่อยออกจากโครงสร้างเซลล์มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระดับของอุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้งสูงมากเกินไปจะทำให้ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระลดลง โดยอาจเกิดการสลายตัวของสารที่มีสมบัติการกำจัดอนุมูลอิสระเนื่องจากได้รับความร้อนสูงเกินไป

เมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบอินฟาเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่าชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสมีความสามารถ



ในการให้อิเล็กตรอนเมื่อทดสอบด้วยวิธี FRAP สูงกว่า ( $P < 0.05$ ) แต่มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล ABTS และ DPPH ต่ำกว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ( $P < 0.05$ )

จากการเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่าชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งที่ 4800 วัตต์มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH และ FRAP สูงกว่า ( $P < 0.05$ ) แต่มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล ABTS ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่อบแห้งที่ 1800 วัตต์ ( $P < 0.05$ )

การทดสอบความสามารถในการเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH เป็นการทดสอบความสามารถในการให้อิเล็กตรอนอะตอมของสารกำจัดอนุมูลอิสระแก่อนุมูล DPPH• (Binsan *et al.*, 2008) ส่วนประสิทธิภาพของความสามารถในการจับอนุมูล ABTS เป็นการทดสอบความสามารถของสารกำจัดอนุมูลอิสระในการให้อิเล็กตรอนกับอนุมูล ABTS• ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลโดยสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น กรดแทนนิก มีความสามารถในการจับอนุมูล ABTS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังขึ้นกับจำนวนวงแหวนอะโรมาติก และการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิล (Benjakul *et al.*, 2014) สำหรับการทดสอบความสามารถของสารกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เป็นการทดสอบความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในการรีดิวซ์อนุมูลอิสระตั้งเคราะห์ โดยการถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับอนุมูลอิสระ (คุณสมบัติเป็น reductant) ทำให้สารประกอบเชิงซ้อน  $[Fe(III)(TPTZ)_2]^{3+}$  รับอิเล็กตรอนจากสารกำจัดอนุมูลอิสระในตัวอย่าง จากนั้นเกิดการเปลี่ยนเป็น  $[Fe(II)(TPTZ)_2]^{2+}$  (Alam *et al.*, 2013)

สารประกอบฟีนอลิกมีความสัมพันธ์ต่อคุณสมบัติสารกำจัดอนุมูลอิสระ ดังนั้นเมื่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าสูง กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระจึงมีค่าสูงเช่นกัน (สมฤดี ไทพานิชย์ และ ชิดารัตน์ แยมอาษา, 2552) เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกสามารถหยุดปฏิกิริยาอนุมูลอิสระโดยการให้อนุมูลไฮโดรเจน (H) หรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระโดยตรง เป็นผลให้อนุมูลนั้นกลายเป็นสารที่มีความเสถียรขึ้น เกิดปฏิกิริยาต่อได้ยาก จึงเป็นการชะลอการเกิดปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ ประสิทธิภาพในการเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกขึ้นอยู่กับจำนวนและการจัดเรียงตัวของหมู่ไฮดรอกซิล และความสามารถในการให้อิเล็กตรอนของโครงสร้างวงแหวน (Elzaawely *et al.*, 2007) กรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์มีคุณสมบัติในการเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระ เนื่องจากฟลาโวนอยด์มีหมู่ออร์โทไดไฮดรอกซิล (Ortho-dihydroxyl, 3',4'-dihydroxy) บนวงแหวน B (B ring structure) และมีหมู่ 4-oxo (C=O) บนวงแหวน C (ฉันทิภา ศีลาฉาย, 2548) ทำหน้าที่เป็นสารจับกับโลหะไอออนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้สามารถสร้างสารประกอบเชิงซ้อนกับเหล็ก (Iron) และคอปเปอร์ไอออน (Copper iron) นอกจากนี้ฟลาโวนอยด์สามารถให้อะตอมของไฮโดรเจนกับอนุมูลอิสระเกิดเป็น

ผลิตภัณฑ์ของอนุมูลอิสระที่มีความเสถียรมากขึ้น และ/หรือทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระในขั้นตอนของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้หยุดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (บุหรัน พันธุ์สุวรรณค์, 2556) นอกจากนี้การอบแห้งยังส่งผลให้เกิดปฏิกิริยามेलลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากน้ำตาลรีดิวซ์มีส่วนที่เป็นหมู่อัลดีไฮด์และคีโตนซึ่งทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน ทำให้เกิดสารสีน้ำตาลที่เรียกว่าเมลานอยดิน (Melanoidins) หรือ Maillard reaction products (MRPs) มีสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันจึงเป็นการเพิ่มฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระ (Vashisth *et al.*, 2011) ปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ เช่น คุณภาพของวัตถุดิบตัวอย่างเริ่มต้น แหล่งของวัตถุดิบวันที่เก็บเกี่ยว สภาพภูมิอากาศ และการเก็บรักษา (Moure *et al.*, 2001; Hagerman *et al.*, 1998) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Piga และคณะ (2003) พบว่าการทำแห้งลูกพลัมและลูกพรุนโดยวิธีลมร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ทำให้ฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระสูงกว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสเกิดปฏิกิริยามेलลาร์ดทำให้เกิดสารประกอบใหม่ที่มีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระสูง

ตารางที่ 6 คุณสมบัติในการเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระ, ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยวิธีและสภาวะต่างๆ

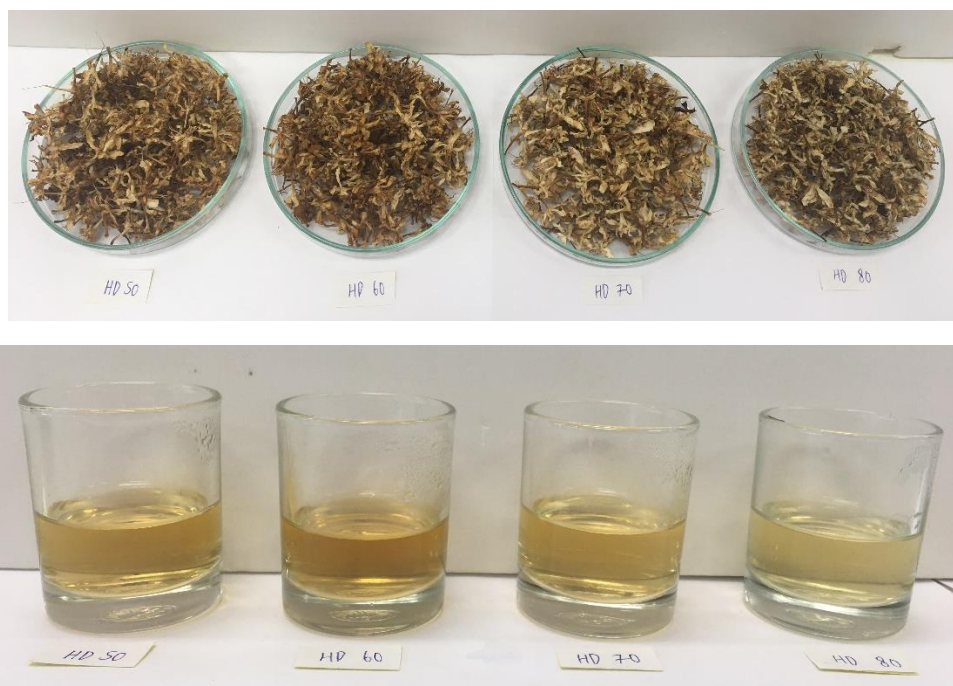
วิธีการอบแห้ง	สภาวะการอบแห้ง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด		ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด		กิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ (มิลลิกรัม Trolox/กรัม น้ำหนักแห้ง)		
		ฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมคาเทชิน/กรัมน้ำหนักแห้ง)	ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (มิลลิกรัมคาเทชิน/กรัมน้ำหนักแห้ง)	FRAP	ABTS	DPPH	FRAP
ตู้อบลมร้อน	50 องศาเซลเซียส	22.22 ± 0.78 <sup>c</sup>	11.80 ± 0.04 <sup>a</sup>	106.37 ± 1.47 <sup>c</sup>	150.27 ± 1.71 <sup>c</sup>	235.92 ± 1.00 <sup>c</sup>		
	60 องศาเซลเซียส	23.50 ± 0.60 <sup>bc</sup>	11.47 ± 0.18 <sup>a</sup>	84.16 ± 0.75 <sup>d</sup>	130.28 ± 1.91 <sup>d</sup>	227.51 ± 0.98 <sup>d</sup>		
	70 องศาเซลเซียส	23.95 ± 1.29 <sup>b</sup>	11.84 ± 0.30 <sup>a</sup>	293.05 ± 1.29 <sup>a</sup>	394.54 ± 8.58 <sup>a</sup>	250.63 ± 1.49 <sup>b</sup>		
	80 องศาเซลเซียส	25.60 ± 0.54 <sup>a</sup>	11.51 ± 0.22 <sup>a</sup>	239.36 ± 0.47 <sup>b</sup>	307.94 ± 1.71 <sup>b</sup>	273.64 ± 0.97 <sup>a</sup>		
อินฟราเรด	50 องศาเซลเซียส	16.17 ± 0.07 <sup>b</sup>	8.78 ± 0.14 <sup>b</sup>	266.95 ± 1.43 <sup>a</sup>	357.93 ± 1.08 <sup>a</sup>	184.23 ± 1.31 <sup>b</sup>		
สุญญากาศ	55 องศาเซลเซียส	17.23 ± 0.44 <sup>a</sup>	10.89 ± 0.31 <sup>a</sup>	177.06 ± 1.09 <sup>b</sup>	350.39 ± 0.94 <sup>b</sup>	242.44 ± 1.72 <sup>a</sup>		
ไมโครเวฟ	1800 วัตต์	18.63 ± 0.27 <sup>b</sup>	10.97 ± 0.11 <sup>b</sup>	177.11 ± 0.47 <sup>a</sup>	102.50 ± 1.43 <sup>b</sup>	219.33 ± 0.98 <sup>b</sup>		
สุญญากาศ	4800 วัตต์	36.73 ± 1.64 <sup>a</sup>	16.35 ± 0.11 <sup>a</sup>	148.83 ± 0.80 <sup>b</sup>	304.57 ± 1.10 <sup>a</sup>	290.56 ± 1.47 <sup>a</sup>		

หมายเหตุ เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ใช้วิธีการอบแห้งชนิดเดียวกัน อักษร a,b,c,d ที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับในคอลัมน์เดียวกัน

แสดงว่า มีความแตกต่างกันที่ P < 0.05

### 1.3 คุณภาพด้านการยอมรับทางประสาทสัมผัสของดอกกาแฟอบแห้งและน้ำชาจากดอกกาแฟ

ตารางที่ 7 แสดงผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างดอกกาแฟที่ผ่านการอบด้วยวิธีและสภาวะต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าคะแนนความชอบด้านสีของดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีคะแนนสูงกว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ( $P < 0.05$ ) เนื่องจากตัวอย่างมีสีค่อนข้างเข้มกว่าตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง (ดังกล่าว  $L^*$  ในตารางที่ 3) สำหรับน้ำชาจากดอกกาแฟพบว่าชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงที่สุด ( $P < 0.05$ ) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาสั้นที่สุด ทำให้สามารถรักษากลิ่นให้มีความใกล้เคียงกับดอกกาแฟสดได้ ซึ่งมีผลต่อความชอบของผู้ทดสอบ ขณะที่ลักษณะปรากฏของดอกกาแฟอบแห้ง และน้ำชาจากดอกกาแฟ สี กลิ่นรสของน้ำชา และความชอบโดยรวมของทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) เนื่องจากลักษณะปรากฏของดอกกาแฟที่อบแห้งโดยใช้ลมร้อนมีสีค่อนข้างอ่อน และแต่ละตัวอย่างมีลักษณะไม่แตกต่างกันมากนัก ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียสตามลำดับ

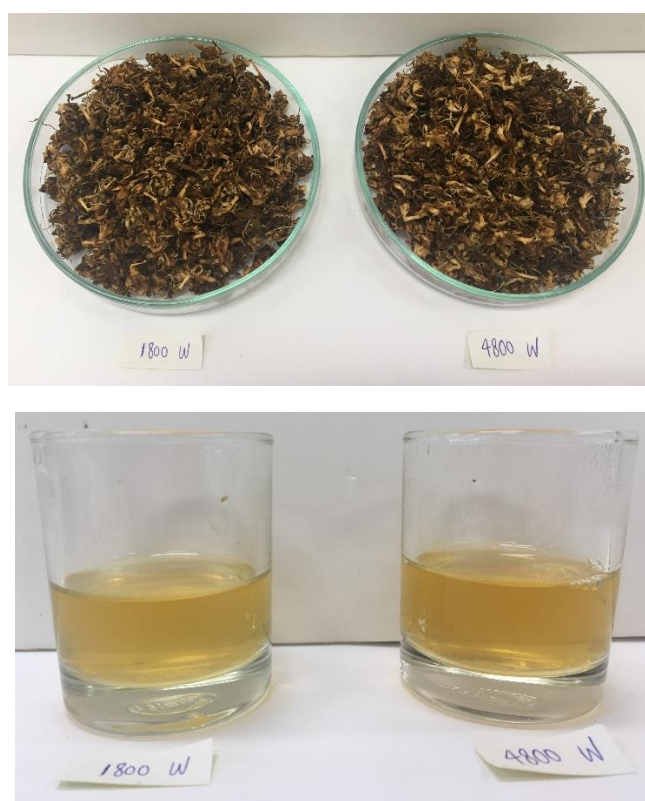
เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมและคุณสมบัติทางเคมีพบว่าตัวอย่างอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นตัวอย่างที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ใช้วิธีการอบแห้งวิธีเดียวกัน ดังนั้นจึงคัดเลือกตัวอย่างดังกล่าวไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารโพลีฟีนอลิกในขั้นต่อไป

สำหรับตัวอย่างดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยเครื่องอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่าคะแนนความชอบของดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟทุกคุณลักษณะไม่มีความแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าสีของตัวอย่างดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดสุญญากาศ ซึ่งค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ไม่มีความแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) แม้ค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ของตัวอย่างน้ำชาจะมีความแตกต่างกัน ( $P < 0.05$ ) แต่ลักษณะปรากฏและสีของน้ำชามีความใกล้เคียงกันมาก ดังแสดงในภาพที่ 13 ทำให้ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมและคุณสมบัติทางเคมีพบว่าตัวอย่างอบแห้งด้วยเครื่องอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีคุณสมบัติด้านกลิ่นดีกว่าตัวอย่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงคัดเลือกตัวอย่างดังกล่าวไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในขั้นต่อไป



ภาพที่ 13 ดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียสตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนความชอบของตัวอย่างที่อบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศที่ 1800 และ 4800 วัตต์ พบว่าคะแนนความชอบของดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟทุกคุณลักษณะ ไม่มีความแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) แม้ว่าตัวอย่างทั้งสองจะมีค่า  $L^*$  และ  $b^*$  ของตัวอย่างแตกต่างกัน ( $P < 0.05$ ) ในขณะที่ค่า  $a^*$  ไม่มีความแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) โดยชาดอกกาแฟทั้งสองมีสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ ดังภาพที่ 14 ซึ่งไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของความชอบของผู้บริโภค ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์ ไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารโพลีฟีนอลิกในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 14 ดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 1800 และ 4800 วัตต์ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ตัวอย่างที่อบแห้งแบบลมร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส อบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศที่ 50 องศาเซลเซียส และอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์ เป็นตัวอย่างที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ใช้วิธีการอบแห้งวิธีเดียวกัน ดังนั้นจึงคัดเลือกตัวอย่างทั้ง 3 ไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารโพลีฟีนอลิกต่อไป

ตารางที่ 7 คะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของดอกกาแฟอบแห้ง และนำชากจากดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยวิธี และสภาวะต่างๆ

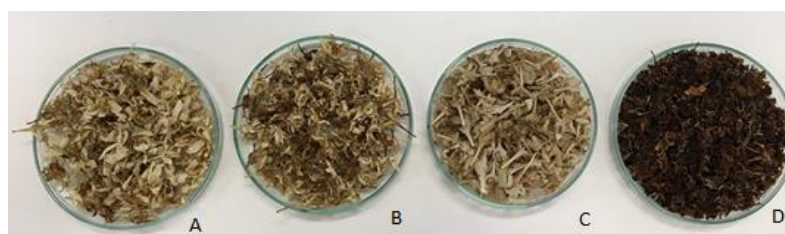
วิธีการ อบแห้ง	สภาวะการอบแห้ง	ดอกกาแฟ		น้ำชากจากดอกกาแฟ				ความชอบ โดยรวม
		ลักษณะปรากฏ	สี	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	กลิ่นรส	
ตูบกลมร้อน	50 องศาเซลเซียส	7.40 ± 0.86 <sup>a</sup>	7.33 ± 0.84 <sup>a</sup>	7.63 ± 0.76 <sup>a</sup>	7.53 ± 0.90 <sup>a</sup>	7.07 ± 1.25 <sup>b</sup>	6.90 ± 1.53 <sup>a</sup>	7.07 ± 1.31 <sup>a</sup>
	60 องศาเซลเซียส	7.37 ± 0.85 <sup>a</sup>	7.47 ± 0.94 <sup>a</sup>	7.60 ± 0.77 <sup>a</sup>	7.43 ± 0.90 <sup>a</sup>	7.20 ± 1.24 <sup>ab</sup>	7.03 ± 1.45 <sup>a</sup>	7.06 ± 1.44 <sup>a</sup>
	70 องศาเซลเซียส	7.13 ± 0.86 <sup>a</sup>	6.83 ± 1.09 <sup>b</sup>	7.87 ± 0.63 <sup>a</sup>	7.80 ± 0.80 <sup>a</sup>	7.47 ± 0.86 <sup>ab</sup>	7.06 ± 1.34 <sup>a</sup>	7.10 ± 1.03 <sup>a</sup>
	80 องศาเซลเซียส	7.13 ± 0.68 <sup>a</sup>	7.10 ± 0.84 <sup>ab</sup>	7.70 ± 0.65 <sup>a</sup>	7.53 ± 0.86 <sup>a</sup>	7.57 ± 0.97 <sup>a</sup>	7.43 ± 1.10 <sup>a</sup>	7.60 ± 0.89 <sup>a</sup>
อินฟราเรด	50 องศาเซลเซียส	6.73 ± 1.20 <sup>a</sup>	6.87 ± 1.01 <sup>a</sup>	6.93 ± 1.28 <sup>a</sup>	6.80 ± 1.61 <sup>a</sup>	6.27 ± 1.68 <sup>a</sup>	6.40 ± 1.48 <sup>a</sup>	6.53 ± 1.17 <sup>a</sup>
	55 องศาเซลเซียส	6.73 ± 1.97 <sup>a</sup>	6.87 ± 1.17 <sup>a</sup>	6.87 ± 1.25 <sup>a</sup>	7.07 ± 1.17 <sup>a</sup>	6.23 ± 1.10 <sup>a</sup>	6.63 ± 1.03 <sup>a</sup>	6.73 ± 0.91 <sup>a</sup>
สุญญากาศ	1800 วัตต์	7.40 ± 0.72 <sup>a</sup>	7.43 ± 0.73 <sup>a</sup>	7.43 ± 0.86 <sup>a</sup>	6.97 ± 1.03 <sup>a</sup>	6.67 ± 1.27 <sup>a</sup>	6.97 ± 1.27 <sup>a</sup>	6.97 ± 0.81 <sup>a</sup>
	4800 วัตต์	7.60 ± 0.77 <sup>a</sup>	7.60 ± 0.81 <sup>a</sup>	7.37 ± 0.89 <sup>a</sup>	7.57 ± 0.86 <sup>a</sup>	7.03 ± 1.16 <sup>a</sup>	6.87 ± 1.33 <sup>a</sup>	7.13 ± 1.01 <sup>a</sup>

หมายเหตุ เป็นการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ใช้วิธีการอบแห้งชนิดเดียวกัน อักษร a, b, c, d ที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันที่ P < 0.05

## 2. ผลของวิธีการอบแห้งที่คัดเลือกสภาวะต่อคุณภาพของดอกกาแฟอบแห้งและน้ำชาจากดอกกาแฟ

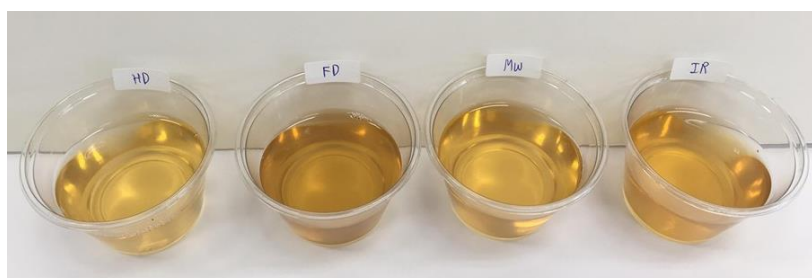
### 2.1 คุณภาพทางกายภาพของดอกกาแฟอบแห้งและน้ำชาจากดอกกาแฟ

จากตารางที่ 8 เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส, อบแห้งด้วยอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส, อบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์ และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดสุญญากาศ และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่า  $L^*$  สูงที่สุด ขณะที่ตัวอย่างที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีค่า  $L^*$  ต่ำสุด และมี  $a^*$  สูงที่สุด ตัวอย่างที่อบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่า  $b^*$  สูงที่สุด ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ดอกกาแฟที่อบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ (A) แบบลมร้อน (B) แบบแช่เยือกแข็ง (C) และแบบไมโครเวฟสุญญากาศ (D)

เมื่อพิจารณาด้านสีและความใสของน้ำชาจากดอกกาแฟ พบว่าน้ำชาจากดอกกาแฟที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศมีค่า  $L^*$  สูงสุด แต่มีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ต่ำที่สุด ค่า  $h^*$  มีค่าอยู่ในช่วง 1.10 ถึง 1.35 ซึ่งอยู่ในเขตสีแดง-เหลือง ซึ่งดอกกาแฟที่อบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีเม็ดสีเหลืองที่มีความอิ่มตัวของสีน้อยที่สุด ในขณะที่น้ำชาจากดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่า  $L^*$  ต่ำสุด ส่วน  $a^*$  และ  $b^*$  มีค่าสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับทุกตัวอย่าง ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 16 ค่า  $h^*$  ของน้ำชาที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.10 ถึง 1.45 ซึ่งอยู่ในเขตสีแดง-เหลือง โดยน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์มีเม็ดสีเหลืองที่บด และน้ำชาจากดอกกาแฟทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีเม็ดสีเหลือง-แดงที่มีความอิ่มตัวของสีมากที่สุด



ภาพที่ 16 น้ำชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งแบบลมร้อน (HD) แบบแช่เยือกแข็ง (FD) แบบไมโครเวฟสุญญากาศ (MW) และแบบอินฟราเรดสุญญากาศ (IR)



ตารางที่ 8 ค่าสีของดอกกาแฟและน้ำชากาแฟและความใสของน้ำชากาแฟที่ผ่านการคัดเลือกจากการอบแห้งด้วยวิธี และสภาวะต่างๆ

วิธีการอบแห้ง	ค่าสีของดอกกาแฟแห้ง				ค่าสีของน้ำชากาแฟ				ความใส (%T)		
	L*	a*	b*	Hue	Chroma	L*	a*	b*		Hue	Chroma
แบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส, 2 ชั่วโมง	45.20 ± 0.83 <sup>b</sup>	4.51 ± 0.42 <sup>c</sup>	18.39 ± 2.05 <sup>b</sup>	1.35 ± 0.05 <sup>a</sup>	22.15 ± 1.23 <sup>a</sup>	76.26 ± 1.07 <sup>b</sup>	13.36 ± 0.08 <sup>c</sup>	47.55 ± 0.09 <sup>c</sup>	1.30 ± 0.01 <sup>b</sup>	49.39 ± 0.06 <sup>c</sup>	50.32 ± 1.75 <sup>b</sup>
แบบอินฟราเรด	55.52 ± 1.69 <sup>a</sup>	5.51 ± 0.50 <sup>b</sup>	20.38 ± 1.72 <sup>ab</sup>	1.31 ± 0.04 <sup>a</sup>	22.20 ± 2.26 <sup>a</sup>	68.72 ± 1.06 <sup>c</sup>	19.16 ± 0.20 <sup>b</sup>	59.30 ± 0.26 <sup>b</sup>	1.26 ± 0.01 <sup>c</sup>	62.31 ± 0.28 <sup>b</sup>	38.84 ± 1.23 <sup>c</sup>
สูญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส, 50 นาที	23.84 ± 0.66 <sup>c</sup>	7.20 ± 1.07 <sup>a</sup>	14.30 ± 1.19 <sup>c</sup>	1.33 ± 0.04 <sup>a</sup>	21.03 ± 0.60 <sup>a</sup>	80.90 ± 1.11 <sup>a</sup>	5.46 ± 0.20 <sup>d</sup>	41.20 ± 0.20 <sup>d</sup>	1.45 ± 0.01 <sup>a</sup>	41.56 ± 0.22 <sup>d</sup>	58.30 ± 2.02 <sup>a</sup>
แบบแช่เยือกแข็ง, สูญญากาศที่ 4800 วัตต์, 10 นาที	55.53 ± 1.97 <sup>a</sup>	5.35 ± ±0.44 <sup>bc</sup>	21.95 ± 1.08 <sup>a</sup>	1.10 ± 0.07 <sup>b</sup>	14.75 ± 2.25 <sup>b</sup>	42.42 ± 0.57 <sup>d</sup>	34.53 ± 0.11 <sup>a</sup>	67.88 ± 0.73 <sup>a</sup>	1.10 ± 0.00 <sup>d</sup>	76.16 ± 0.69 <sup>a</sup>	12.78 ± 0.37 <sup>d</sup>

หมายเหตุ อักษร a, b, c, d ที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันที่ P < 0.05

การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าของอาหารเกิดการสะท้อนแสง และสี โดยปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในระหว่างการอบแห้งและการมีออกซิเจนในระบบซึ่งเอื้อต่อการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Di Cesare *et al.*, 2003) ทำให้ยังคงมีกิจกรรมระหว่างเริ่มต้นของการอบแห้ง สอดคล้องกับผลการทดลองของ รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม (2549) พบว่าการอบแห้งลำไยที่สภาวะในการอบแห้งที่สูง 80 องศาเซลเซียส ไม่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้อย่างสมบูรณ์ ถึงแม้ว่าจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน รวมทั้งเกิดการสลายตัวของรงควัตถุโดยความร้อนจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Wojdylo *et al.*, 2009) จากการสังเกตพบว่าดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์มีสีคล้ำที่สุด เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่อบแห้งด้วยวิธีอื่นๆ เนื่องจากปฏิกิริยาการเมลลาร์ดซึ่งเป็นการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากเกิดการสลายตัวของโมเลกุลน้ำตาลด้วยความร้อนสูง โดยไม่มีสารประกอบจำพวกอะมิโน (Berk, 1976) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศมีสีอ่อนที่สุด เนื่องจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการทำแห้งในอุณหภูมิต่ำ โดยลดการเคลื่อนที่ของโมเลกุล และเมื่อน้ำในอาหารเปลี่ยนสภาพเป็นน้ำแข็งจะไม่สามารถทำหน้าที่ต่างๆ ในปฏิกิริยาเคมีทำให้ชะลอกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสส่งผลให้ลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (จิ่งแท้ ศิริพานิช, 2550) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jiang และคณะ (2010) พบว่าการทำแห้งแผ่นกล้วยด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด สำหรับการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำและอบแห้งในสภาวะสุญญากาศซึ่งมีออกซิเจนอยู่ในระบบน้อย ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์น้อย (อาภัสสร ศิริจริยวัตร และคณะ, 2560) จึงทำให้สีของดอกกาแฟเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสีขึ้นอยู่กับวิธีการทำแห้ง อุณหภูมิ เวลา และปริมาณออกซิเจนในระบบ (Therdthai and Zhou, 2009)

ในส่วนของความใสของน้ำชา พบว่าค่าความใส (%T) และค่า L\* ของน้ำชามีความสัมพันธ์กัน โดยน้ำชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์และอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำจะทำให้โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนและโพลีฟีนอลจึงลดลงส่งผลให้การเกิดตะกอนในน้ำชาลดลง (Siebert *et al.*, 1996) ต่างจากการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งเป็นการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับตารางที่ 17 พบว่าในตัวอย่างแบบแช่เยือกแข็งมี % area ของกรดคลอโรจีนิกมากที่สุดเมื่อเทียบกับทุกตัวอย่าง ทำให้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนสูง นอกจากนี้การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ดอกกาแฟมีลักษณะเปราะ แตกหักง่าย

ส่งผลให้เมื่อนำไปเตรียมเป็นน้ำชาจะมีลักษณะขุ่นและมีตะกอนมากกว่าตัวอย่างที่อบแห้งด้วยวิธีอื่นๆ ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาเคมีได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของ โปรตีนและพอลิฟีนอล ชนิดของตัวกลางหรือสารละลาย เช่น ชนิดของตัวทำละลาย ความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (Siebert *et al.*, 1996)

## 2.2 คุณภาพด้านเคมีของน้ำชาจากดอกกาแฟ

จากตารางที่ 9 แสดงผลความชื้นของตัวอย่างดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อบแห้งด้วยอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์ และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ดอกกาแฟมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ  $83.31 \pm 2.02$ ) พบว่าทุกตัวอย่างมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนัก ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานเรื่องชาสมุนไพร (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 280 พ.ศ. 2547)

ตารางที่ 9 ผลความชื้นของดอกกาแฟและน้ำชาจากดอกกาแฟที่ผ่านการคัดเลือก จากการอบแห้งด้วยวิธี และสภาวะต่างๆ

วิธีและสภาวะการอบแห้ง	ความชื้น (ร้อยละ)
แบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส, 2 ชั่วโมง	$7.63 \pm 0.51$
แบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส, 50 นาที	$7.14 \pm 0.68$
แบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์, 10 นาที	$6.67 \pm 0.54$
แบบแช่เยือกแข็ง, 20 ชั่วโมง	$7.56 \pm 0.42$

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

จากผลการทดลองในตารางที่ 10 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และคุณสมบัติการเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระ ระหว่างตัวอย่างที่อบแห้งวิธีต่างๆ ที่คัดเลือกสภาวะจากการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่าน้ำชาจากดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ( $32.61 \pm 0.31$  มิลลิกรัมแกลติก/กรัมต่อน้ำหนักแห้ง) รองลงมาคือตัวอย่างอบแห้งโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ( $19.55 \pm 0.18$  มิลลิกรัมแกลติก/กรัมต่อน้ำหนักแห้ง) ตัวอย่างอบแห้งด้วยอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ( $28.45 \pm 0.12$  มิลลิกรัมแกลติก/กรัมต่อน้ำหนักแห้ง) และตัวอย่างอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์ตามลำดับ ( $8.18 \pm 0.04$  มิลลิกรัมแกลติก/กรัมต่อน้ำหนักแห้ง)

การอบแห้งแบบใช้ลมร้อน มีลมร้อนเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนและสามารถยับยั้งเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสที่มีอยู่ในพืชได้อย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามกระบวนการอบแห้งจะไม่สามารถยับยั้งเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ เช่น พอลิฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเอนไซม์นี้ยังสามารถสลายสารประกอบฟีนอลิกได้ในระหว่างการอบแห้งที่ใช้ระยะเวลาสั้น (Lim and Murtijaya, 2007) รวมทั้งกิจกรรมของเอนไซม์จะเกิดขึ้นในช่วงแรกและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งเป็นเหตุผลให้

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างที่อบแห้งแบบลมร้อนลดลง (Di Cesare *et al.*, 2003) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tanongkankit และคณะ (2010) รายงานว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของใบกะหล่ำปลีขาว (*Brassica oleracea L. var capitata*) มีค่าลดลงหลังการอบแห้งโดยการใช้ลมร้อน ข้อเสียส่วนใหญ่ของการอบแห้งแบบลมร้อนคือ ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ทำให้เกิดการทำลายคุณค่าทางอาหาร เกิดการออกซิเดชันรงควัตถุ และการทำลายวิตามิน (Reyes *et al.*, 2007) และจากงานศึกษาของ Kuljarachanan *et al.* (2009) รายงานว่าสารประกอบฟีนอลิกและวิตามินซีในมะนาวมีแนวโน้มลดลงมากที่สุดในช่วงการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง

รังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความยาวมากกว่า 4 ไมโครเมตร แต่สั้นกว่าคลื่นไมโครเวฟ ( $\lambda > 0.1$  เซนติเมตร) การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นจากศูนย์กลางของวัตถุ และสามารถทำลายพันธะโคเวเลนต์ของสารประกอบฟีนอลิก เช่น ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน (Lee *et al.*, 2003) เมื่อโมเลกุลเกิดการดูดซับพลังงานและรังสีที่มีความยาวคลื่นบางอย่าง รังสีอินฟราเรดจะกระตุ้นสารประกอบชีวภาพที่มีมวลโมเลกุลน้อย เช่น พอลิฟีนอล ทำให้สามารถปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกจากในพืช (Wanyo *et al.*, 2009) ความแตกต่างระหว่างการอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรด และการใช้ลมร้อน คือ รังสีอินฟราเรดเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีการถูกดูดซับโดยตรงจากอาหาร สร้างความร้อนจากภายในอาหาร และส่งผ่านความร้อนให้เท่ากันภายในอาหาร โดยปราศจากการสลายของโมเลกุลที่บริเวณพื้นผิว และมีการสูญเสียพลังงานน้อยกว่าการใช้ลมร้อน (Niwa *et al.*, 1988) จึงส่งผลให้ตัวอย่างที่ทำแห้งด้วยวิธีนี้มีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงที่สุด ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ทำแห้งด้วยวิธีอื่นๆ

การอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ เป็นการสร้างความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ สามารถสร้างความร้อนโดยใช้ระยะเวลาสั้น ทำให้สามารถยับยั้งเอนไซม์ได้อย่างรวดเร็ว (Lim and Murtijaya., 2007) และการสั้นสะท้อนของโมเลกุลทำให้ช่องว่างภายในเซลล์เกิดการพังสลาย (Collapsed) และปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกมากขึ้น (Di Cesare *et al.*, 2003) แต่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ลดลงอาจเกิดจากสารกลุ่มดังกล่าวเกิดการออกซิเดชันและสลายตัวด้วยความร้อน เมื่อมีความร้อนเพิ่มมากขึ้นและใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน การอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูงกว่าทำให้ปริมาณฟีนอลิกมีการสูญเสียมากขึ้น (Ferreira *et al.*, 2002)

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการอบแห้งแบบไม่ใช้ความร้อน ทำให้สารประกอบที่ไวต่อความร้อน เช่น สารประกอบฟีนอลิกเกิดการสลายตัวน้อย เนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้ง (Chou and Chua, 2001) นอกจากนี้ยังทำให้ความสามารถในการสกัดสารดีขึ้น เนื่องจากในระหว่างการแช่เยือกแข็งเกิดการสร้างผลึกน้ำแข็งภายในเนื้อเยื่อ ซึ่งไปรบกวนโครงสร้างเซลล์ ทำให้สารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ภายในเซลล์ถูกปลดปล่อย (Shih *et al.*, 2009) ดังนั้นสารประกอบ

ฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจึงมีปริมาณมากที่สุด ( $P < 0.05$ ) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Orphanides และคณะ (2013) รายงานว่าการอบแห้งสเปียร์มินต์ (*Mentha viridis*) ด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่อบแห้งโดยใช้ตู้อบร้อน ระยะเวลา 7.5 ชั่วโมง และไมโครเวฟที่ 800 วัตต์ 80 วินาทีซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยที่สุด เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกที่ไวต่อความร้อนจะเกิดการสลายตัวหรือเกิดการเปลี่ยนรูปที่อุณหภูมิสูง โดยมีการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกและคุณสมบัติในการกำจัดอนุมูลอิสระมากกว่าร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และจากผลการศึกษาของ Hsu และคณะ (2003) พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระสูงกว่าการทำแห้งแบบลมร้อน เนื่องจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งใช้อุณหภูมิต่ำ สารประกอบฟีนอลิกจึงไม่ถูกทำลายด้วยความร้อน การสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และปัจจัยอื่นๆ เช่น อุณหภูมิในการเก็บรักษา ออกซิเจน ค่าออกเตอร็อกซิเดชัน ค่าพีเอช เอนไซม์ โมเลกุลภายในรงควัตถุ ส่วนประกอบภายในอาหาร กระบวนการในการเก็บรักษา และวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง (De Bruijn *et al.*, 2016)

ตารางที่ 10 คุณสมบัติในการเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระ, ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของดอกกาแฟที่

อบแห้งที่ผ่านการคัดเลือกจากวิธีและสภาวะต่างๆ

วิธีและสภาวะการอบแห้ง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมแกลลิก / กรัมน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (มิลลิกรัมคาเทชิน / กรัมน้ำหนักแห้ง)	คุณสมบัติการเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระ (มิลลิกรัม Trolox/กรัม น้ำหนักแห้ง)		
			ABTS	DPPH	FRAP
แบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส, 2 ชั่วโมง	19.55 ± 0.18 <sup>c</sup>	10.33 ± 0.03 <sup>b</sup>	309.78 ± 3.01 <sup>a</sup>	168.65 ± 1.94 <sup>b</sup>	72.38 ± 1.31 <sup>c</sup>
แบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส, 50 นาที	28.45 ± 0.12 <sup>b</sup>	12.05 ± 0.45 <sup>a</sup>	209.91 ± 0.40 <sup>b</sup>	114.50 ± 2.60 <sup>c</sup>	116.59 ± 1.79 <sup>b</sup>
แบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์, 10 นาที	8.18 ± 0.04 <sup>d</sup>	1.54 ± 0.04 <sup>d</sup>	166.91 ± 0.40 <sup>d</sup>	41.06 ± 0.97 <sup>d</sup>	27.44 ± 0.25 <sup>d</sup>
แบบแช่เยือกแข็ง, 20 ชั่วโมง	32.61 ± 0.31 <sup>a</sup>	9.31 ± 0.37 <sup>c</sup>	186.10 ± 1.29 <sup>c</sup>	198.70 ± 2.98 <sup>a</sup>	122.51 ± 1.52 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษร a,b,c,d ที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันที่ P < 0.05

จากตารางที่ 10 เมื่อพิจารณากิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS, DPPH radical scavenging และ FRAP ของน้ำชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งด้วยวิธีต่างๆ โดยใช้สภาวะการอบแห้งที่ผ่านการคัดเลือก พบว่าตัวอย่างที่ใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS สูงสุด ( $P < 0.05$ ) ในขณะที่ตัวอย่างที่อบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีกิจกรรม DPPH radical scavenging และ FRAP สูงสุด ( $P < 0.05$ ) สำหรับตัวอย่างที่อบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ มีกิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS, DPPH radical scavenging และ FRAP ต่ำสุด ( $P < 0.05$ ) เมื่อพิจารณากิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS, DPPH radical scavenging และ FRAP ของน้ำชาจากดอกกาแฟโดยใช้สภาวะการอบแห้งที่ผ่านการคัดเลือกในแต่ละวิธี พบว่าตัวอย่างที่ใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS สูงสุด ( $P < 0.05$ ) ในขณะที่ตัวอย่างที่อบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีกิจกรรม DPPH radical scavenging และ FRAP สูงสุด ( $P < 0.05$ ) สำหรับตัวอย่างที่อบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศมีกิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS, DPPH radical scavenging และ FRAP ต่ำสุด ( $P < 0.05$ )

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าสูงที่สุด ( $P < 0.05$ ) สัมพันธ์กับฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH และ FRAP แต่อาจไม่สัมพันธ์กับฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระวิธี ABTS เนื่องจากสารกำจัดอนุมูลอิสระกลุ่มฟีนอลิกแต่ละชนิดมีกลไกการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันต่างๆกัน (Wong *et al.*, 2006) การแปรรูปอาหารสามารถลดหรือเพิ่มคุณสมบัติของสารกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือชักนำให้เกิดสารประกอบใหม่ที่มีคุณสมบัติด้านออกซิเดชัน (Tomaino *et al.*, 2005) โดยปัจจัยที่มีผลในการทำปฏิกิริยาระหว่างอนุมูล DPPH กับสารกำจัดอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและวิธีการแปรรูปที่ใช้ (Chuah *et al.*, 2008) ดังนั้นการทำแห้งดอกกาแฟด้วยวิธีต่างๆ อาจทำให้โครงสร้างของสารประกอบเปลี่ยนไป นอกจากนี้ Naczka and Shahidi (2004) กล่าวว่า มีสารละลายที่มีสารประกอบฟีนอลิกบางชนิด ที่ไม่สามารถวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้ ได้แก่ กรดวานิลลิก (Vanillic acid), กรดพารา-ไฮดรอกซีเบนโซอิก (*p*-hydroxybenzoic acid) และ กรดพารา-คิวมาริก (*p*-coumaric acid) เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกสลายตัวไปเป็นสารประกอบชนิดอื่นๆ ซึ่งอาจยังเป็นสารในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกอยู่แต่ไม่มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ซึ่งความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกนั้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสาร โดยสารประกอบแต่ละชนิดแสดงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระแตกต่างกัน และการทำปฏิกิริยากับสาร Folin-ciocalteu reagent นั้นไม่จำเพาะเจาะจง จึงสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่พบในตัวอย่างได้ นอกจากนี้ความหลากหลายของสารประกอบฟีนอลิกมีการตอบสนองที่แตกต่างกันในวิธี Folin-Ciocalteu สำหรับการอบแห้งแบบ



ลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS สูงที่สุด ( $P < 0.05$ ) อาจจะเป็นเนื่องจากการอบแห้งแบบลมร้อนเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ทำให้เกิดสารตัวใหม่คือ Hydroxymethylfurfural (HMF) เป็นอนุพันธ์ฟูแรน ซึ่งจะพอลิเมอไรเซชันกลายเป็นสารประกอบสีน้ำตาล (Melanoidin) ที่มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (Wangcharoen and Gomolmanee, 2012) สอดคล้องกับผลการทดลองของฤทธิชัย อัครวราชันย์ (2556) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งดอกคาโมมายและดอกเบญจมาศทำให้มีค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระสูงขึ้น เนื่องจากการเกิดและสะสมของสารกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดขั้นต้น (Early maillard reaction) ซึ่งมีความสามารถเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระ (Soong and Barlow, 2004)

ส่วนการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ อาจมีผลจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกสามารถสลายตัวได้จากความร้อน ทำให้สูญเสียคุณสมบัติการเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระ (Larrauri *et al.*, 1997) ปัจจัยการสูญเสียส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับอัตราการอบแห้ง เนื่องจากอุณหภูมิกการอบแห้งที่สูงขึ้น จะนำไปสู่การออกซิเดชัน การสลายตัวเนื่องจากความร้อนและปฏิกิริยาอื่นๆที่ทำให้สารกำจัดอนุมูลอิสระลดลง (Kalt, 2005)

## 2.3 สารประกอบฟีนอลิกที่มีในน้ำชาจากดอกกาแฟ

การวิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในน้ำชาจากดอกกาแฟด้วยวิธีการ Liquid Chromatograph-Mass Spectrometer (LC-MS) ในตัวอย่างที่อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แบบอินฟราเรดสุญญากาศที่ 50 องศาเซลเซียส แบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์ และแบบแช่เยือกแข็ง พบสารประกอบใน LCMS chromatogram ดังภาพที่ 17 สารประกอบฟีนอลิกหลักที่พบในตัวอย่าง (% area มากกว่าร้อยละ 1) จะแสดงดังตารางที่ 11

ตัวอย่างน้ำชาจากดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและแบบอินฟราเรดสุญญากาศ มี % area ของสารประกอบฟีนอลิกที่สูง ขณะที่แบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์ มี % area น้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกดังแสดงในตารางที่ 11 เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในระหว่างการแปรรูปมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกที่มีโมเลกุลขนาดเล็กสามารถสลายตัวได้ โดยสารประกอบฟีนอลิกจะสลายตัวเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงกว่า 110 องศาเซลเซียส จากปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือการตัดพันธะโควาเลนต์ระหว่างเซลล์ (Zoric *et al.*, 2014) ในขณะที่ฟลาโวนอยด์ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีโครงสร้างแบบ C6-C3-C6 โดยมีลักษณะเป็นวงแหวน 3 วงต่อกันจะเกิดการแตกของวงแหวน C และสลายตัวต่อไปโดยวงแหวน B จะเปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอกซิลิกและวงแหวน A จะเปลี่ยนเป็นคาร์บอกซีแอลดีไฮด์ตามลำดับ และระเหยไปพร้อมกับไอน้ำ (รุ่งทิwa วงศ์ไพศาลฤทธิ์, 2550) ส่วนการใช้วิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะช่วยลดการสัมผัสกับความร้อนและออกซิเจน ซึ่งช่วยป้องกันการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกจากความร้อน (Kwok *et al.*, 2004) นอกจากนี้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นขณะแช่เยือกแข็งมีผลต่อการบีบอัดและทำลายเซลล์ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกปลดปล่อยออกมา (Voda *et al.*, 2012) การอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ เป็นการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านทางอากาศและถูกดูดกลืนในอาหาร และทำให้โมเลกุลในอาหารเกิดการสั่นสะเทือน (Cengel, 2006) ซึ่งอาจส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกในรูปยึดเหนี่ยว (Bound form) ปลดปล่อยออกจากเซลล์เมทริกซ์ รวมทั้งอาจจะแยกสารประกอบฟีนอลิกทำให้โครงสร้างทางเคมีเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้สารประกอบที่ไม่ละลายน้ำอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากขึ้น ซึ่งทำให้สามารถสกัดสารดังกล่าวได้มากขึ้น

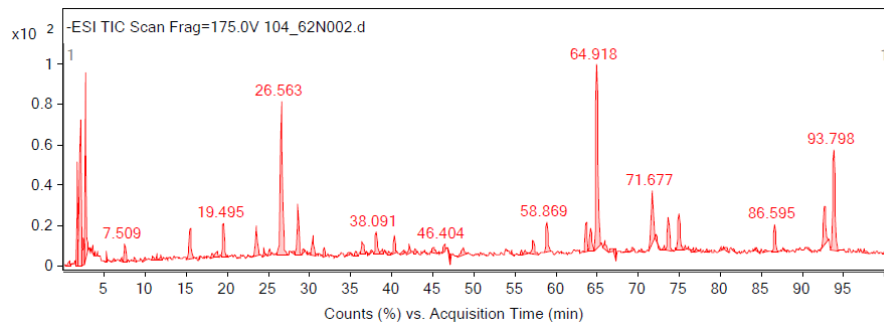
จากการศึกษาพบว่าสารประกอบฟีนอลิกที่พบในทุกตัวอย่าง ได้แก่ กรดควินิก (Quinic acid) กรดคลอโรจินิก (Chlorogenic Acid) กรด 1,3-ไดคาเฟอิลควินิก (1,3-Dicaffeoylquinic acid) และรูทีน (Rutin) โดยมีปริมาณหรือสัดส่วนแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวิธีการอบแห้ง ซึ่งมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปยึดเหนี่ยว (Bound form) หรือติดกับผนังเซลล์ของพืชปลดปล่อยออกมา เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาค โดยการอบแห้งแบบใช้ความร้อนหรือไม่ใช้ความร้อน อาจมีผลทำให้โครงสร้างเซลล์แตกและปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิก โดยกลไก

ที่มีผลต่อกรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และฟลาโวนอลมีความแตกต่างกัน (Valadez-Carmona *et al.*, 2017)

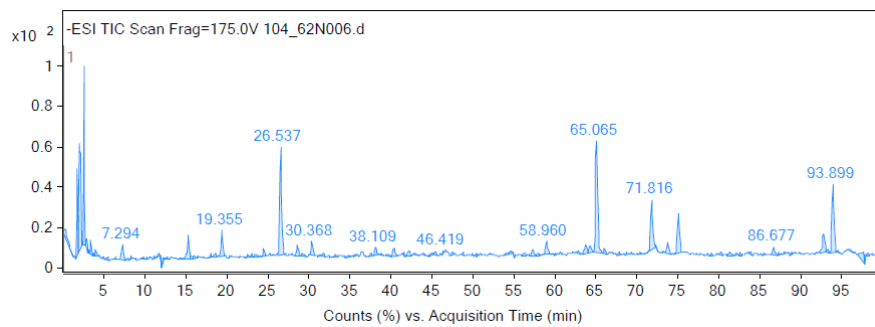
กรดคลอโรจินิก (Chlorogenic acid) เกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ (Esterification) ระหว่าง กรดควินิก (Quinic acid) และกรดคาเฟอิก (Caffeic acid) โดยในเมล็ดกาแฟส่วนใหญ่ พบกรดคลอโรจินิก ชนิดกรด 5-คาเฟอิลควินิก (5-Caffeoylquinic acid) กรด 3-คาเฟอิลควินิก (3-Caffeoylquinic acid) และกรด 4-คาเฟอิลควินิก (4-Caffeoylquinic acid) นอกจากนี้ยังเป็นสารที่มีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้เอนไซม์ (วชิราพรพรณ บวรชาติ และพรพิมล ม่วงไทย, 2560) สำหรับรูทีน (Rutin) มีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชัน คือสามารถจับกับไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก ซึ่งช่วยลดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (ลือชัย บุตุกุล, 2554)

จากการศึกษาพบว่าในน้ำชาจากดอกกาแฟที่อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบกรดคาเฟอิก (Caffeic acid) ซึ่งไม่พบในตัวอย่างอื่นๆ เนื่องจากสภาวะดังกล่าวอาจมีผลโครงสร้างทางจุลภาคของดอกกาแฟ รวมทั้งส่งผลให้สารประกอบที่อยู่ในรูปยึดเหนี่ยว (Bound form) สามารถปลดปล่อยออกมาได้ นอกจากนี้เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจะเร่งการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดทำให้ปฏิกิริยาเร็วขึ้น (รุ่งทิภา วงศ์ไพศาลฤทธิ์, 2550) หรือมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกสลายได้ โดยการศึกษาของ Valadez-Carmona และคณะ (2017) พบว่าเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในสารประกอบโกล์ที่อบแห้งแบบลมร้อนจะยังคงมีปริมาณที่หลงเหลืออยู่สูงกว่าแบบไมโครเวฟสุญญากาศและแบบแช่เยือกแข็ง

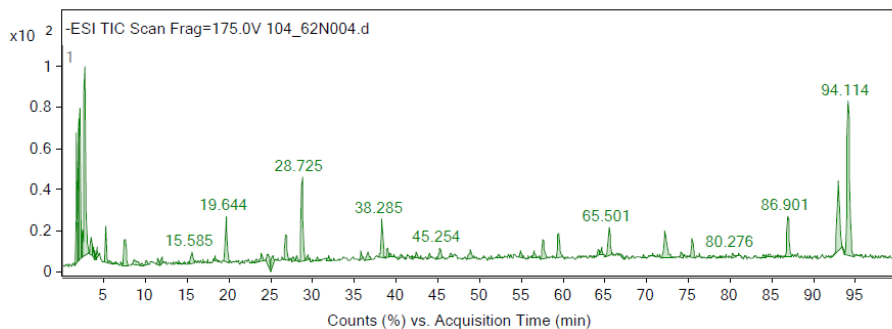
นอกจากนี้ยังพบกรด 5-ไดคาเฟอิลควินิก (5-Dicaffeoylquinic acid) และคาเทชิน (Catechin) ในตัวอย่างน้ำชาจากการอบแห้งโดยใช้ความร้อน ขณะที่ไม่พบสารดังกล่าวในตัวอย่างที่อบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การใช้ความร้อนมีผลปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งการใช้ความร้อนในการแปรรูปทำให้คาเทชินในกลุ่ม *epi-form* เกิดอีพิเมอร์ไรเซชันเป็น *non epi-form* และเกิดการสลายตัวของหมู่ฟังก์ชันใน โมเลกุล (Wang and Helliwell, 2000) จากการศึกษาพบว่าการใช้ความร้อนจะสามารถสกัดสารคาเทชินจากใบชาได้ดีที่สุด (Yoshida *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2000; Labbe *et al.*, 2006; Parva *et al.*, 2006) คุณสมบัติในการเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระของคาเทชิน คือมีความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ (Reactive oxygen species: ROS) จำพวกอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (Superoxide radical), ออกซิเจนเชิงเดี่ยว (Singlet oxygen), อนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical) อนุมูลเพอร์ออกไซด์ (Peroxy radical) ไนตริก ออกไซด์ (Nitric oxide) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide) และเพอร์ออกไซด์ ไนไตรท์ (Peroxy nitrite) (ธีรพงษ์ เทพกรณ์, 2556)



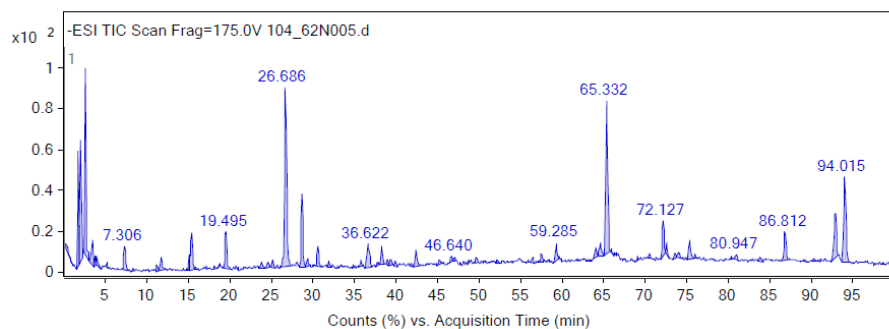
(a)



(b)



(c)



(d)

ภาพที่ 17 LCMS ของน้ำชาจากดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (a)  
 แบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (b)  
 แบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์ (c) ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (d)

ตารางที่ 11 สารประกอบฟีนอลิกที่มีในดอกกาแฟอบแห้งวิธีต่างๆ ด้วยสภาวะที่ผ่านการคัดเลือก

ลำดับที่	สารประกอบฟีนอลิก	Retention Time (นาที)	% area			
			แบบธรมร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส	แบบอินฟราเรด สัญญาณที่ 50 องศาเซลเซียส	แบบไมโครเวฟ สัญญาณที่ 4800 วัตต์	แบบแช่เยือก แข็ง
1	Quinic acid	2.038	8.52	11.23	5.27	8.26
2	5Z-Caffeoylquinic acid	15.648	2.12	2.43	1.06	ND
3	(±)-Catechin	23.466	2.02	2.23	1.17	ND
4	Chlorogenic Acid	26.502	10.63	10.43	1.96	14.53
5	Caffeic Acid	27.669	2.95	ND	ND	ND
6	Rutin	59.205	2.02	1.62	1.92	1.1
7	1,3-Dicaffeoylquinic acid	65.516	13.59	10.91	1.97	11.6

ND = not detected

## 2.4 การยอมรับทางประสาทสัมผัสของดอกกาแฟแห้งและน้ำชาจากดอกกาแฟ

จากข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคที่นิยมบริโภคชาสมุนไพร จำนวน 50 คน ดังแสดงในตารางที่ 12 พบว่าผู้บริโภคเป็นเพศหญิง ร้อยละ 88 และเพศชาย ร้อยละ 12 นับถือศาสนาพุทธ ร้อยละ 90 มีช่วงอายุ 20 ถึง 29 ปี ร้อยละ 38 ระดับการศึกษา ร้อยละ 62 เป็นระดับปริญญาตรีและ ร้อยละ 34 สูงกว่าระดับปริญญาตรี รายได้ของครอบครัวต่อเดือนของผู้บริโภคส่วนใหญ่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 15,000 บาท จำนวน ร้อยละ 36 และรายได้ต่อเดือน 1,5001-35,000 บาท จำนวน ร้อยละ 32 ผู้บริโภค ร้อยละ 70 มีจำนวนคนในครอบครัวตั้งแต่ 4 คนขึ้นไป

เมื่อสอบถามเกี่ยวกับพฤติกรรมด้านสุขภาพและการเลือกทานอาหารของผู้บริโภค ดังตารางที่ 13 พบว่า ร้อยละ 48 ของผู้บริโภคมีความกังวลด้านสุขภาพสูง และระดับความกังวลปานกลาง ร้อยละ 34 เมื่อสอบถามความถี่ในการเลือกรับประทานผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเช่น วิตามิน คอลลาเจน สารต้านอนุมูลอิสระ ข้าวกล้อง อาหารออร์แกนิก และอาหารที่ไม่มีวัตถุเจือปนอาหาร เช่น สารกันบูด สารสังเคราะห์ พบว่ามีระดับความถี่ในการเลือกบริโภค "บ่อยมาก" ร้อยละ 50 และ ระดับความถี่ "บางครั้ง" ร้อยละ 32 เมื่อสอบถามเกี่ยวกับความพยายามที่จะหลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารที่มีค่าพลังงานสูง เช่น อาหารที่มีไขมันสูง อาหารจำพวกแป้ง และของหวาน พบว่ามีระดับความถี่ในการเลือกบริโภค "พยายามปานกลาง" ร้อยละ 44 และ "พยายามอย่างสูง" ร้อยละ 36

ข้อมูลพฤติกรรมการบริโภคชาสมุนไพรดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่าชนิดของชาสมุนไพร ที่ได้รับความนิยมของผู้บริโภค ได้แก่ ชาเก๊กฮวย ร้อยละ 92 ชาดอกคำฝอย ร้อยละ 46 และ ชาดอกมะลิ ร้อยละ 44 ยี่ห้อชาสมุนไพรที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ ยี่ห้อลิปตัน ร้อยละ 90 ยี่ห้อชาตรามือ ร้อยละ 76 และยี่ห้อดอยคำ ร้อยละ 62 ช่วงเวลาที่นิยมในการดื่มชาสมุนไพร คือ ช่วงเช้า ร้อยละ 40 ช่วงหลังอาหาร 2-3 ชั่วโมง ร้อยละ 28 และช่วงเย็น ร้อยละ 20 ความถี่ในการดื่มชาสมุนไพร ร้อยละ 44 ดื่ม 1 แก้วหรือน้อยกว่า (หรือกล่องหรือขวด) ต่อสัปดาห์ และผู้บริโภค ร้อยละ 38 ดื่ม 2-6 แก้ว (หรือกล่องหรือขวด) ต่อสัปดาห์ สถานที่ที่นิยมซื้อชาสมุนไพร คือ ร้านสะดวกซื้อ ร้อยละ 64 ห้างสรรพสินค้า ร้อยละ 58 และซูเปอร์มาร์เก็ต ร้อยละ 46 วัตถุประสงค์ส่วนใหญ่ของการดื่มชาสมุนไพร คือ ชอบกลิ่นของชา ร้อยละ 74 มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ร้อยละ 68 และมีรสชาติที่ดี ร้อยละ 50

จากตารางที่ 15 แสดงถึงปัจจัยที่ความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อชาสมุนไพรของผู้บริโภค เมื่อพิจารณาด้านผลิตภัณฑ์ ด้านราคา ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย และด้านการส่งเสริมการตลาด พบว่า ด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ผู้บริโภค ร้อยละ 68 ให้การมีกลิ่นที่ดีเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการพิจารณาซื้อชาสมุนไพร รองลงมาคือ ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ เมื่อพิจารณาปัจจัย

ด้านราคาพบว่าร้อยละ 56 ให้ความสำคัญเรื่องราคาที่เหมาะสมกับปริมาณ และร้อยละ 50 ให้ความสำคัญเรื่องของคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งสำคัญที่สุดสำหรับการตัดสินใจของผู้บริโภค ด้านช่องทางการจำหน่าย ผู้บริโภคร้อยละ 52 ให้คะแนนความสำคัญในการสามารถหาซื้อผลิตภัณฑ์ ในหลายๆช่องทาง และร้อยละ 54 ให้คะแนนการวางในชั้นสินค้าที่สะดวกตา หาง่าย สำหรับ ด้านการส่งเสริมการตลาด ร้อยละ 58 อยากให้มีการจัดซุ่มแนะนำสินค้า และทดลอง

คะแนนการยอมรับของตัวอย่างดอกกาแฟอบแห้งและน้ำชาจากดอกกาแฟ โดยใช้วิธีการ อบแห้งที่ใช้สภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์ และ แบบแช่เยือกแข็ง ดังแสดงในตารางที่ 16 พบว่าดอกกาแฟอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งและ แบบอินฟราเรดสุญญากาศมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสีของดอกกาแฟมากที่สุด

รังสีอินฟราเรดสามารถแทรกซึมเข้าไปในตัวอย่าง ความร้อนทำให้โมเลกุลของ น้ำในตัวอย่างเกิดการสั่นสะเทือน ทำให้อุณหภูมิภายในตัวอย่างสูงกว่าอุณหภูมิบริเวณพื้นผิว มีผลให้ลักษณะพื้นผิวภายนอกของตัวอย่างไม่เหี่ยวแห้ง และสามารถรักษาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ใกล้เคียงกับตัวอย่างสด (Glouannec *et al.*, 2002; Nourhene *et al.*, 2009) รวมทั้งการอบแห้งแบบ แช่เยือกแข็งซึ่งใช้อุณหภูมิต่ำและที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งสามารถยังยั้งกิจกรรมการเกิดสีน้ำตาล แบบใช้เอนไซม์ได้ ดังนั้นสีของของตัวอย่างจึงมีสีอ่อนคล้ายดอกไม้สด แม้ว่าค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ของ ตัวอย่างที่อบแห้งทั้งสองวิธีจะมีความแตกต่าง ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 8 แต่คะแนน การยอมรับของผู้บริโภคสำหรับตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดสุญญากาศและแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏและสีของดอกกาแฟสูงที่สุดและไม่แตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะของดอกและสีมีความใกล้เคียงกัน ( $P < 0.05$ ) ขณะที่สีของดอกกาแฟที่อบแห้ง แบบไมโครเวฟสุญญากาศมีสีน้ำตาลคล้ำ ดังแสดงในค่า  $L^*$  ที่ต่ำสุด (ตารางที่ 8) และตัวอย่างที่ อบแห้งแบบลมร้อนมีค่าสี  $L^*$  เป็นลำดับสอง จึงมีผลทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และสีของดอกกาแฟลดต่ำลง เนื่องจากการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสใช้ เวลานานส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ รวมทั้งการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ ส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้น จึงมีผลทำให้ดอกมีลักษณะแห้งไหม้ เมื่อพิจารณาคณะลักษณะน้ำชาจาก ดอกกาแฟ พบว่าน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ และน้ำชาจากดอกกาแฟ อบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสีมากที่สุด ( $P < 0.05$ ) เนื่องจากตัวอย่างที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและแบบอินฟราเรดสุญญากาศมีลักษณะ สีอ่อนคล้ายดอกไม้สด แต่ลักษณะปรากฏและสีไม่มีผลต่อคะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่าง เมื่อพิจารณาคณะความชอบด้านกลิ่น กลิ่นรส และคะแนนความชอบโดยรวม ของตัวอย่างที่

อบแห้งแบบลมร้อน แบบอินฟราเรดสุญญากาศ และแบบไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) อย่างไรก็ตามน้ำชาจากดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรสและคะแนนความชอบโดยรวมน้อยที่สุด ( $P < 0.05$ ) โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 5.98 – 7.10

การอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ คือการอบแห้งโดยที่โมเลกุลของน้ำในอาหารได้รับพลังงานสูง เกิดการแพร่กระจายไปยังบริเวณพื้นผิวอย่างรวดเร็ว และระเหยภายในสถานะสุญญากาศ (Zhang *et al.*, 2006)

การอบแห้งแบบลมร้อน แบบอินฟราเรดสุญญากาศและแบบไมโครเวฟสุญญากาศ เป็นการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อน ขณะที่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการอบแห้งแบบไม่ใช้ความร้อน ดังนั้นจึงไม่สามารถสลายหรือทำลายสารประกอบระเหยได้บางชนิดได้ โดยผู้บริโภคได้ระบุในข้อเสนอแนะว่า ตัวอย่างน้ำชาจากดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีกลิ่นเหม็นเขียว และรสเปรี้ยวตามธรรมชาติในตัวอย่างมากกว่าปกติ รวมทั้งกลิ่นของดอกกาแฟนั้นมากกว่าตัวอย่างที่ให้ความร้อน ทำให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง ดังภาพที่ 18 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความตั้งใจซื้อชาสมุนไพรจากดอกกาแฟโรบัสต้าที่อบแห้งแบบลมร้อน ตัวอย่างอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ และตัวอย่างอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ระดับ "จะซื้อผลิตภัณฑ์แน่นอน" และ "อาจจะซื้อผลิตภัณฑ์" ร้อยละ 60 58 และ 56 ตามลำดับ ขณะที่ให้คะแนนตัวอย่างทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่ระดับ "จะไม่ซื้อผลิตภัณฑ์แน่นอน" และ "อาจจะไม่ซื้อผลิตภัณฑ์" สูงถึงร้อยละ 50 ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่าง ซึ่งพบว่าตัวอย่างทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีคะแนนต่ำสุด โดยมีคะแนนความชอบโดยรวม  $5.98 \pm 1.77$  ขณะที่ตัวอย่างอื่นๆ มีคะแนนอยู่ในช่วง  $6.92 \pm 1.30$  ถึง  $7.10 \pm 1.05$



ตารางที่ 12 ข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค

รายการ	ร้อยละ
เพศ	
หญิง	88
ชาย	12
ศาสนา	
พุทธ	90
อิสลาม	10
อายุ (ปี)	
20-29	76
30-39	18
40-49	6
ระดับการศึกษา	
ปริญญาตรี	31
สูงกว่าปริญญาตรี	17
อนุปริญญา หรือเทียบเท่า	1
ประถมศึกษา	1
รายได้ของครอบครัว (บาท/เดือน)	
≤ 15000	36
15001 - 35000	32
35001 - 55000	12
55001 - 75000	8
75001 - 90000	4
> 90000	
จำนวนสมาชิกในครอบครัว (คน)	
4 คนขึ้นไป	76
3	18
2	4
1	3

ตารางที่ 13 พฤติกรรมด้านสุขภาพของผู้บริโภค

รายการ	ร้อยละ
ท่านมีความเอาใจใส่สุขภาพของตนเองมาก น้อยเพียงใด?	
มากที่สุด	16
มาก	48
ปานกลาง	34
น้อย	2
น้อยที่สุด	0
ท่านมักเลือกรับประทานอาหารที่มีผลต่อ สุขภาพ ได้แก่ อาหารเสริมสุขภาพ เช่น เสริม วิตามิน คอลลาเจน สารต้านอนุมูลอิสระ อาหาร ออแกนิก ข้าวกล้อง และอาหารที่ไม่เติมสารเติม แต่งอาหาร เช่น วัตถุกันเสีย สารสังเคราะห์ มาก น้อยเพียงใด?	
มากที่สุด	14
มาก	50
ปานกลาง	32
น้อย	4
น้อยที่สุด	0
ท่านมีความพยายามหลีกเลี่ยงการรับประทาน อาหารที่มีค่าพลังงานสูง เช่น อาหารไขมันสูง อาหารจำพวกแป้ง และของหวาน มากน้อย เพียงใด?	
มากที่สุด	8
มาก	36
ปานกลาง	44
น้อย	10
น้อยที่สุด	2

ตารางที่ 14 ข้อมูลพฤติกรรมกรรการบริโภคชาสมุนไพร

รายการ	ร้อยละ
ชาสมุนไพรชนิดใดบ้าง ที่นิยมรับประทาน?	
คาโมมายด์	20
ดอกเก๊กฮวย	92
ใบบัวบก	6
ดอกคำฝอย	46
หล่อฮั่งก้วย	10
ใบเตย	40
ดอกกุหลาบ	16
ดอกอัญชัน	22
ใบหม่อน	8
ดอกมะลิ	44
ดอกลาเวนเดอร์	0
มะตูม	14
ดอกบัวหลวง	6
เจียวู้หลาน	10
กระเจี๊ยบแดง	36
เห็ดหลินจือ	8
ตะไคร้	26
จิง	24
มะขามป้อม	8
ดอกกาแฟ	4
ข่า	0
อื่นๆ (ชาจีน)	4

ตารางที่ 14 ข้อมูลพฤติกรรมกรรมการบริโภคชาสมุนไพร (ต่อ)

รายการ	ร้อยละ
ชาสมุนไพรยี่ห้อใดบ้าง ที่ท่านเคยรับประทาน?	
ชาตรามือ	76
ลิปตัน	90
เซน	2
Twinings	32
Dilmah	6
คอยคำ	62
เรนองที	16
ระมิงค์	14
เทสโก้	12
Whittard of chelsea	2
ฮอทต้า	38
จินเจน	28
สินค้า OTOP	32
อื่นๆ	2
ช่วงเวลาที่ท่านนิยมดื่มชาสมุนไพร?	
เช้า	40
เที่ยง	12
เย็น	20
หลังมื้ออาหาร 2-3 ชั่วโมง	28
ก่อนนอน	12
ท่านดื่มชาสมุนไพร โดยรวมแล้ว บ่อยเพียงใด?	
มากกว่า 1 แก้ว / กล่อง / ขวดต่อวัน	6
1 แก้ว / กล่อง / ขวดต่อวัน	12
2-6 1 แก้ว / กล่อง / ขวดต่อสัปดาห์	38
1 แก้ว / กล่อง / ขวดต่อสัปดาห์หรือน้อยกว่า	44

ตารางที่ 14 ข้อมูลพฤติกรรมกรรมการบริโภคชาสมุนไพร (ต่อ)

รายการ	ร้อยละ
ปกติท่านซื้อชาสมุนไพรจากสถานที่ใด?	
ตลาด	14
ร้านค้าปลีก / โชห่วย	16
ร้านค้าสะดวกซื้อ (เช่น 7-11, Family Mart)	64
ซูเปอร์มาร์เก็ต (เช่น Tops, Mini Big C)	46
ห้างสรรพสินค้า (เช่น Big C, Tesco Lotus, Makro)	58
ร้านค้าออนไลน์	10
ร้านค้า OTOP	36
อื่นๆ	10
วัตถุประสงค์ในการซื้อชาสมุนไพร?	
มีประโยชน์ต่อร่างกาย	68
ดับกระหาย	34
รสชาติดี	50
มีกลิ่นหอมของชา	74
เพื่อรักษาโรค	14
อยากลองสินค้าใหม่ๆ	20
มีการระบุคุณประโยชน์/สรรพคุณ	36
เป็นของขวัญ / ของฝากแก่ผู้อื่น	8
ซื้อตามคำแนะนำที่พบเห็น	4
หาซื้อง่าย	8
ความน่าเชื่อถือของผู้ผลิต / สินค้า	4
ราคาสินค้า	6
การรับรองเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ออร์แกนิก / ปราศจากสารเคมีตกค้าง	16
การส่งเสริมการขาย / โปรโมชั่น	2
อื่นๆ	2

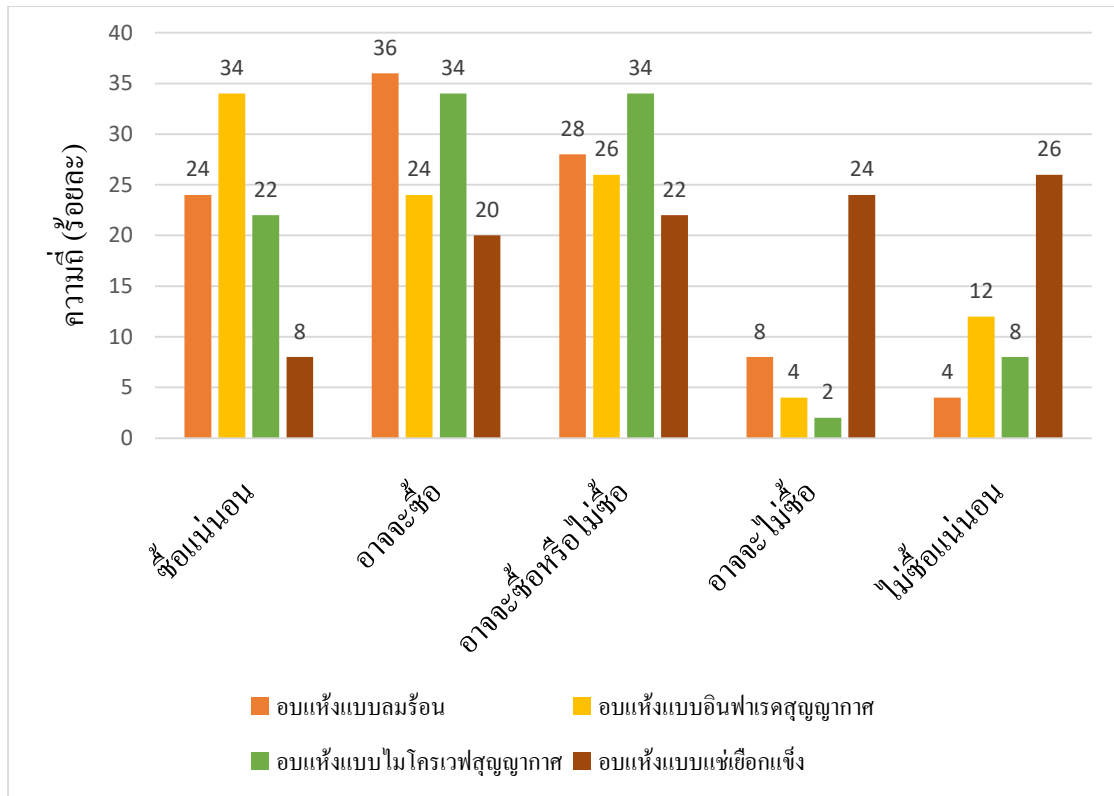
ตารางที่ 15 ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อชาสมุนไพร

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อชาสมุนไพร	ร้อยละ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
<b>ด้านผลิตภัณฑ์</b>					
รสชาติอร่อย	58	38	4	0	0
มีกลิ่นหอม	68	32	0	0	0
เป็นธรรมชาติ (ไม่ปรุงแต่ง)	42	48	10	0	0
มีประโยชน์ต่อสุขภาพ	46	48	6	0	0
สะอาด / ปลอดภัย / ปราศจากสารเคมี	62	34	4	0	0
<b>टक้าง</b>					
บรรจุภัณฑ์ดึงดูด น่าสนใจ	18	44	36	2	0
ปริมาณเหมาะสมกับความต้องการแต่ละครั้ง	8	54	38	0	0
<b>ผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อเสียง น่าเชื่อถือ</b>					
อายุสินค้า	24	52	22	2	0
<b>ด้านราคา</b>					
ราคาเหมาะสมกับปริมาณ	38	56	6	0	0
ราคาคู่ค้าเมื่อเทียบกับยี่ห้ออื่น	28	44	28	0	0
ราคาเหมาะสมกับคุณภาพสินค้าที่ได้รับ	50	42	8	0	0
<b>ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย</b>					
หาซื้อได้ง่าย	36	52	12	0	0
วางในชั้นวางสินค้าที่สะดวกตา หาง่าย	20	54	26	0	0
สามารถหาซื้อได้ในหลายๆ ช่องทาง	34	46	20	0	0
สามารถสั่งซื้อออนไลน์ / มีบริการส่ง	22	40	32	6	0
<b>ด้านการส่งเสริมการตลาด</b>					
มีการแนะนำ / โฆษณาสินค้าผ่านสื่อต่างๆ	12	54	32	2	0
มีการจัดซุ้มแนะนำสินค้า / ทดลองชิม	12	58	26	4	0
มีการจัดรายการ โปร โมชั่น	22	52	24	2	0

ตารางที่ 16 คะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของดอกกาแฟอบแห้งและนำจากดอกกาแฟที่อบแห้งที่ผ่าน  
การคัดเลือกด้วยวิธี และสภาวะต่างๆ

วิธีและ สภาวะการอบแห้ง	ดอกกาแฟ		น้ำจากดอกกาแฟ			ความชอบ โดยรวม
	ลักษณะ ปรากฏ	สี	ลักษณะ ปรากฏ	สี	กลิ่น	
แบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส, 2 ชั่วโมง	6.90 ± 1.13 <sup>ab</sup>	6.68 ± 0.96 <sup>b</sup>	7.36 ± 1.10 <sup>b</sup>	6.80 ± 1.26 <sup>b</sup>	6.82 ± 1.35 <sup>ab</sup>	7.02 ± 1.42 <sup>a</sup>
แบบอินฟราเรดสูญญากาศที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส, 50 นาที	7.22 ± 0.71 <sup>a</sup>	7.08 ± 0.75 <sup>a</sup>	7.84 ± 0.74 <sup>a</sup>	7.82 ± 0.83 <sup>a</sup>	7.12 ± 1.29 <sup>a</sup>	6.82 ± 1.48 <sup>a</sup>
แบบไมโครเวฟสูญญากาศ ที่ 4800 วัตต์, 10 นาที	6.54 ± 1.70 <sup>b</sup>	6.38 ± 1.77 <sup>b</sup>	7.88 ± 0.75 <sup>a</sup>	7.84 ± 0.74 <sup>a</sup>	7.02 ± 1.45 <sup>a</sup>	6.92 ± 1.26 <sup>a</sup>
แบบแช่เยือกแข็ง, 20 ชั่วโมง	7.08 ± 1.32 <sup>a</sup>	7.16 ± 1.36 <sup>a</sup>	7.34 ± 1.02 <sup>b</sup>	7.04 ± 1.03 <sup>b</sup>	6.48 ± 1.61 <sup>b</sup>	5.66 ± 1.83 <sup>b</sup>

หมายเหตุ อักษร a, b, c, d ที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันที่ P < 0.05



ภาพที่ 18 ความตั้งใจซื้อชาสมุนไพรจากดอกกาแฟอบแห้งวิธีต่างๆ ด้วยสถานะที่ผ่านการคัดเลือก



## บทที่ 4

### สรุปผลการทดลอง

การศึกษาวิธีและสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมในการอบแห้งดอกกาแฟ ได้แก่ การอบแห้งแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 8 6 4 และ 2 ชั่วโมงตามลำดับ การอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 50 นาที และ 55 องศาเซลเซียส นาน 40 นาที การอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 1800 วัตต์ นาน 20 นาที และ 4800 วัตต์ นาน 10 นาที โดยควบคุมผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมและคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและกิจกรรมสารกำจัดอนุมูลอิสระสูงสุด พบว่าการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

เมื่อนำวิธีและสภาวะการอบแห้งต่างๆ ที่ผ่านการคัดเลือกดังกล่าว มาเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าน้ำชาจากดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ( $32.61 \pm 0.31$  มิลลิกรัมแกลลิก/กรัมต่อน้ำหนักแห้ง) รองลงมาคือตัวอย่างอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ( $28.45 \pm 0.12$  มิลลิกรัมแกลลิก/กรัมต่อน้ำหนักแห้ง) แบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ( $19.55 \pm 0.18$  มิลลิกรัมแกลลิก/กรัมต่อน้ำหนักแห้ง) และตัวอย่างอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ 4800 วัตต์ตามลำดับ ( $8.18 \pm 0.04$  มิลลิกรัมแกลลิก/กรัมต่อน้ำหนักแห้ง) และเมื่อพิจารณากิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS, DPPH radical scavenging และ FRAP พบว่าตัวอย่างที่ใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS สูงสุด ( $P < 0.05$ ) ในขณะที่ตัวอย่างที่อบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีกิจกรรม DPPH radical scavenging และ FRAP สูงสุด ( $P < 0.05$ ) สำหรับตัวอย่างที่อบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ มีกิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS, DPPH radical scavenging และ FRAP ต่ำสุด ( $P < 0.05$ ) สารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่ที่พบในน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบใช้ความร้อน ได้แก่ สารพอลิฟีนอลประเภทกรดฟีนอลิก ได้แก่ กรดควินิก (Quinic acid) กรด 5-คาเฟอิลควินิก (5Z-Caffeoylquinic acid) กรดคลอโรจินิก (Chlorogenic Acid) กรด 1,3-ไดคาเฟอิลควินิก (1,3-Dicaffeoylquinic acid) และสารประเภทฟลาโวนอยด์ ได้แก่ คาทีชิน (Catechin) และรูทีน (Rutin) ขณะที่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบเพียงสารประกอบฟีนอลิกเพียงกรดควินิก (Quinic acid) กรดคลอโรจินิก (Chlorogenic Acid)

รูทีน(Rutin) และ กรด 1,3-ไดคาเฟอิลควินิก (1,3-Dicaffeoylquinic acid) นอกจากนี้ในตัวอย่าง ที่อบแห้งแบบลมร้อนยังพบกรดคาเฟอิก (Caffeic Acid) อีกหนึ่งชนิด

จากการทดสอบการยอมรับผู้บริโภคพบว่าดอกกาแฟอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งและแบบอินฟราเรดสุญญากาศมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสีของดอกกาแฟสูงที่สุด เมื่อพิจารณาคูณลักษณะน้ำชาจากดอกกาแฟ พบว่าน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศและแบบไมโครเวฟสุญญากาศมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสีมากที่สุด ( $P < 0.05$ ) อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบด้านกลิ่น กลิ่นรส และคะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่างที่อบแห้งแบบลมร้อน แบบอินฟราเรดสุญญากาศ และแบบไมโครเวฟสุญญากาศพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) ขณะที่น้ำชาจากดอกกาแฟที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรสและคะแนนความชอบโดยรวมน้อยที่สุด ( $P < 0.05$ ) จากผลการทดสอบความตั้งใจซื้อผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความตั้งใจซื้อชาสมุนไพรจากดอกกาแฟที่อบแห้งแบบลมร้อน แบบอินฟราเรดสุญญากาศ และแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ระดับ "จะซื้อผลิตภัณฑ์แน่นอน" และ "อาจจะซื้อผลิตภัณฑ์" ร้อยละ 60 58 และ 56 ตามลำดับ ขณะที่ให้คะแนนตัวอย่างทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระดับ "จะไม่ซื้อผลิตภัณฑ์แน่นอน" และ "อาจจะไม่ซื้อผลิตภัณฑ์" ร้อยละ 50

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมและคุณสมบัติทางเคมี พบว่าการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจึงเป็นวิธีและสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตผลิตภัณฑ์ชาจากดอกกาแฟโรบัสต้า

### เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2549. การพัฒนากาแฟในประเทศไทย (ออนไลน์). สืบค้นจาก :

<http://aglib.doa.go.th/lib/images/Downloads/2551/EB00175.pdf> (10 ตุลาคม 2561)

กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ. 2562. อนาคตกาแฟไทย (ออนไลน์). สืบค้นจาก :

[https://ditp.go.th/ditp\\_web61/article\\_sub\\_view.php?filename=contents\\_attach/539794/539794.pdf&title=539794&cate=414&d=0](https://ditp.go.th/ditp_web61/article_sub_view.php?filename=contents_attach/539794/539794.pdf&title=539794&cate=414&d=0) (14 กรกฎาคม 2562)

คณะกรรมการพัฒนาคุณภาพข้อมูลด้านการเกษตร. 2562. กาแฟ : ผลพยากรณ์การผลิตปี 2563 (ปีเพาะปลูก 2562/63) ข้อมูล ณ เดือนมิถุนายน 2562 (ออนไลน์). สืบค้นจาก :

[http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/forecastdata/files/forecast/region/7T\\_CF.pdf](http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/forecastdata/files/forecast/region/7T_CF.pdf) (18 กรกฎาคม 2562)

จิ่งแท้ สิริพานิช. 2550. ชีวิตวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. กรุงเทพฯ

ณัฐจิภา ศิลาฉาย. 2548. ฟลาโวนอยด์ในชา : หน้าที่ การใช้ประโยชน์ และการวิเคราะห์. ว.เทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 2: 1-10.

ณัฐจิตา ศรีบุญวรกุล. 2560. การประยุกต์ใช้เมสสเปกโตรเมทรีในห้องปฏิบัติการวิจัยทางคลินิก. ว.เทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 45: 6125-6139.

ธีรพงษ์ เทพกรณ์. 2557. ความคงตัวของคาเทชินระหว่างกระบวนการผลิตชาเขียวและเครื่องดื่มชาเขียว. ว.วิทยาศาสตร์บูรพา. 19: 189-198.

นิธิยา รัตนานนท์. 2544. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ

นิธิยา รัตนานนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2559. Enzymatic browning reaction (ออนไลน์).

สืบค้นจาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0679/enzymatic>

browning-reaction-ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (17 สิงหาคม 2561)

บุศรากรณ์ มหาโยธี. 2551. รายงานการวิจัยสถานะที่เหมาะสมในการอบแห้งลำไยแบบทิ้งผลเน้นคุณภาพเพื่อบริโภคในรูปชาลำไย. สำนักงานกองทุนการวิจัย. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

- บุหรัน พันธุ์สุวรรณค์. 2556. อนุมูลอิสระสารต้านอนุมูลอิสระและการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพะเยา. 3: 275-286.
- ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 280). 2547. ชาสมุนไพรร (ออนไลน์). สืบค้นจาก [http://food.fda.moph.go.th/law/data/announ\\_moph/P280.pdf](http://food.fda.moph.go.th/law/data/announ_moph/P280.pdf) (23 มิถุนายน 2560)
- ปิ่นนธร ภัทรสถาพรกุล. 2547. เทคโนโลยีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตอนที่ 1) Lyophilization Technology I: Basic Theory. ว.สมาคมเครื่องทำความเย็นไทย. 11: 20-22.
- ประสาร สวัสดิ์ชิตัง. 2538. การเกิดสีน้ำตาลของอาหารและการควบคุมป้องกัน. ว.อาหาร. 25: 160-169.
- วิไล รังสาดทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ
- วัชรินทร์ ดงบัง. 2556. รังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. ว.วิทยาศาสตร์บูรพา. 18: 299-304.
- ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง. 2562. กาแฟโรบัสต้า (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://clgc.agri.kps.ku.ac.th/resources/new-fragrant/robusta.html> (18 กรกฎาคม 2562)
- ศิริธร ศิริอมรพรรณ. 2557. สารต้านอนุมูลอิสระในอาหาร. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ
- สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2540. กระบวนการทำแห้งอาหาร. ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 164-172. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- สิงหนาท พวงจันทร์แดง. 2554. เทคโนโลยีการทำแห้ง. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). 2559. กาแฟ (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/coffee/controller/01-09.php> (10 ตุลาคม 2561)
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2561. ตารางแสดงรายละเอียดกาแฟ (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดกาแฟ/TH-TH> (12 ตุลาคม 2561)
- ส่วนเศรษฐกิจรายสาขา ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจ ธุรกิจและเศรษฐกิจฐานราก สถาบันการณัฐอุตสาหกรรมอาหารปี 2562. 2562. อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม (ออนไลน์). สืบค้นจาก :

[https://www.gsb.or.th/getattachment/d3c44486-b58d-4df5-adcc-5254c9c69579/food\\_61\\_62.aspx](https://www.gsb.or.th/getattachment/d3c44486-b58d-4df5-adcc-5254c9c69579/food_61_62.aspx) (18 กรกฎาคม 2562)

สมฤดี ไทพาณิชย์ และ ธิดารัตน์ เข้มอาษา. 2552. คุณลักษณะของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในกล้วยน้ำว้า *Musa sapientum* Linn. ว.เทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 5: 54-63.

รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม. 2549. การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในกระบวนการอบแห้งลำไย (*Euphoria longana* Lam.) แบบแห้งผล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร

รุ่งทิวา วงศ์ไพศาลฤทธิ์. 2550. รายงานการวิจัยการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและคุณสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในชาเขียว. โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.

ลือชัย บุตุคูป. 2554. รายงานการวิจัยการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในผลหม่อนสายพันธุ์ต่างๆ. สำนักงานกองทุนการวิจัย. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

วชิราพรรณ บวรชาติ และ พรพิมล ม่วงไทย. 2560. การประเมินปริมาณกรดคลอโรจีนิก กรดคาเฟอิก กรดเฟอร์รูลิก และกรด พาราควมาริก ในเครื่องดื่มน้ำสมุนไพร. ว.มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 9: 104-113.

ฤทธิชัย อัสวราชันย์. 2556. รายงานการวิจัยการพัฒนาระบบการแปรรูปดอกคาร์โมมายด์และดอกเบญจมาศ (เก็กฮวย) อบแห้งของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

องค์การสวนพฤกษศาสตร์. 2554. กาแฟอาราบิก้า (ออนไลน์). สืบค้นจาก : [http://www.qsbg.org/database/botanic\\_book%20full%20option/search\\_detail.asp?botanic\\_id=2400](http://www.qsbg.org/database/botanic_book%20full%20option/search_detail.asp?botanic_id=2400) (17 กันยายน 2562)

อุษาวดี ชนสุต และนิธิยา รัตนานพนธ์. 2549. การต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลและกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสของผลมะเขือ 16 สายพันธุ์หลังการเก็บเกี่ยว. ว.วิทยาศาสตร์เกษตร. 37: 15-18.

อาทิตย์ สิริจริยวัตร, ชาติสยาม ผลวิสัย และ โก๋ ยาลัย. 2560. ผลของวิธีการทำแห้งต่อสมบัติทางกายภาพของต้นหอม. ว.แก่นเกษตร. 45: 1155-1161.

- AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC international. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists.
- Alam, N., Bristi, N. and Rafiquzzaman, M. D. 2013. Review on invivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. Saudi Pharm J. 21: 143-152.
- Arora, S., Shivhare, U.S., Ahmed, J. and Raghavan, G.S.V. 2003. Drying Kinetics of Agaricus Bisporus. Trans ASAE. 46: 721-724.
- Arslan, D. and Ozcan, MM. 2010. Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. LWT-Food Sci and Technol. 43: 1121–1127.
- Balasundram, N., Sundram, K. and Samman, S. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Food Chem. 99: 191-203.
- Benjakul, S., Kittiphattanabawon, P., Sumpavapol, P. and Maqsood, S. 2014. Antioxidant activities of lead (*Leucaena leucocephala*) seed as affected by extraction solvent, prior dechlorophyllisation and drying methods. J. Food Sci. Technol. 51: 3026–3037.
- Berk, Z. 1976. Non-enzymatic browning. In Braveman's introduction to the biochemistry of foods. 2<sup>nd</sup> Ed. p. 149-167. Elsevier. Amsterdam.
- Cai, Y. Z., Xing, J. Sun, M. Zhan, Z. Q. and Corke, H. 2005. Phenolic Antioxidants (Hydrolyzable Tannins, Flavonols, and Anthocyanins) Identified by LC-ESI-MS and MALDI-QIT-TOF MS from *Rosa chinensis* Flowers. J Agric Food Chem. 5 : 9940-9948.
- Cengel, Y.A. 2006. Heat and Mass Transfer. 3<sup>rd</sup> Ed. McGrawHill. Singapore.
- Cheng, W.M., G.S.V. Raghavan, M. N. and Wang, N. 2006. Microwave power control strategies on the drying process I : Development and evaluation of new microwave drying system. J Food Eng. 76: 188-194.
- Chuah, A. M., Lee, Y. C., Yamaguchi, T., Takamura, H., Yin, L. J. and Matoba, T. 2008. Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. Food Chem. 111: 20-28.

- Chou, S. and Chua, K. J. 2001. New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuff. Trends in Food Sci Tech. 12: 359-369.
- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K. and Liu, R.H. 2002. Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity. J. Agric. Food Chem. 50: 3010-3014.
- De Bruijn, J., Rivas, F., Rodriguez, Y., Loyola, C., Flores, A., Melin, P. and Borquez. 2016. Effect of vacuum microwave drying on the quality and storage stability of strawberries. J Food Process Pres. 40: 1104-1115.
- Di Cesare, L. F., Forni, E., Viscardi, D. and Nani, R. C. 2003. Changes in the chemical composition of Basil caused by different drying procedures. J Agric Food Chem. 51: 3575-3581.
- Driscoll, R. H. and Madamba, P. S. 1994. Modeling the browning kinetics of garlic. Food Aust J. 46: 66-71.
- Dong, J., Ma, X., Fu, Z., Wei, Q. and Qiu, G. 2011. Effects of microwave drying on the contents of functional constituents of *Eucommia ulmoides* flower tea. Ind Crop Prod. 34: 1102-1110.
- Elzaawely, A.A., Xuan, T.D. Koyama, H. and Tawata, S. 2007. Antioxidant activity and contents of essential oil and phenolic compounds in flowers and seeds of *Alpinia zerumbet* (Pers.). Food Chem. 104: 1648-1653.
- Ferreira, D., Guyot, S., Marnet, N., Delgadillo, I., Renard, C. M. and Coimbra, M. A. 2002. Composition of phenolic compounds in a Portuguese pear (*Pyrus comminis* L.var. S. Bartomeu) and changes after sun-drying. J Agric Food Chem. 50: 4537-4544.
- Figiel, A. 2010. Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. J Food Eng. 98: 461-470.

- Goula, A. 2016. Dehydration: spray drying-freeze drying. In Handbook of Food Processing Food Preservation. 1<sup>st</sup> Ed. (Verzakas, T. and Tzia, C., eds.), p. 158-185. CRC Press. New York.
- Glouannec, P., Lecharpentier, D. and Noel, H. 2002. Experimental survey on the combination of radiating infrared and microwave sources for the drying of porous material. *Appl Therm Eng.* 22: 1689–1703.
- Hamrouni-Sellami, I., Rahali, F. Z., Rebey, I. B., Bourgou, S., Limam, F. and Marzouk, B. 2012. Total Phenolics, Flavonoids, and Antioxidant Activity of Sage (*Salvia officinalis* L.) Plants as Affected by Different Drying Methods. *Food Bioprocess Tech.* 6: 806–817.
- Hsu, C.L., Chen, W., Weng, Y. M. and Tseng, C. Y. 2003. Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chem.* 83: 85-92.
- Ji, H. F., Du, A. I., Zhang, L.W., Xu, C. Y., Yang, M. D. and Li, F. F. 2012. Effects of drying methods on antioxidant properties in *Robinia pseudoacacia* L. flowers. *J Med Plants Res.* 6: 3233-3239.
- Jiang, H., Zhang, M. and Mujumdar, A. S. 2010. Microwave freeze-drying characteristics of banana crisps. *Dry Technol.* 28: 1377-1384.
- Kalt, W. 2005. Effect of Production and Processing Factor on Major Fruit and Vegetable Antioxidant. *J Food Sci.* 70: 11-19.
- Kim, S. H., Park, J.D., Lee, L.S. and Han, D. 2000. Effect of Heat Processing on the Chemical Composition of Green Tea Extract. *Food Sci Biotechnol.* 9: 214-217.
- Kwok, B. H. L., Hu, C., Durance, T. and Kitts, D. D. 2004. Dehydration Techniques Affects Phytochemical Contents and Free Radical Scavenging Activities of Saskatoon Berries (*Amelanchier alnifolia* Nutt.). *J Food Sci.* 69: 122-126.
- Kuljarachanan, T., Devahastin, S. and Chiewchan, N. 2009. Evolution of antioxidant compounds in lime residues during. *Food Chem.* 113: 944-949.



- Kumar, C. and Karim, M. A. 2019. Microwave-convective drying of food materials: A critical review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 59: 379-394.
- Larrauri, J. A., Ruperez, P. and Saura-Calixto, F. 1997. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. *J Agric Food Chem.* 45: 1390-1393.
- Labbe, D., Tremblay, A. and Bazinet, L. 2006. Effect of brewing temperature and duration on green tea catechin solubilization: Basis for production of EGC and EGCG-enriched fractions. *Sep Purif Technol.* 49: 1-9.
- Lee, S. C., Kim, J. H., Jeong, S. M., Kim, D. R., Ha, J. U. and Nam, K. C. 2003. Effect of far-infrared radiation on the antioxidant activity of rice hulls. *J Agric. Food Chem.* 51: 4400-4403.
- Lim, Y. Y. and Murtijaya, J. 2007. Antioxidant properties of *Phyllanthus amarus* extracts as affected by different drying methods. *LWT - Food Sci Technol.* 40: 1664-1669.
- Lu, S., Xia, Q. and Zheng, M. 2015. Study on drying method and their influences on effective components of loquat flower tea. *J Food Sci. Technol.* 63: 14-20.
- Macheix, J.J., A. Fleuriet, and J. Billot. 1990. *Fruit phenolics*. CRC Press, Boca Raton, FL
- Martinez, M. V. and Whitaker, J. R. 1995. The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends Food Sci Tech.* 6: 195–200.
- Mukhtar, H. and Ahmad, N. 2000. Tea polyphenols: prevention of cancer and optimizing health. *Am J Clin Nutr.* 71: 1698–1702.
- Niwa, Y., Kanoh, T., Kasama, T. and Neigishi, M. 1988. Activation of antioxidant activity in natural medicinal products by heating, brewing and lipophilization. A new drug delivery system. *Drugs Exp Clin Res.* 14: 361-372.
- Naczki, M. and Shahidi, F. 2004 Extraction and Analysis of Phenolics in Food. *J Chromatogr.* 1054: 95-111.

- Nourhene, B., Neila, B., Imen B. S. and Nabil, K. 2009. Comparison on the total phenol contents and the color of fresh and infrared dried olive leaves. *Ind Crop Prod.* 29: 412-419.
- Orphanides A., Goulas V. and Gekas V. 2013. Effect of drying method on the phenolic content and antioxidant capacity of spearmint. *Czech J Food Sci.* 31: 509–513.
- Opuku, A. L., G. Tabil, V. Meda and S. Panigrahi. 2007. Microwave and microwave-vacuum drying kinetics of field peas. In *Proceeding of the 2007 ASABE Annual International Meeting.* Minnesota. 17-20 June 2007. p. 1-16.
- Ozturk, B., Seyhan, F., Ozdemir, I.S., Karadeniz, B., Bahar, B., Ertas, E. and Ilgaz, S. 2016. Change of enzyme activity and quality during the processing of Turkish green tea. *LWT - Food Sci Technol.* 65: 318-324.
- Packer, L., Rimbach, G. and Virgili F. 1999. Antioxidant activity and biologic properties of a procyanidin-rich extract from pine (*Pinus maritima*) bark, pycnogenol. *Free Radical Biology and Medicine.* 27: 704-724.
- Pankaj, B. P., Opara, U. L. and Al-Said, F. A. 2013. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food Bioprocess Tech.* 6: 36–60.
- Perva-Uzunalic, A., Skerget, M., Knez, Z., Weinreich, B., Otto, F. and Gruner, S. 2006. Extraction of active ingredients from green tea (*Camellia sinensis*) : Extraction efficiency of major catechins and caffeine. *Food Chem.* 96: 597-605.
- Prachayawarakorn, S., Prachayawasin, P. and Suponronnarit, S. 2004. Effective diffusivity and kinetics of urease inactivation and color change during processing of soybeans with superheated-steam fluidized bed. *Dry Technol.* 22: 2095-2118.
- Rapusas, R. S. and Driscoll, R. H. 1995. Kinetics of non-enzymatic browning in onion slices during isothermal heating. *Int J Food Eng.* 24: 417–429.
- Regier, M., Lombrana, J. I., Kamel, M. and Elvira, C. D. 2005. Kinetic and quality study of mushroom drying under microwave and vacuum. *Dry Technol.* 23: 2197-2213.
- Reyes, A., Cerón, S., Zúñiga, R. and Moyano, P. 2007. A comparative study of microwave-assisted air drying of potato slices. *Biosyst Eng.* 98: 310–318.

- Rice-Evans, C. and Miller, N. 1997. Measurement of the antioxidant status of dietary constituents, low density lipoproteins and plasma. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids. 57: 499-505.
- Robards, K., Prenzler, P.D., Tucker, G., Swatsitang, P. and Glover, W. 1999. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. Food Chem. 66: 401-436.
- Sasaori, N. 1988. Principle of utilization of far infrared radiation and measurement of equipment performance. JPN Food Sci. 27: 23-29.
- Sakai, N. and Mao, W. 2006. Infrared Heating. *In* Thermal food processing. (Da-Wen Sun., ed.). p. 493-525. Taylor & Francis Group. USA.
- Saguy, I. and Karel, M. 1980. Modeling of quality deterioration during food processing and storage. Food Tech. 37: 78-85.
- Segura, L. I., Salvadori, V. O. and Goñi, S. M. 2017. Characterisation of liquid food colour from digital images. Int J Food Prop. 20: 467-477.
- Shimizu, M. and Igarashi, H. 1991. Far-Infrared radiation technology. New food In. 33: 23-30.
- Siebert, K. J., Troukhanova, N. V. and Lynn, P. Y. 1996. Nature of polyphenol-protein interactions. J Agric. Food Chem. 44: 80-85.
- Siriamornpun, S., Kaisoon, O. and Meeso, N. 2012. Changes in colour, antioxidant activities and Carotenoids (lycopene,  $\beta$ -carotene, lutein) of marigold flower (*Tagetes erecta* L.) resulting from different drying process. J Funct Foods. 4: 757-766.
- Shih, M. C., Kua, C. C. and Chiang, W. 2009. Effects of drying and extrusion on colour, chemical composition, antioxidant activities and mitogenic response of spleen lymphocytes of sweet potatoes. Food Chem. 17: 114-121.
- Soong, Y. and Barlow, P. J. 2004. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seed. Food Chem. 88: 411-417.

- Tanongkankit, Y., Chiewchan, N. and Devahastin, S. 2010. Effect of Processing on Antioxidants and Their Activity in Dietary Fiber Powder from Cabbage Outer Leaves. *Dry Technol.* 28: 1063-1071.
- Therdthai, N. and Zhou, W. 2009. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fersen). *J Food Eng.* 91: 482-489.
- Theron, K. A., Muller, M., van der Rijst, .M., Cronje, J. C., le Roux, M. and Joubert, E. 2014. Sensory Profiling of honeybush tea (*Cyclopia* species) and the development of a honeybush sensory wheel. *Food Res Int.* 66: 12-22.
- Tomaino, A., Cimino, F., Zimbalatti, V., Venuti, V., Sulfaro, V. and De Pasquale, A. 2005. Influence of heating on antioxidant activity and chemical composition of some spice essential oils. *Food Chem.* 89: 549-554.
- Valadez-Carmonaa, L., Plazola-Jacintoa, C.P., Hernández-Ortegab, M., Hernández-Navarro, M. D., Villarrealc, F., Necoechea-Mondragónd, H., Ortiz-Morenoa, A and Ceballos-Reyes, G. 2017. Effects of microwaves, hot air and freeze-drying on the phenolic compounds, antioxidant capacity, enzyme activity and microstructure of cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.). *Innov Food Sci Emerg Technol.* 378-386.
- Voda, A., Homan, N., Witek, M., Duijster, A., van Dalen, G., van der Sman, R. and van Duynhoven, J. 2012. The impact of freeze-drying on microstructure and rehydration properties of carrot. *Food Res Int.* 49: 687–693.
- Yoshida, Y., Kiso, M. and Goto, T. 1999. Efficiency of the extraction of catechins from green tea. *Food Chem.* 67: 429-433.
- Warmbier, H. C., Schnickels, R. A. and Labuza, T. P. 1975. Nonenzymatic browning kinetics in an intermediate moisture model system: effect of glucose to lysine ratio. *J Food Sci.* 41: 981–983.

- Wanyo, P., Siriamornpun, S. and Messo, N. 2009. Changes in phenolic compounds, antioxidant and physical properties of mulberry tea influenced by intensity of far-infrared radiation. *Am Eurasian J Agric Environ Sci.* 6: 470-479.
- Wangcharoen, W. and Gomolmanee, S. 2012. Antioxidant activity changes during hot-air drying of *Moringa oleifera* leaves. *Maejo Int. J Sci Technol.* 7: 353-363.
- Wang, H. and Helliwell, K. 2000. Epimerisation of catechins in green tea infusions. *Food Chem.* 70: 337- 344.
- Whitaker, J. R. 1975. Polyphenol oxidase. *In Food Enzymes: Structure and Mechanism.* (Dawson, W. H., ed). p. 271-307. Chapman and Hall. New York.
- Wojdylo, A., Figiel, A. and Oszmianski, J. 2009. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *J Agric Food Chem.* 57: 1337-1343.
- Wong, S. P., Lai, P.L. and Jen, H. K. W. 2006. Antioxidant activities of aqueous extracts of selected plants. *Food Chem.* 99: 775-783.
- Zell, H. 2009. Robinia pseudoacacia 003 (ออนไลน์). สืบค้นจาก : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Robinia\\_pseudoacacia\\_003.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Robinia_pseudoacacia_003.JPG) (18 ตุลาคม 2560)
- Zhang, M. Tang, J. Mujumdar, A. S. and Wang, S. 2006. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends Food Sci Tech.* 17: 524-534.
- Zoric, Z., Dragovic-Uzelac, V., Pedisic, S., Kurtanjek, Z. and Garofulic, I. E. 2014. Kinetics of the degradation of anthocyanins, phenolic acids and flavonols during heat treatments of freeze-dried sour cherry Marasca paste. *Food Technol. Biotechnol.* 52: 101-108.

## ภาคผนวก

### ก. มาตรฐานเรื่อง ชาสมุนไพร (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 280 พ.ศ.2547)

- ข้อ 1 ให้ชาสมุนไพร เป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน
- ข้อ 2 “ชาสมุนไพร” หมายความว่า ผลិតภัณฑ์ที่ได้จากส่วนต่างๆ ของพืชซึ่งมิได้แปรสภาพ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อนำไปบริโภคโดยการต้มหรือชงกับน้ำ
- ข้อ 3 พืชตามข้อ 2 ให้เป็นไปตามรายชื่อในบัญชีแนบท้ายประกาศนี้ (ตารางที่ 2) และรายชื่อเพิ่มเติมที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหาร
- ข้อ 4 ชาสมุนไพร ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้
- (1) มีความชื้นตามมาตรฐานที่กำหนดในตารางที่รัฐมนตรีประกาศตามกฎหมายว่าด้วยยา ในกรณีที่ไม่ได้มีมาตรฐานกำหนดไว้ ให้มีความชื้นได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนัก
  - (2) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค
  - (3) ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช สารปนเปื้อน หรือสารเป็นพิษอื่นในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เว้นแต่ดังต่อไปนี้
 

(3.1) สารหนู	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม
(3.2) แคดเมียม	ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม
(3.3) ตะกั่ว	ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม
(3.4) ทองแดง	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม
(3.5) สังกะสี	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม
(3.6) เหล็ก	ไม่เกิน 15 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม
(3.7) ดีบุก	ไม่เกิน 250 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม
(3.8) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม
  - (4) ไม่มียาแผนปัจจุบันหรือวัตถุที่ออกฤทธิ์ต่อจิตและประสาท หรือยาเสพติดให้โทษตามกฎหมายว่าด้วยการนั้นแล้วแต่กรณี
  - (5) ไม่มีไส้สี
  - (6) ไม่มีการปรุงแต่งกลิ่น รส ด้วยวัตถุอื่น นอกจากพืชที่ระบุในบัญชีแนบท้ายประกาศตามข้อ 3 (ตารางที่ 2) หรือ ใบ ยอด และก้านที่ยังอ่อนอยู่ของต้นชาในสกุล *Camellia*

ตารางที่ 1 รายชื่อพืชหรือส่วนต่างๆ ของพืชที่อนุญาตเป็นชาสมุนไพร

อันดับที่	ชื่อ	ชื่อสามัญ	ชื่อวิทยาศาสตร์
1	ผลมะตูม	Baelfruit	<i>Aeglemarmelos</i> (L.) Corr.
2	ดอกกระเจี๊ยบ (กลีบเลี้ยงและร็วประดับ)	Rosella	<i>Hibicussabdariffa</i> L.
3	เหง้าจิง	Ginger	<i>Zingiberofficinale</i> Roscoe
4	เหง้าข่า	Galangal	<i>Alpiniagalanga</i> (L.) Willd
5	เหง้าและต้นตะไคร้แกง	Lemon grass	<i>Cymbopogoncitratus</i> (DC.) Stapf
6	ใบหม่อน	White mulberry	<i>Morusalba</i> L.
7	ดอกคำฝอย	Safflower	<i>Carthamustinctorius</i> L.
8	ใบบัวบก	Asiatic pennywort	<i>Centellaasiatica</i> (L.) Urban
9	ใบเตยหอม	Pandanus	<i>Pandanusamaryllifolins</i> Roxb.
10	ดอกเก๊กฮวย	Chrysanthemum	<i>Chrysanthemumindicum</i> L.
11	ผลหล่อฮังก้วย	Lou Han Gua	<i>Momordicagrosvenori</i> Swingle
12	เห็ดหลินจือ	Reishi (Ling Zhi)	<i>Ganodermalucidum</i> (Fr.) Karst.
13	ผลมะขามป้อม	Indian gooseberry	<i>Phyllanthusemblica</i> L.
14	ใบและต้นเจียวกู่หลาน	Jiaogulan	<i>Gynostemmapentaphyllum</i> (Thunb.) Mak.
15	เถาว์ลัยเปรียง	Jewel	Vine <i>Derris scandens</i> Benth.
16	ใบหญ้าหวาน	Stevia	<i>Steviarebaudiana</i> Bertoni

ที่มา: ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 280 (2547)

### ข. วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น

อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง

นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้นหลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก



อบภาชนะซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม



ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียดประมาณ 1-2 กรัม

ใส่ในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว



นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง



นำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งหาน้ำหนัก



อบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที และทำเช่นเดิม

จนได้ต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม



คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร



ปริมาณความชื้นคิดเป็นร้อยละ =  $\frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \times 100$

$M_1$

เมื่อ  $M_1$  คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

$M_2$  คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

ภาพที่ 1 ขั้นตอนการหาความชื้น

ที่มา: คัดแปลงจาก AOAC (2000)



### ค. วิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

นำสารสกัดมา 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu (0.5 นอร์มอล) 2.5 มิลลิลิตร



ทิ้งไว้ 8 นาที เติมสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต 2 มิลลิลิตร



ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง และนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร  
ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืน



คำนวณหาปริมาณฟีนอลิกในหน่วยมิลลิกรัมของ Gallic acid ต่อกรัมตัวอย่างน้ำหนักแห้ง โดยใช้กราฟมาตรฐานของ Gallic acid

### ภาพที่ 2 ขั้นตอนการหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

ที่มา: ดัดแปลงจาก Siriamornpun (2012)

### ง. วิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

นำสารละลายตัวอย่างมา 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 2.25 มิลลิลิตร



เติมโซเดียมไนไตรท์ ร้อยละ 5 0.15 มิลลิลิตร



หลังจากนั้น 6 นาที เติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ ร้อยละ 10 0.3 มิลลิลิตร



ทิ้งไว้ 5 นาที และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ 1 มิลลิลิตร



นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืน



คำนวณหาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด โดยใช้กราฟสารละลายมาตรฐานของรูทีน

### ภาพที่ 3 ขั้นตอนการหาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

ที่มา: ดัดแปลงจาก Siriamornpun (2012)

**จ. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูล 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) cation radical scavenging assay (ABTS)**

การเตรียม working solution

ผสมสารละลาย ABTS กับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตปริมาณเท่ากัน



บ่มไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12-16 ชั่วโมง



ผสมสารละลายในข้อ 2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตรกับเอทานอล 25 มิลลิลิตร



นำสารที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร

ปรับจนได้สารละลายที่มีค่าการดูดกลืนแสง  $1.1 \pm 0.02$

**ภาพที่ 4** ขั้นตอนการเตรียมสารละลายเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูล ABTS  
ที่มา: ดัดแปลงจาก Lu (2015)

วิธีการทดลอง

ผสมตัวอย่างปริมาตร 150 ไมโครลิตรกับ working solution ปริมาตร 2850 ไมโครลิตร



ผสมให้เข้ากันดี แล้ววางไว้ในที่มืดอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง



เตรียมแบลด์ โดยใช้ น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร

โดยใช้เอทานอล ผสมกับสารละลาย ABTS เป็นตัวควบคุม



คำนวณความสามารถในการกำจัดอนุมูล ABTS ไมโครโมลสมมูลของโทรล็อกซ์

ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยใช้กราฟมาตรฐานโทรล็อกซ์

**ภาพที่ 5** ขั้นตอนการหาการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูล 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) cation radical scavenging assay (ABTS)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Lu และคณะ (2015)

**จ. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูล 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl  
radical scavenging capacity assay (DPPH)**

ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารละลาย DPPH ปริมาตร 2 มิลลิลิตร



เก็บไว้ในที่มืดนาน 30 นาที



นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร

โดยใช้เอทานอลผสมกับสารละลาย DPPH เป็นตัวควบคุม



คำนวณความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ไมโครโมลสมมูลของโทรล็อกซ์  
ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยใช้กราฟมาตรฐานโทรล็อกซ์

**ภาพที่ 6** ขั้นตอนการหาการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูล 2,2-Diphenyl-1-  
picrylhydrazyl radical scavenging capacity assay (DPPH)

ที่มา: คัดแปลงจาก Lu (2015)

**ข. การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์ Ferric reducing antioxidant power assay  
(FRAP)**

การเตรียมสารเคมี

- การเตรียมอะซีเตตบัฟเฟอร์ 300 มิลลิโมลต่อลิตร (พีเอช 3.6)

ซึ่งโซเดียมอะซีเตตไตรไฮเดรตมา 3.1 กรัม ละลายในกรดอะซีติกปริมาตร 16  
มิลลิลิตร ปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

- การเตรียม TPTZ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลต่อลิตร ในกรดไฮโดรคลอริก 40 มิลลิโมล  
ต่อลิตร

- เตรียมกรดไฮโดรคลอริก 40 มิลลิโมลต่อลิตร โดยการปิเปตกรดไฮโดรคลอริก  
มา 0.3312 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตรด้วย  
น้ำกลั่น ซึ่ง TPTZ มา 0.3123 กรัม ละลายในไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40  
มิลลิโมลต่อลิตร และปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตรด้วย  
ไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 มิลลิโมลต่อลิตร

- การเตรียมเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร โดยการชั่งเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต มา 0.5406 กรัม ละลายและปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

- การเตรียมสารละลาย FRAP

นำอะซีเตตบัฟเฟอร์ ผสมกับ TPTZ และเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร มาทำปฏิกิริยากันในอัตราส่วน 10:1:1 จากนั้นบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

วิธีการทดลอง

ปิเปตสารสกัดจากตัวอย่างปริมาตร 150 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง



ปิเปตสารละลาย FRAP ปริมาตร 2850 ไมโครลิตร ลงในหลอดสารตัวอย่าง



เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที



วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้น้ำกลั่นผสมกับสารละลาย FRAP เป็นตัวควบคุม



คำนวณความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ FRAP ไมโครโมลสมมูลของโทรล็อกซ์ ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยใช้กราฟมาตรฐานโทรล็อกซ์

ภาพที่ 7 ขั้นตอนการหาการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์ FRAP

ที่มา: ดัดแปลงจาก Siriamornpun (2012)

## ซ. แบบทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรของผู้บริโภค

ใบชี้แจงข้อมูลและการแสดงความยินยอมเข้าร่วมการทดสอบทางประสาทสัมผัสของชาจากดอกกาแฟโรบัสต้า

### ใบยินยอมการเป็นอาสาสมัคร

#### (Consent form)

ในวันที่ 5 มีนาคม 2562 นี้ ท่านจะได้รับตัวอย่างชาจากดอกกาแฟเพื่อทดสอบชิมจำนวน 4 ตัวอย่าง โดยจะใช้เวลาในการทดสอบชิมคิดเป็นเวลาไม่เกิน 30 นาทีโดยประมาณ ผลิตภัณฑ์ชาจากดอกกาแฟโรบัสต้าที่ท่านได้ทดสอบชิมนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทางผู้จัดการทดสอบได้ผลิตขึ้นเองอย่างถูกสุขลักษณะ ท่านสามารถสอบถามรายละเอียดของการวิจัยครั้งนี้ได้จาก นางสาวอิษา ชุสุทธิ์ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยมี ผศ. ดร. ก่องกาญจน์ กิจรุ่งโรจน์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และถ้าท่านมีเหตุผลใดๆ ที่ทำให้ท่านไม่อาจทดสอบชิมต่อได้ ท่านสามารถยกเลิกการทดสอบได้ทุกขณะที่ท่านต้องการ

ข้าพเจ้าได้รับข้อมูลที่ต้องการและยินดีเข้าร่วมการทดสอบทางประสาทสัมผัสของชาจากดอกกาแฟโรบัสต้า

ลงชื่อ .....

(.....)

วันที่ .....



4. ท่านดื่มชาสมุนไพรโดยรวมๆ แล้ว บ่อยเพียงใด

- ( ) มากกว่า 1 แก้ว / กล่อง / ขวด ต่อวัน  
 ( ) 1 แก้ว / กล่อง / ขวด ต่อวัน  
 ( ) 2 - 6 แก้ว / กล่อง / ขวด ต่อสัปดาห์  
 ( ) 1 แก้ว / กล่อง / ขวด ต่อสัปดาห์ หรือน้อยกว่า

5. ปกติท่านซื้อชาสมุนไพรจากสถานที่ใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- ( ) ตลาด ( ) ร้านค้าปลีก / โชห่วย  
 ( ) ร้านค้าสะดวกซื้อ ( ) ร้านค้าออนไลน์  
 ( ) ซูเปอร์มาร์เก็ต ( ) ร้านค้า OTOP  
 ( ) ห้างสรรพสินค้า (เช่น Big C, Tesco Lotus, Makro)  
 ( ) อื่นๆ ระบุ.....

6. วัตถุประสงค์ในการซื้อชาสมุนไพร (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- ( ) มีประโยชน์ต่อร่างกาย ( ) ดับกระหาย  
 ( ) รสชาติดี ( ) มีกลิ่นหอมของชา  
 ( ) เพื่อรักษาโรค ( ) อยากรดลองสินค้าใหม่ๆ  
 ( ) มีการระบุคุณประโยชน์/สรรพคุณ ( ) หาซื้อง่าย  
 ( ) ซื้อตามคำโฆษณาที่พบเห็น ( ) ราคาสินค้า  
 ( ) ความน่าเชื่อถือของผู้ผลิต / สินค้า ( ) การส่งเสริมการขาย  
 ( ) การรับรองเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ออร์แกนิก / ปลอดภัยจากสารเคมี  
 ตกค้าง  
 ( ) เป็นของขวัญ / ของฝากแก่ผู้อื่น  
 ( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

## 7. ปัจจัยที่ผลต่อการตัดสินใจซื้อชาสมุนไพร

คำชี้แจง ปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้ มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อชาสมุนไพรของท่านมากน้อยเพียงใด โปรด  
ระบุความสำคัญของทุกปัจจัยโดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องตารางที่เป็นคำตอบของท่าน

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อชาสมุนไพร	ระดับความสำคัญ				
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปาน กลาง (3)	น้อย (2)	น้อย ที่สุด (1)
<b>ด้านผลิตภัณฑ์</b>					
1. รสชาติอร่อย					
2. มีกลิ่นหอม					
3. เป็นธรรมชาติ (ไม่ปรุงแต่ง)					
4. มีประโยชน์ต่อสุขภาพ					
5. สะอาด / ปลอดภัย / ปลอดจากสารเคมีตกค้าง					
6. บรรจุภัณฑ์ดึงดูด น่าสนใจ					
7. ปริมาณเหมาะสมต่อความต้องการแต่ละครั้ง					
8. ผลิตภัณฑ์มีชื่อเสียง น่าเชื่อถือ					
9. อายุสินค้า					
<b>ด้านราคา</b>					
10. ราคาเหมาะสมกับปริมาณ					
11. ราคาคุ้มค่าเมื่อเทียบกับยี่ห้ออื่น					
12. ราคาเหมาะสมกับคุณภาพสินค้าที่ได้รับ					
<b>ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย</b>					
13. หาซื้อได้ง่าย					
14. วางในชั้นวางสินค้าที่สะดวกตา หาง่าย					
15. สามารถหาซื้อได้ในหลายๆ ช่องทาง					
16. สามารถสั่งซื้อออนไลน์ / มีบริการส่ง					
<b>ด้านการส่งเสริมการตลาด</b>					
17. มีการแนะนำ / โฆษณาสินค้าผ่านสื่อต่างๆ					
18. มีการจัดซุ้มแนะนำสินค้า / ทดลองชิม					
19. มีการจัดรายการ โปรโมชัน					



## ส่วนที่ 2 ข้อมูลการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อชาและน้ำชาจากดอกกาแฟโรบัสต้า

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตามลำดับที่เสนอจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดให้

- 1 = ไม่ชอบมากที่สุด      2 = ไม่ชอบมาก      3 = ไม่ชอบปานกลาง  
 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย      5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ      6 = ชอบเล็กน้อย  
 7 = ชอบปานกลาง      8 = ชอบมาก      9 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง			
<b>ดอกกาแฟ</b>				
ลักษณะปรากฏ				
สี				
<b>น้ำชาจากดอกกาแฟ</b>				
ลักษณะปรากฏ				
สี				
กลิ่น				
กลิ่นรส				
ความชอบโดยรวม				

หมายเหตุ กรุณากรอปาก / ดื่มน้ำ ด้วยน้ำดื่มระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง

ข้อเสนอแนะ: .....

.....

กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ตามความเห็นของท่านต่อผลิตภัณฑ์ชาจากดอกกาแฟโรบัสต้าที่ทดสอบไปเมื่อสักครู่ หากมีการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ชาจากดอกกาแฟโรบัสต้าในท้องตลาด ในราคาใกล้เคียงกับชาสมุนไพรในท้องตลาด ท่านจะซื้อหรือไม่

รหัสตัวอย่าง	ซื้อแน่นอน	อาจจะซื้อ	อาจจะซื้อหรือไม่ซื้อ	อาจจะไม่ซื้อ	ไม่ซื้อแน่นอน	สำหรับผู้เก็บข้อมูล <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

### ส่วนที่ 3 ข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์

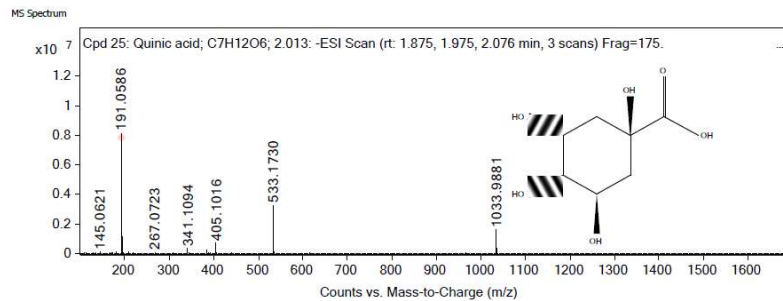
1. เพศ  
 ( ) ชาย ( ) หญิง
2. ศาสนา  
 ( ) พุทธ ( ) คริสต์  
 ( ) อิสลาม ( ) อื่นๆ โปรดระบุ.....
3. อายุ  
 ( ) 13-19 ปี ( ) 20-29 ปี ( ) 30-39 ปี  
 ( ) 40-49 ปี ( ) 50-59 ปี ( ) 60 ปี ขึ้นไป
4. การศึกษา  
 ( ) ต่ำกว่าประถมศึกษา  
 ( ) ประถมศึกษา  
 ( ) ปวช. / ปวส. / มัธยมศึกษา  
 ( ) อนุปริญญา หรือ เทียบเท่า  
 ( ) ปริญญาตรี  
 ( ) สูงกว่าปริญญาตรี
5. รายได้ของครอบครัวต่อเดือน  
 ( ) 15,000 บาท หรือต่ำกว่า  
 ( ) 15,001 – 35,000 บาท  
 ( ) 35,001 – 55,000 บาท  
 ( ) 55,001 – 75,000 บาท  
 ( ) 75,001 – 90,000 บาท  
 ( ) มากกว่า 90,000 บาท
6. จำนวนสมาชิกในครอบครัว (นับรวมตัวท่านด้วย)  
 ( ) 1 คน  
 ( ) 2 คน  
 ( ) 3 คน  
 ( ) 4 คนขึ้นไป

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

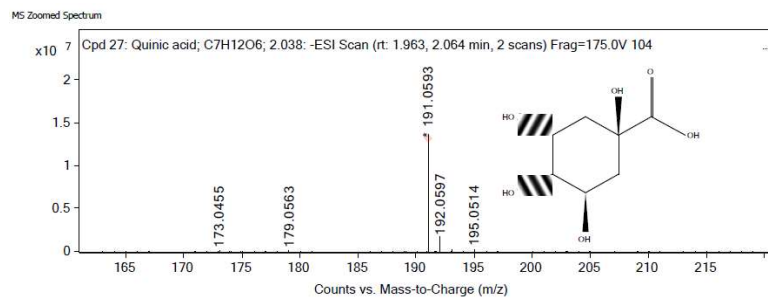
7. ท่านมีความเอาใจใส่สุขภาพของตนเองมากน้อยเพียงใด
- ( ) มากที่สุด
- ( ) มาก
- ( ) ปานกลาง
- ( ) น้อย
- ( ) น้อยที่สุด
8. ท่านมักเลือกรับประทานอาหารที่มีผลต่อสุขภาพ ได้แก่ อาหารเสริมสุขภาพ เช่น เสริมวิตามิน คอลลาเจน สารต้านอนุมูลอิสระ, อาหารอแกนิก, ข้าว-กล้อง และอาหารที่ไม่เติมสารเติมแต่งอาหาร เช่น วัตถุกันเสีย สารสังเคราะห์ มากน้อยเพียงใด
- ( ) มากที่สุด
- ( ) มาก
- ( ) ปานกลาง
- ( ) น้อย
- ( ) น้อยที่สุด
9. ท่านมีความพยายามหลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารที่มีค่าพลังงานสูง เช่น อาหารไขมันสูง อาหารจำพวกแป้ง และของหวาน มากน้อยเพียงใด
- ( ) มากที่สุด
- ( ) มาก
- ( ) ปานกลาง
- ( ) น้อย
- ( ) น้อยที่สุด

สำหรับผู้เก็บข้อมูล

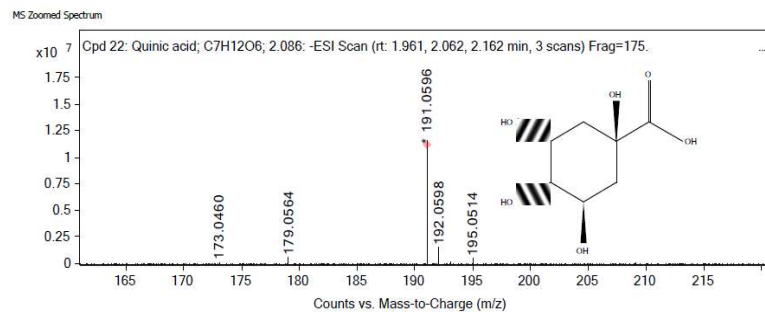
ภาคผนวก ณ. LC-MS Chromatogram ของสารประกอบฟีนอลิกที่มีในดอกกาแฟอบแห้ง  
วิธีต่างๆ ด้วยสถานะที่ผ่านการคัดเลือก



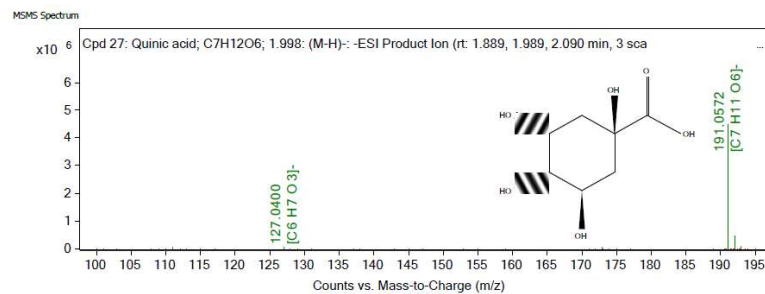
(a)



(b)

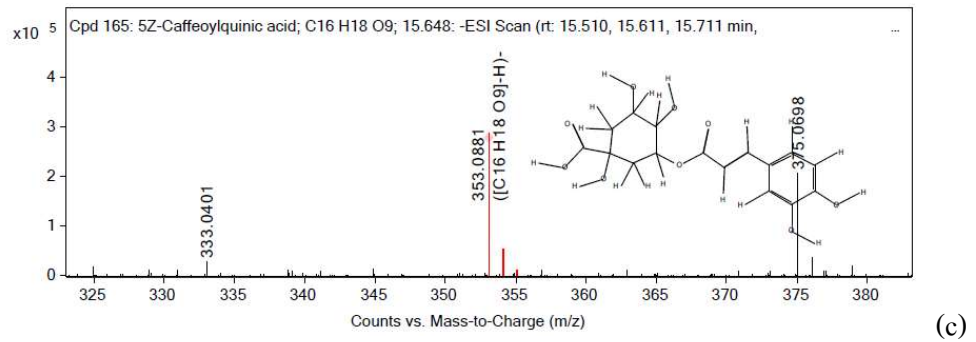
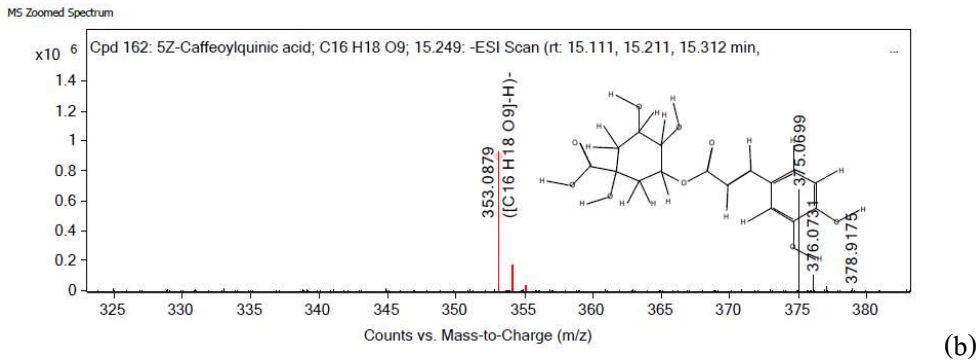
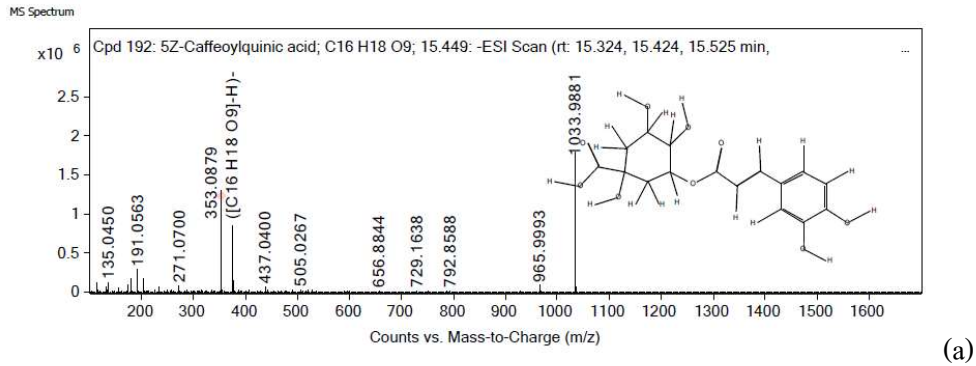


(c)

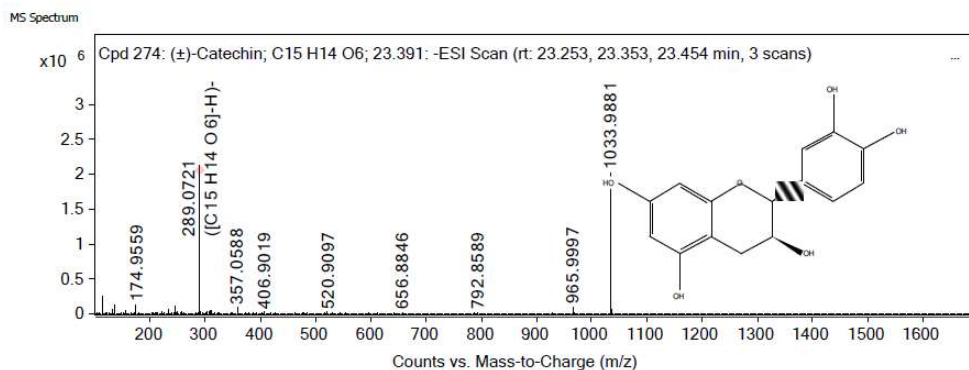


(d)

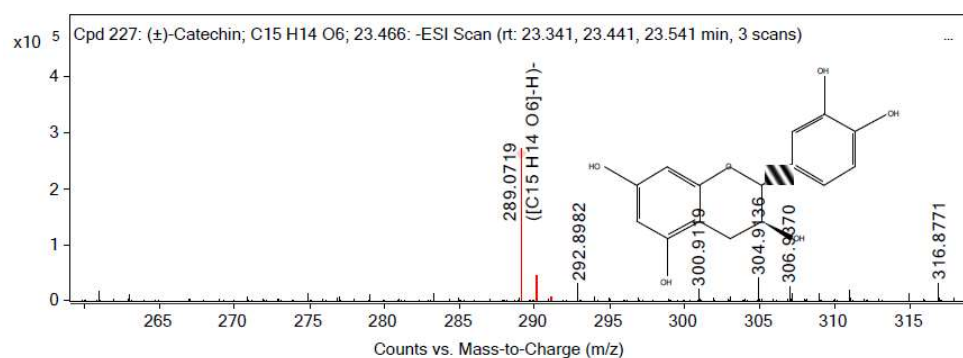
ภาพที่ 8 Chromatogram peak ของ Quinic acid ในตัวอย่างน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบลมร้อน อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (a) แบบอินฟาเรดสเปกตรัม (b) แบบไมโครเวฟสเปกตรัม (c) แบบแซ่เยือกแข็ง (d)



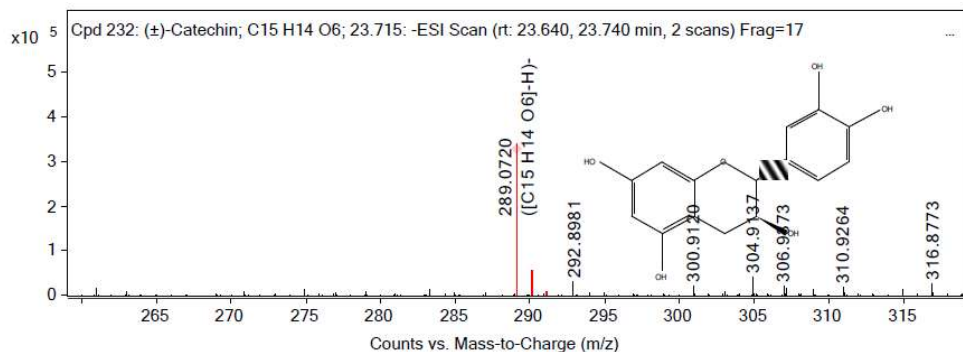
ภาพที่ 9 Chromatogram peak ของ 5Z-Caffeoylquinic acid ในตัวอย่างน้ำชาจากดอกกาแฟแห้ง แบบลมร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (a) แบบอินฟราเรดสเปกตรัม (b) แบบไมโครเวฟสเปกตรัม (c)



(a)

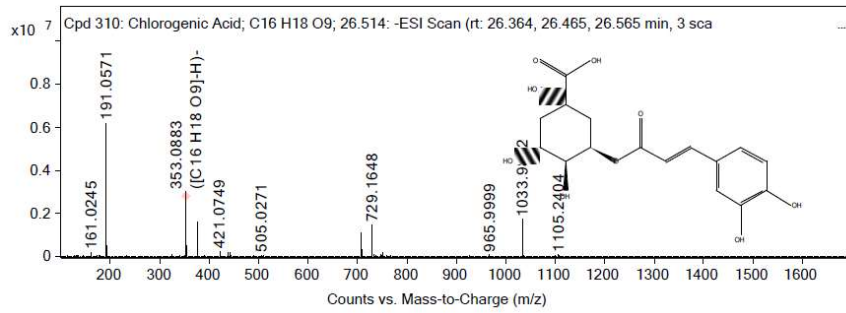


(b)

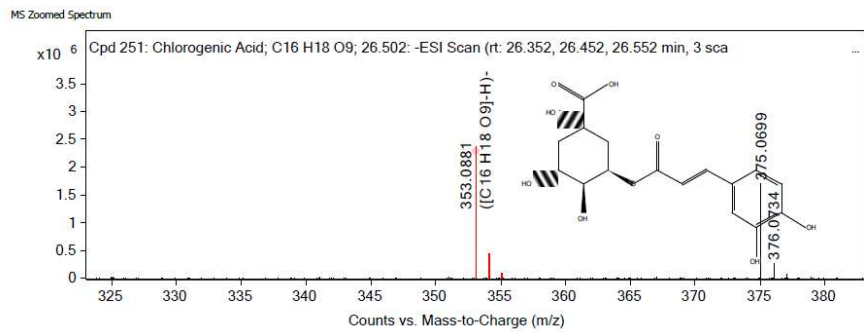


(c)

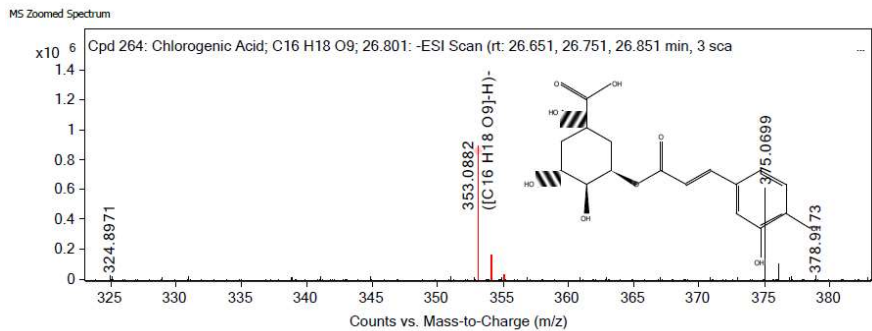
ภาพที่ 10 Chromatogram peak ของ (±)-Catechin ในตัวอย่างน้ำชาจากดอกกาเฟอบแห้ง  
แบบลมร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (a) แบบอินฟราเรดสเปกตรัม (b)  
แบบไมโครเวฟสเปกตรัม (c)



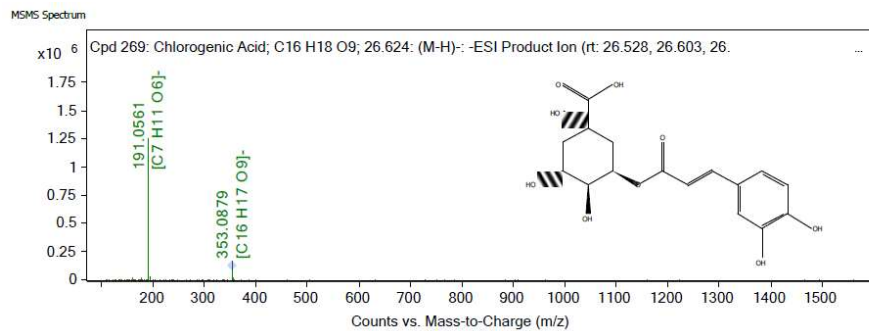
(a)



(b)

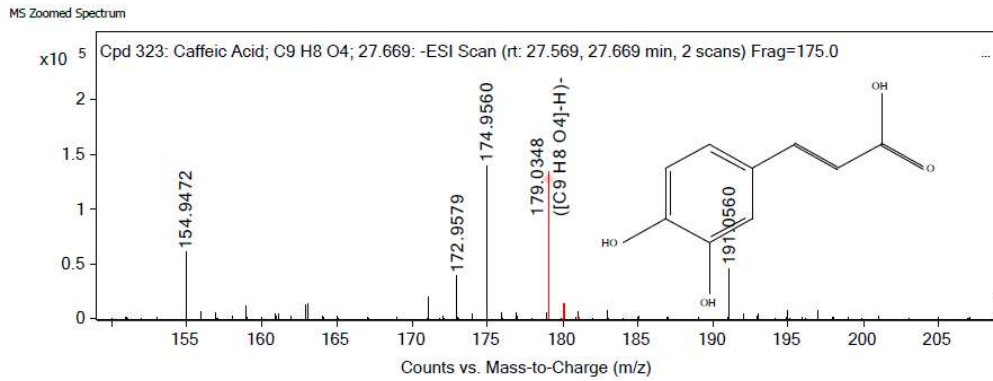


(c)

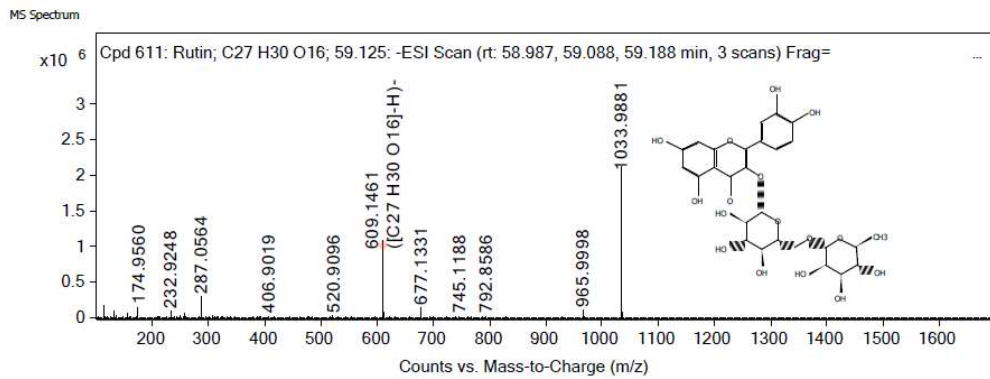


(d)

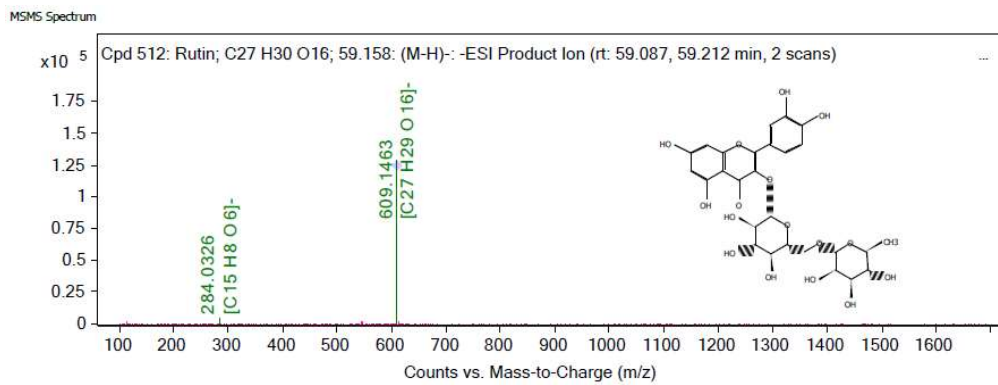
ภาพที่ 11 Chromatogram peak ของ Chlorogenic Acid ในตัวอย่างน้ำจากดอกกาแฟแห้ง  
แบบลมร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (a) แบบอินฟราเรดสเปกตรัม (b)  
แบบไมโครเวฟสเปกตรัม (c) แบบแช่เยือกแข็ง (d)



ภาพที่ 12 Chromatogram peak ของ Caffeic Acid ในตัวอย่างน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้ง  
แบบลมร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

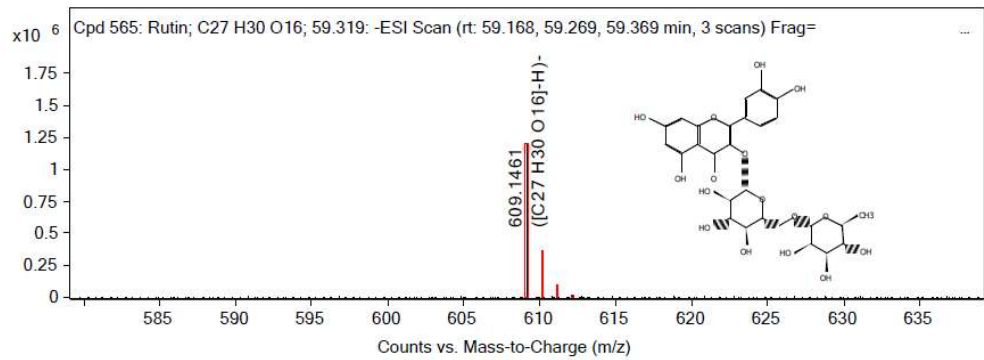


(a)

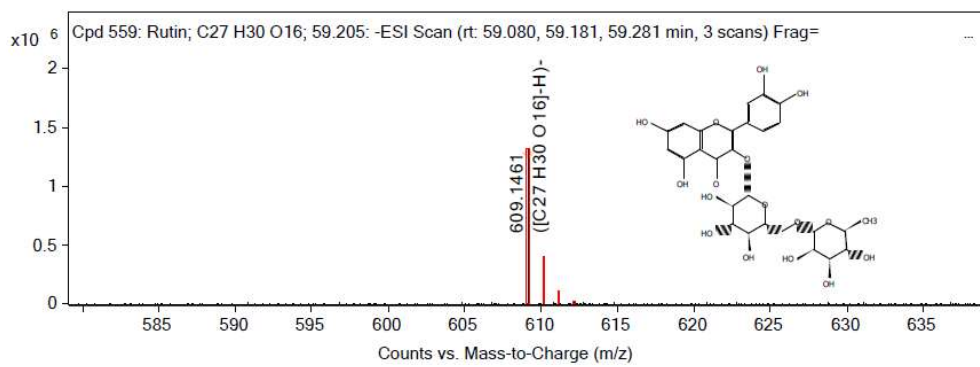


(b)



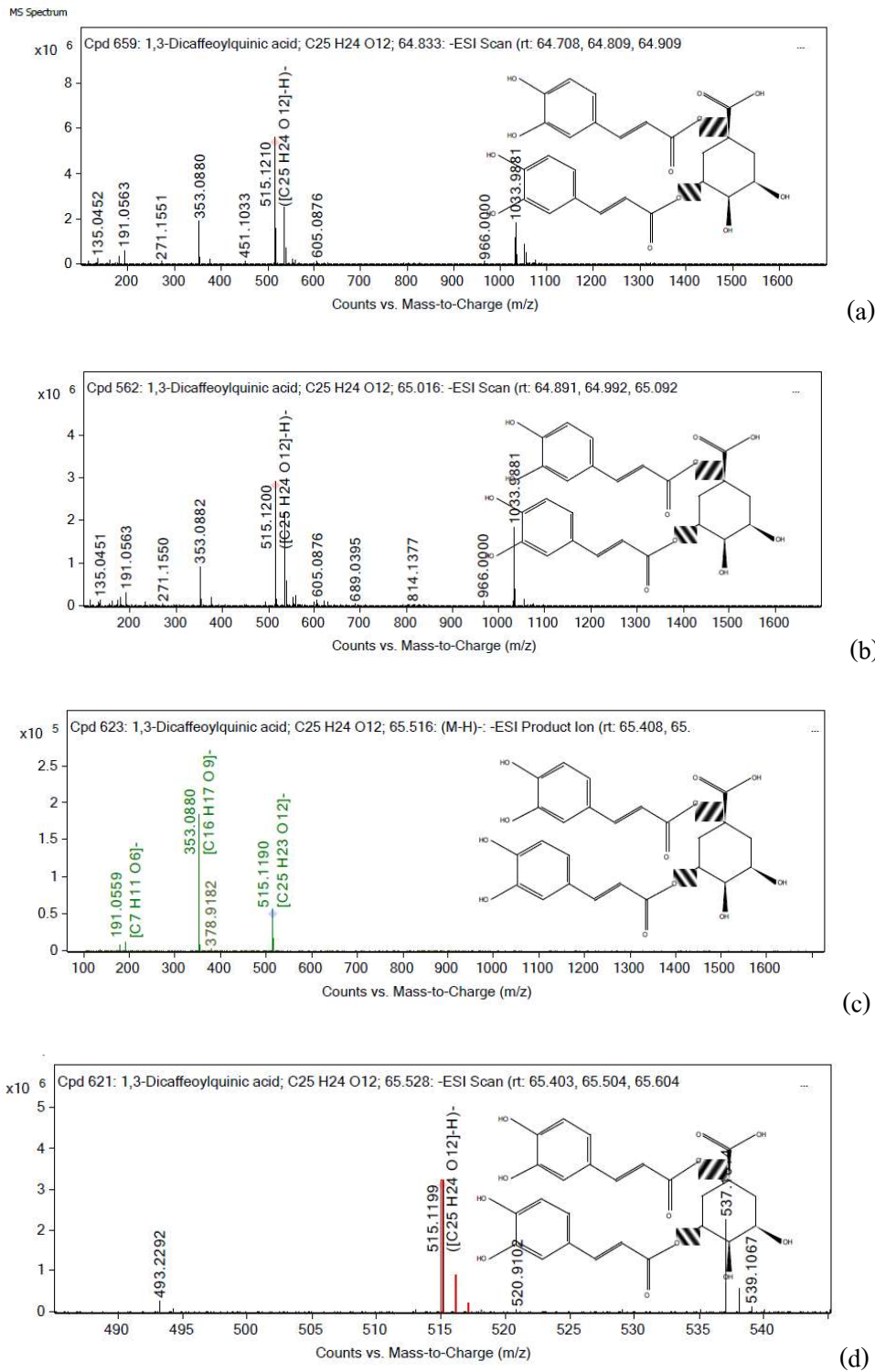


(c)



(d)

ภาพที่ 13 Chromatogram peak ของ Rutin ในตัวอย่างน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้ง  
แบบลมร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (a) แบบอินฟราเรดสเปกตรัม (b)  
แบบไมโครเวฟสเปกตรัม (c) แบบแชนแนลแค็ง (d)



ภาพที่ 14 Chromatogram peak ของ 1,3-Dicaffeoylquinic acid ในตัวอย่างน้ำชาจากดอกกาแฟอบแห้งแบบลมร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (a) แบบอินฟราเรดสเปกตรัม (b) แบบไมโครเวฟสเปกตรัม (c) แบบแซ่เยือกแข็ง (d)

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวอริษา ชูสุทธิ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5911020017

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2556

ทุนการศึกษา

- ทุนอุดหนุนการวิจัยภายใต้โครงการ “การสร้างนวัตกรรม วิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีทางด้านเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าอุตสาหกรรมเกษตรในเขตพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง AGR045-STP60” ปีงบประมาณ 2560 คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ทุนบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Choosut, A. and Kijroongrojana, K. 2019. The effects of drying methods and conditions on dried Robusta coffee (*Coffea canephora*) flower qualities In: Proceeding of 21<sup>th</sup> Food Innovation Asia Conference 2019, 13-15 June 2019. Bitec Bangna, Bangkok, Thailand. pp. 311-320.