

ผลของวิธีการทำแห้งต่อสารให้กลิ่น, สมบัติเชิงหน้าที่ และคุณลักษณะของผง  
จิ้งหรีด

EFFECT OF DRYING METHODS ON VOLATILE COMPOUNDS,  
FUNCTIONAL PROPERTIES AND CHARACTERISTICS OF CRICKET  
POWDER.



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ใบรับรองปัญหาพิเศษ

ผลของวิธีการทำแห้งต่อสารให้กลิ่น, สมบัติเชิงหน้าที่ และคุณลักษณะของผงจิ้งหรีด

EFFECT OF DRYING METHODS ON VOLATILE COMPOUNDS,  
FUNCTIONAL PROPERTIES AND CHARACTERISTICS OF CRICKET  
POWDER.

จัดทำโดย

นายคณาธิป เหล่าธนพงศ์ รหัสนักศึกษา 59080008

นางสาวณัฐมน ธิธนูรณ์ รหัสนักศึกษา 59080019

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

สุพรรณษา ตาษา

28 / พ.ค. / 2563

( ดร.สุพรรณษา อาษา )

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	ผลของวิธีการทำแห้งต่อสารให้กลิ่น, สมบัติเชิงหน้าที่ และคุณลักษณะของผงจิ้งหรีด	
ชื่อนักศึกษา	นายคณาธิป เหล่าธนพงศ์	รหัสนักศึกษา 59080008
	นางสาวณัฐมน ธิरणนุรณ	รหัสนักศึกษา 59080019
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร	
พ.ศ.	2563	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สุพีรยา อาษา	

### บทคัดย่อ

แมลงเป็นแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการสูง อย่างไรก็ตามผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่นิยมบริโภคอาหารที่ทำจากแมลง จึงมีความจำเป็นในการปรับปรุงพัฒนาอาหารที่ทำจากแมลงเพื่อให้ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อสารให้กลิ่น, สมบัติเชิงหน้าที่ และคุณลักษณะของผงจิ้งหรีด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลดสารให้กลิ่นไม่พึงประสงค์และศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ และสารต้านอนุมูลอิสระในผงจิ้งหรีด โดยสภาวะที่ใช้ในการทำแห้งคือ การอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C 5 ชั่วโมง (T60) และอุณหภูมิ 90 °C 3 ชั่วโมง (T90), การใช้ไมโครเวฟที่ 540 วัตต์ 12 นาที (M540) และ 900 วัตต์ 6 นาที (M900) และการทอดที่อุณหภูมิ 150 °C 3 นาที (F150) และ 180 °C 2 นาที (F180) จากนั้นนำผงจิ้งหรีดมาศึกษาองค์ประกอบทางเคมี, ค่าสี, การทดสอบทางประสาทสัมผัส (9-hedonic point scale และ ranking for preference), สารให้กลิ่นโดยเทคนิค GC-MS, สมบัติเชิงหน้าที่ (ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน, ความสามารถในการเกิดและความคงตัวของโฟม, ความสามารถในการเกิดและความคงตัวของอิมัลชัน) และสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ ABTS) โดย F180 สามารถลดปริมาณความชื้นได้มากที่สุด และมีปริมาณไขมันสูงที่สุด แต่มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่ากระบวนการทำแห้งอื่น ๆ ผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทำแห้งที่มีการใช้อุณหภูมิสูงกว่ามีสีเข้มกว่าผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทำแห้งที่มีการใช้อุณหภูมิต่ำกว่า และ F180 มีสีเข้มที่สุด T90 ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด ( $P \leq 0.05$ ) และ T60 มีความแรงของกลิ่นจิ้งหรีดน้อยที่สุด ( $P \leq 0.05$ ) การวิเคราะห์สารให้กลิ่นของผงจิ้งหรีด พบว่า T60 และ T90 มีปริมาณสารระเหยประเภทแอลดีไฮด์และไพราซีนน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ และสามารถลดปริมาณสารระเหยที่แสดงลักษณะกลิ่นไม่พึงประสงค์ เช่น 2-Heptenal, 1-Hexanol, Citronellal ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันของ F180 และ F150 มีค่าต่ำกว่ากระบวนการทำแห้งอื่น ๆ ความสามารถในการเกิดโฟมของผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 กระบวนการมีค่าต่ำ ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของ T60 มีค่าสูงที่สุด ( $P \leq 0.05$ ) แต่ความคงตัวของอิมัลชันของ T90 ดีที่สุด ( $P \leq 0.05$ ) ความสามารถในการฟอกจางสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอสของ M900 มีค่าสูงที่สุด ( $P \leq 0.05$ ) และความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอชของ M540 มีค่าสูงที่สุด ( $P \leq 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : การทำแท้ง, จิ้งหรีด, สารให้กลิ่น, สมบัติเชิงหน้าที่, คุณลักษณะของผงจิ้งหรีด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Effect of drying methods on volatile compounds, functional properties and characteristics of cricket powder.	
Student name	Kanatip Laotanapong	Student ID 59080008
	Natthamon Thirathanaboon	Student ID 59080019
Program	Bachelor of Science in Food Science and Technology	
Year	2020	
Advisor	Dr. Supeeraya Arsa	

### Abstract

Insects are a novel food source with high nutritional value. However, it is necessary to improve sensory appeal of insects because of their unacceptable characteristics. Therefore, the effect of drying methods on volatile compounds, functional properties and characteristics of cricket powder were studied. Cricket powder was prepared by different drying methods such as hot air oven; 60°C 5 hours (T60) and 90°C 3 hours (T90), microwave; 540W 12 min (M540) and 900W 6 min (M900) and frying; 150 °C 3 min (F150) and 180°C 2 min (F180). Proximate analysis, color, sensory evaluation (9-hedonic point scale and ranking for preference), volatile compounds, functional properties (water and oil holding capacity, foam capacity and stability, emulsion activity index and stability index) and antioxidant properties (ABTS and DPPH) of cricket powder were analyzed. F180 presented the highest fat content and had lower moisture and protein than cricket powder obtained from hot air oven and microwave drying. The L\* value of cricket powder obtained by drying with higher temperature showed darker color than those of lower temperature. F180 had the darkest color when compared with other drying methods. T90 presented the highest liking score ( $P \leq 0.05$ ) and T60 had the lowest cricket odor intensity ( $P \leq 0.05$ ). T60 and T90 had lowest amount of aldehyde and pyrazine compounds which presented undesirable odors. Drying method could eliminate off flavor in cricket such as 2-Heptenal, 1-Hexanol and Citronellal. The lowest water and oil holding capacity value was detected in frying method. Cricket powder that prepared by drying methods had low foam capacity. T60 had the highest emulsion activity index value ( $P \leq 0.05$ ) but T90 had the highest emulsion stability ( $P \leq 0.05$ ). The highest antioxidant activity on ABTS assay was M900 ( $P \leq 0.05$ ) and the highest antioxidant activity on DPPH assay was M540 ( $P \leq 0.05$ ).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keyword: Drying, Cricket, Volatile compounds, Functional properties, characteristic of cricket powder



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาปัญหาพิเศษในหัวข้อ “ผลของวิธีการทำแห้งต่อสารให้กลิ่น, สมบัติเชิงหน้าที่ และคุณลักษณะของผงจิ้งหรีด” ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีจากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ ดร.สุพิรยา อาษา ในการแนะนำให้ข้อเสนอแนะ ติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินการวิจัยตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผนและการปฏิบัติงานจริง คอยติดตามดูการทำงาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.เพ็ญศิริ แก้วทองที่กรุณารับเป็นกรรมการการสอบงานวิจัยและคอยให้คำแนะนำ และให้การสนับสนุนอย่างดีในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุพร พิษกมุทร ที่ท่านให้การสนับสนุนในส่วนของอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย รวมถึงพี่ ๆ นักศึกษาปริญญาเอกที่สละเวลาช่วยเหลือให้ข้อมูล และคำแนะนำต่าง ๆ ที่ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้การสนับสนุน คอยให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ รวมทั้งคอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาจนกระทั่งจบการศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระโยชน์อันเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้แก่ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากงานวิจัยฉบับนี้มีความผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

คณาธิป เหล่าชนพงศ์

ณัฐมน ธีรธนบุรณ์

18 พฤษภาคม 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	iii
กิตติกรรมประกาศ.....	v
สารบัญ.....	vi
สารบัญตาราง.....	xi
สารบัญภาพ.....	xii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 จิ้งหรีด.....	3
2.1.1 ลักษณะทั่วไป.....	3
2.1.2 วงจรชีวิต.....	3
2.1.3 การผสมพันธุ์ของจิ้งหรีด.....	4
2.1.4 ความต้องการของตลาด.....	4
2.1.5 จิ้งหรีดทองแดงลาย ( <i>Acheta domestica</i> ).....	5
2.2 องค์ประกอบทางเคมีที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่.....	6
2.2.1 โปรตีน.....	6
2.2.2 การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน.....	9
2.2.2.1 การสูญเสียสภาพธรรมชาติด้วยความร้อน.....	9
2.2.2.2 การสูญเสียสภาพธรรมชาติด้วยการปรับ.....	9
2.2.2.3 การสูญเสียสภาพธรรมชาติด้วยแรงกล.....	10
2.2.2.4 การสูญเสียธรรมชาติด้วยโลหะหนัก.....	10
2.2.3 ไขมัน.....	10
2.2.3.1 กรดไขมัน.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.3.2 กรดไขมันชนิดอิ่มตัว.....	11
2.2.3.3 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว.....	11
2.3 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน.....	12
2.3.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ.....	13
2.3.2 ความสามารถในการจับน้ำมัน.....	13
2.3.3 ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน.....	13
2.3.4 ความเสถียรหรือความคงตัวของอิมัลชัน.....	14
2.3.5 ความสามารถในการเกิดฟอง.....	14
2.3.6 ความเสถียรหรือความคงตัวของฟอง.....	14
2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกลินด้วยเทคนิค GC-MS.....	15
2.4.1 Haedspace-Solid Phase Microextraction.....	15
2.4.2 การวิเคราะห์สารระเหยด้วย GC-MS.....	16
2.4.2.1 Injector.....	16
2.4.2.2 GC-Column.....	16
2.4.2.3 Detector.....	17
2.5 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ.....	19
2.5.1 อนุมูลอิสระ.....	19
2.5.2 สารต้านอนุมูลอิสระ.....	19
2.5.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช.....	20
2.5.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส.....	21
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.6.1 การสกัดไขมันออกจากผงจิ้งหรีด ( <i>Acheta domesticus</i> , <i>Grylodes sigillatus</i> ) ต่อคุณค่าทางโภชนาการ และผล การทดสอบทางประสาทสัมผัสของซีเรียลบาร์.....	21
2.6.2 ผลของกระบวนการใช้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติเชิงหน้าที่และสารต้านอนุมูลอิสระในจิ้งหรีด.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2.8 การวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ.....	33
3.3.2.8.1 การเตรียมตัวอย่าง.....	33
3.3.2.8.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูล อิสระดีฟิฟิเอช.....	33
3.3.2.8.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการฟอกสีอนุมูล อิสระเอบีทีเอส.....	34
3.3.2.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	34
3.3.2.9.1 การวิเคราะห์ทางสถิติและการเปรียบเทียบความแตกต่าง ของค่าเฉลี่ย.....	34
3.3.2.9.2 การวิเคราะห์ด้าน Sensory evaluation ด้วย Ranking test.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	35
4.1 ผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมีของผงจิ้งหรีด.....	35
4.2 ผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อค่าสีของในจิ้งหรีด.....	36
4.3 ผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสในจิ้งหรีด.....	38
4.3.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสวิธี 9-hedonic point scale.....	38
4.3.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสวิธี Ranking for preference.....	39
4.4 ผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อสารให้กลิ่นในจิ้งหรีด.....	40
4.5 ผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของในผงจิ้งหรีด.....	41
4.5.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity, WHC) และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity, OHC).....	41
4.5.2 ความสามารถในการเกิดโฟม (Foam capacity) และความคงตัวของโฟม (Foam stability).....	46
4.5.3 ความสามารถในการเป็นอิมัลชันไฟเออร์ (Emulsion activity index, EAI) และเสถียรภาพของอิมัลชัน (Emulsion stability index, ESI).....	48
4.6 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผงจิ้งหรีด.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	51
5.1 สรุปผล.....	51
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	51
บรรณานุกรม.....	52
ภาคผนวก.....	57
ภาคผนวก ก.....	58
ภาคผนวก ข.....	59
ภาคผนวก ค.....	60
ประวัติผู้เขียน.....	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงผลผลิตและรายได้เฉลี่ยของผู้ผลิตจิ้งหรีด 2 สายพันธุ์ ในปีพ.ศ. 2561.....	5
4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของผงจิ้งหรีดที่ได้จากกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน วิธีที่แตกต่างกัน (เทียบจากน้ำหนักตัวอย่าง 100 g).....	36
4.2 แสดงค่าสี ( $L^*$ $a^*$ $b^*$ และ $\Delta E$ ) ของผงจิ้งหรีดที่ได้จากกระบวนการแปรรูปด้วย ความร้อนวิธีที่แตกต่างกัน.....	37
4.3 สารให้กลิ่นในผงจิ้งหรีดที่ทำแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน.....	42
4.4 แสดงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) และความสามารถ ในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity) ของผงจิ้งหรีดที่ได้จากกระบวนการ แปรรูปด้วยความร้อนวิธีที่แตกต่างกัน.....	46
4.5 แสดงค่าความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟม (Foam capacity and foam stability) ของผงจิ้งหรีดที่ได้จากกระบวนการแปรรูปด้วย ความร้อนวิธีที่แตกต่างกัน.....	47
4.6 แสดงความสามารถในการเป็นอิมัลชันไฟเออร์ (Emulsion activity index, EAI) และการวิเคราะห์เสถียรภาพของอิมัลชัน (Emulsion stability index, ESI) ของจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกัน.....	49
4.7 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical scavenging assay) และความสามารถในการฟอกจางสี อนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS radical scavenging assay) ของผงจิ้งหรีด ที่ได้จากกระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกัน.....	50
ข.1 ปริมาณน้ำอิสระ, ร้อยละผลผลิตของผงจิ้งหรีดที่ได้จากกระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกัน.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ตารางที่	หน้า
2.1	3
2.2	4
2.3	7
2.4	16
2.5	17
2.6	18
2.7	19
2.8	20
4.1	38
4.2	39
ก.1	58
ค.1	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

มนุษย์รู้จักการบริโภคแมลงเป็นอาหารมาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ แม้ว่าในปัจจุบันจะมีเนื้อสัตว์อย่างอื่นมากมายหลายชนิดที่ถูกนำมาปรุงเป็นอาหาร แต่แมลงก็ยังได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน โดยอาจเลือกบริโภคแมลงได้ในระยะที่เป็นไข่ ตัวหนอน ดักแด้ หรือตัวเต็มวัยก็ขึ้นอยู่กับชนิดของแมลง แมลงเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญและมีราคาถูก อีกทั้งการเลี้ยงแมลงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะแมลงใช้อาหารและน้ำน้อยกว่าสัตว์ชนิดอื่น ๆ อีกทั้งแมลงยังปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าสัตว์ชนิดอื่น ๆ อีกด้วย ผู้ที่บริโภคแมลงส่วนหนึ่งเป็นเพราะติดใจในรสชาติทำให้มีการบริโภคแมลงกันอย่างแพร่หลายในหลายระดับ ตั้งแต่แผงขายในตลาดนัด รถเข็น ห้างสรรพสินค้า ร้านอาหาร จนถึงภัตตาคารขนาดใหญ่ที่มีรายการอาหารที่ปรุงจากแมลงให้เลือกบริโภคได้มากขึ้น และจากการที่เปลือกของแมลงมีสารโคตินซึ่งเป็นสารโมเลกุลเชิงซ้อนของไนโตรเจนโพลีแซคคาไรด์ (Nitrogenous polysaccharide) เป็นองค์ประกอบทำให้เมื่อนำมาทอด ผัด หรือย่างจะมีกลิ่นเฉพาะตัวของแมลง (อุไรวรรณ และคณะ 2542) แต่อย่างไรก็ตามผู้บริโภคส่วนใหญ่ยังคงปฏิเสธที่จะบริโภคแมลง เนื่องจากมีความกลัว ความขยะแขยง การรับรู้ถึงผลข้างเคียงหรืออันตรายที่เกิดขึ้นจากการบริโภคแมลง รวมไปถึงกลิ่นและลักษณะไม่พึงประสงค์ของแมลง ผู้บริโภคจึงนิยมที่จะนำมาแปรรูปด้วยกระบวนการต่าง ๆ เช่น การทอด การอบ การคั่ว การผัด การย่าง ซึ่งการนำไปทอดหรือนำไปคั่วได้รับความนิยมนมากที่สุด วิธีการแปรรูปทั้ง 2 แบบทำให้แมลงสุกและมีความปลอดภัยมากขึ้น การทอดช่วยให้กลิ่นแมลงหอมขึ้น นอกจากนี้ยังให้ความกรอบ และน้ำมันที่เคลือบในปากระหว่างเคี้ยว ทำให้ผู้บริโภคยอมรับแมลงทอดได้มากขึ้น การคั่วเป็นเป็นการปรุงที่ไม่มีการใช้ไขมัน ดังนั้นแมลงจึงมีไขมันและแคลอรีต่ำกว่าการทอด (สมสมร, 2562) ด้วยวิธีการแปรรูปที่หลากหลายซึ่งให้กลิ่นและรสของแมลงต่างกัน รวมไปถึงสมบัติเชิงหน้าที่และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ เช่น จากงานวิจัยของ Lucus-Gonzalez และคณะ (2019) พบว่าคุณสมบัติเชิงหน้าที่และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของแป้งจิ้งหรีดจากแปรรูปด้วยอุณหภูมิที่ต่ำนั้นสูงกว่าการแปรรูปด้วยอุณหภูมิสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษากระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมซึ่งช่วยในการลดกลิ่นและลักษณะไม่พึงประสงค์ของแมลงรวมถึงศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของจิ้งหรีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมีในจังหวัด
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อสารให้กลิ่นในจังหวัด
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในจังหวัด
- 1.2.4 เพื่อศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อสารต้านอนุมูลอิสระในจังหวัด

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมต่อการรักษาองค์ประกอบทางเคมี, คุณสมบัติเชิงหน้าที่, สารต้านอนุมูลอิสระ ในจังหวัด

1.3.2 ทราบถึงสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมในการลดปริมาณสารให้กลิ่นไม่พึงประสงค์ในจังหวัด เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 จิ้งหรีด (Cricket)

##### 2.1.1 ลักษณะทั่วไป

จิ้งหรีดเป็นแมลงที่มีลักษณะปากเป็นแบบปากกัด มีตารวมหนวดยาว ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี และกินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์ ขยายพันธุ์ได้เร็ว มีขาคู่หลังขนาดใหญ่ แข็งแรง กระโดดเก่ง ตัวเมียวางไข่ได้ดินลึกประมาณ 1 – 2 เซนติเมตร ตัวอ่อนและตัวเต็มวัยจะหลบซ่อนตัวตามสนามหญ้า อยู่ในรูเก่าของแมลงอื่น รอยแตกของดิน หรือตามกองวัสดุทั่วไป

##### 2.1.2 วงจรชีวิตจิ้งหรีด

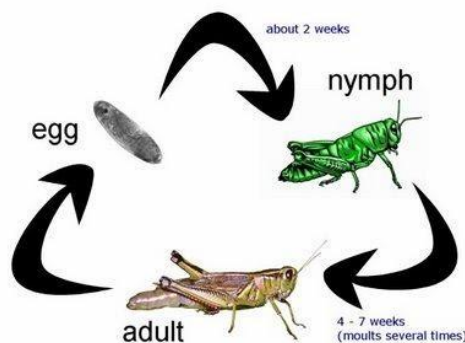
จิ้งหรีดมีระยะการเจริญเติบโต แบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ

1. ระยะไข่ ไข่จิ้งหรีดจะมีสีเหลืองรวมกันเป็นกลุ่มในดินลักษณะยาวเรียวยาวเมล็ดข้าวสารความยาวประมาณ 1.5 มิลลิเมตร วางไข่เป็นกลุ่ม ๆ ละ 3 -4 ฟอง ตลอดอายุขัยจิ้งหรีดเพศเมียสามารถวางไข่ได้ 600 – 1,000 ฟอง ซึ่งจะวางไข่เป็นรุ่น ๆ ได้ประมาณ 4 รุ่น ๆ ละ 200 – 300 ฟอง แต่ละรุ่นใช้เวลาห่างกันประมาณ 15 วัน หลังจากนั้นประมาณ 3 สัปดาห์ จะเห็นลูกจิ้งหรีดที่ฟักออกจากไข่จับพันตัว ระยะไข่ใช้เวลาประมาณ 7 วัน จึงฟักออกมาเป็นตัวอ่อน

2. ระยะตัวอ่อน ไข่จิ้งหรีดเมื่อฟักออกมาเป็นตัวอ่อน จะมีลักษณะคล้ายมด และมีการเจริญเติบโต โดยการลอกคราบประมาณ 8 ครั้ง จึงจะเป็นตัวเต็มวัย ตัวอ่อนเมื่อโตขึ้นเริ่มมีปีก เรียกว่า ระยะใส่เสื้อก๊ก มีระยะก๊กเล็ก มีตึงปีก และก๊กใหญ่ มีตึงปีกยาว ระยะตัวอ่อนพันธุ์จิ้งหรีดทั่วไปใช้เวลาประมาณ 35 – 40 วัน แต่ถ้าพันธุ์ทองแดงใช้เวลาประมาณ 46 – 50 วัน จึงจะลอกคราบเป็นตัวเต็มวัย

3. ระยะตัวเต็มวัย เป็นระยะที่สามารถแยกเพศได้ชัดเจน โดยการสังเกตความแตกต่างของเพศผู้ เพศเมีย เพศผู้จะมีปีกคู่หน้าสามารถทำให้เกิดเสียงขึ้นได้โดยใช้ปีกคู่หน้าถูกันจะทำให้เกิดเสียงเสียงที่จิ้งหรีดทำขึ้นเป็นการสื่อสารที่มีความหมายของจิ้งหรีด สำหรับเพศเมียจะมีปีกคู่หน้าเรียบ และมีอวัยวะวางไข่ยาวแหลมคล้ายเข็มยื่นออกมาจากส่วนท้องโดยทั่วไปจิ้งหรีดตัวเต็มวัยจะมีอายุเฉลี่ยประมาณ 45 – 60 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 วงจรชีวิตของจิ้งหรีด 3 ระยะ

ที่มา: พรรณทิพา (2562)

### 2.1.3 การผสมพันธุ์ของจิ้งหรีด

จิ้งหรีดจะผสมพันธุ์เมื่อกคราบเป็นตัวเต็มวัยประมาณ 3 – 4 วัน ก็จะเริ่มผสมพันธุ์โดยเพศผู้จะส่งเสียง โดยยกปีกคู่หน้าถูกันให้เกิดเสียงและถี่ๆ ติดต่อกันเพื่อให้ตัวเมียเข้ามาอยู่ใกล้ๆ จากนั้นเพศผู้จะถอยหลังเข้าหาตัวเมียเดินวนรอบประมาณ 2 -3 รอบ จากนั้นเพศเมียจะขึ้นคร่อมเพศผู้รับการผสมพันธุ์ ระยะเวลาผสมพันธุ์ประมาณ 10 -15 นาที การผสมพันธุ์และวางไข่แต่ละรุ่นจะใช้เวลาประมาณ 15 วัน/ครั้ง/รุ่น เมื่อหมดการวางไข่รุ่นสุดท้ายแล้วตัวเมื่อก็จะตาย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546)

### 2.1.4 ความต้องการของตลาด

มีงานวิจัยกล่าวถึงระบบการผลิตจิ้งหรีดในเชิงการค้าของเกษตรกรรายย่อยในหมู่บ้านแสนตอ จังหวัดกาญจนบุรี ในการคัดเลือกและจัดหาสายพันธุ์จิ้งหรีด โดยจากการสอบถามกลุ่มตัวอย่างเกษตรกรผู้เลี้ยงจิ้งหรีด พบว่าจิ้งหรีดที่มีการเลี้ยงภายในหมู่บ้านมี 2 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ทองดำ (*Gryllus bimaculatus* De Geer) และสายพันธุ์ทองแดงลาย (*Acheta domestica* Linnaeus) ส่วนใหญ่เกษตรกรเลือกเลี้ยงสายพันธุ์ทองดำมากถึงร้อยละ 74 ของเกษตรกรที่เลี้ยงที่เลี้ยงจิ้งหรีดทั้งหมดในหมู่บ้านเลี้ยงจิ้งหรีดทองแดงลายเพียงร้อยละ 26 เท่านั้น โดยให้เหตุผลถึงความแตกต่างในการเลือกเลี้ยงจิ้งหรีดคือ จิ้งหรีดสายพันธุ์ทองดำสามารถจำหน่ายได้ในราคาสูงถึง 90-120 บาท/กิโลกรัม และใช้เวลาในการเลี้ยงสั้นกว่า คือ 35-45 วัน ในขณะที่จิ้งหรีดสายพันธุ์ทองแดงลายจำหน่ายได้ในราคาเพียง 65-80 บาท/กิโลกรัม และใช้เวลาเลี้ยงนานถึง 45-60 วัน อย่างไรก็ตามเกษตรกรที่เลือกเลี้ยงจิ้งหรีดพันธุ์ทองแดงลายให้เหตุผลที่เลือกเลี้ยงว่าจิ้งหรีดพันธุ์ทองแดงลายเลี้ยงง่าย และมีความทนต่อโรคมากกว่าความเสี่ยงที่จิ้งหรีดตายจึงน้อยกว่าการเลี้ยงจิ้งหรีดพันธุ์ทองดำ อีกทั้งผลผลิตต่อปีของหมู่บ้านแสนตอ (ปีการผลิตพ.ศ. 2561) โดยผู้วิจัยจำแนกเกษตรกรโดยใช้ปริมาณผลผลิตเฉลี่ยมากกว่า 2,000 กิโลกรัม/ปี เป็นเกษตรกรรายใหญ่ ผู้วิจัยได้จำแนกประเภทเกษตรกรออกเป็น 2 กลุ่มคือ เกษตรกรรายใหญ่ และเกษตรกรรายย่อย (ชยานิส และคณะ, 2561) แสดงในตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงผลผลิตและรายได้เฉลี่ยของผู้ผลิตจิ้งหรีด 2 สายพันธุ์ ในปีพ.ศ. 2561

ขนาดของฟาร์ม	จำนวนครัวเรือน	สายพันธุ์	ผลผลิตเฉลี่ย/ปี (กก.)	รายได้เฉลี่ย/ปี (บาท)
ใหญ่	7	<i>Acheta domestica</i> <i>Linnaeus</i>	7,393.86	591,508.80
เล็ก	54	<i>Gryllus bimaculatus</i> De <i>Geer</i>	1,351.85	135,185.19

ที่มา: ชญาณิช และคณะ (2561)

### 2.1.5 จิ้งหรีดทองแดงลาย (*Acheta domestica*)

จิ้งหรีดทองแดงลาย หรือ จิ้งหรีดขาว หรือ แมงสะตัง ในภาษาอีสาน เป็นจิ้งหรีดขนาดเล็ก มีลำตัวสีน้ำตาล ลักษณะคล้ายกับจิ้งหรีดทองแดง (*Gryllus testaceus*) แต่มีขนาดเล็กกว่าตัวเมียมีปีกคู่หน้าสั้นครึ่งลำตัว ไม่ชอบบิน เคลื่อนไหวไม่รวดเร็วเท่าจิ้งหรีดชนิดอื่น ๆ โดยทั่ว ๆ ไปลำตัวกว้างประมาณ 0.5 เซนติเมตร ยาว 2.05 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 0.53 กรัม หรือประมาณ 1,890 – 2,235 ตัว ต่อ 1 กิโลกรัม (ศุภชัย, 2560)



ภาพที่ 2.2 จิ้งหรีดทองแดงลาย (*Acheta domestica*)

ที่มา : Mr Smiley (2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 องค์ประกอบทางเคมีที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่

### 2.2.1 โปรตีน (Protein)

โปรตีนเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อน โปรตีนเกิดจากกรดอะมิโนทั้ง 21 ชนิดมาเรียงต่อกันเป็นสายโดยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ (peptide bond) เนื่องจากความหลากหลายของลำดับกรดอะมิโนที่มาเรียงต่อกัน จึงทำให้โปรตีนที่เกิดขึ้นมาความหลากหลาย ความแตกต่างของโปรตีนอาจจะเป็นความแตกต่างในด้านสมบัติทางเคมีและด้านโครงสร้าง เช่น โครงสร้างทุติยภูมิ (secondary structure) และ โครงสร้างตติยภูมิ (tertiary structure) การจัดกลุ่มของกรดอะมิโนชนิดต่างๆ จะดูจากลักษณะสายโซ่ (side chain) ซึ่งจะมีทั้งมีขั้ว (polar) และไม่มีขั้ว (non-polar) และการแบ่งกลุ่มของกรดอะมิโนนั้นจะแบ่งตามสมบัติทางเคมีของสายโซ่ (Kruhl และ Wall, 1969)

#### การแบ่งชนิดของกรดอะมิโน

โครงสร้างของกรดอะมิโน จะมีความสำคัญต่อโครงสร้าง 3 มิติของโปรตีนแต่ละตัว ดังนั้นการที่กรดอะมิโนแต่ละตัวจะมีรูปแบบการจัดเรียงตัวอย่างไรก็ขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมีของหมู่ R ในการทำปฏิกิริยากับน้ำ ทำให้หมู่ R มีประจุหรือไม่มีประจุ การแบ่งโดยวิธีนี้นิยมมากที่สุด เพราะเป็นการอธิบายบทบาทของกรดอะมิโนเมื่ออยู่ในโปรตีน ดังนั้นการแบ่งกรดอะมิโนออกได้เป็น 4 แบบดังนี้

#### 1. หมู่ R ที่ไม่มีขั้วและไม่มีประจุ (Neutral nonpolar amino acids)

กรดอะมิโนพวกนี้จะมีหมู่ R เป็นพวกหมู่ hydrocarbon ทำให้หมู่ R ไม่มีประจุ และละลายน้ำได้ยาก จึงจัดเป็นกรดอะมิโนชนิด Neutral และ Nonpolar กรดอะมิโนชนิดนี้จะมีบทบาทสำคัญในการรักษาโครงสร้าง 3 มิติของโปรตีนให้คงอยู่ ได้แก่ glycine, alanine, leucine, valine, isoleucine, phenylalanine, tryptophan, methionine และ proline หมู่ R ของกรดอะมิโนพวกนี้ไม่ชอบน้ำ จึงมักรวมตัวเข้าด้วยกันในอนุภาคของโปรตีนที่เรียกว่า hydrophobic zone ทำให้อนุภาคของโปรตีนเสถียรภาพอยู่ได้ด้วยแรง hydrophobic interaction

#### 2. หมู่ R ที่มีขั้วแต่ไม่มีประจุ (Neutral polar amino acids)

หมู่ R ของกรดอะมิโนพวกนี้ จะละลายน้ำได้ดี (hydrophilic) โดยการสร้าง พันธะไฮโดรเจน กับน้ำ ได้แก่ serine, threonine, tyrosine, asparagine และ glutamine แต่ถ้ากรดอะมิโนเหล่านี้อยู่ในอนุภาคของโปรตีน ก็จะเชื่อมต่อกันเอง โดย serine, threonine และ tyrosine จะมีหมู่ polar hydroxyl (-OH) อยู่ในโมเลกุลซึ่งจะมีความสำคัญในการสร้าง พันธะไฮโดรเจน ในสายของโปรตีน นอกจากนี้หมู่ -OH ของ serine และ threonine ยังเป็นตำแหน่งที่คาร์โบไฮเดรต จะมาจับกับโปรตีนได้ ส่วน asparagine และ glutamine เป็น amide derivatives ของกรดอะมิโน aspartate และ glutamate เนื่องจากหมู่ amide จะเป็นโมเลกุลที่เอ็กสาร์เป็นเอ็กสาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีขั้ว จึงสร้างพันธะ พันธะไฮโดรเจน ได้ดี ดังนั้นโปรตีนที่มีกรดอะมิโน 2 ชนิดนี้ย่อมจะมีความเสถียร (stability) มากขึ้น

### 3. หมู่ R ที่มีประจุลบ (Acidic amino acids)

ได้แก่ aspartic acid และ glutamic acid ซึ่งมีหมู่ R เป็นหมู่ carboxyl เนื่องจากกรดอะมิโนทั้ง 2 นี้ มักจะมีประจุลบ ที่ physiological pH จึง มักถูกเรียกว่า aspartate และ glutamate

### 4. หมู่ R ที่มีประจุบวก (Basic amino acids)

กรดอะมิโนประเภทนี้ จะมีประจุบวกที่ physiological pH จึงสามารถสร้างพันธะ Ionic กับพวก acidic amino acids ได้ดี ตัวอย่างของกรดอะมิโนประเภทนี้ ได้แก่ lysine ซึ่งมีหมู่ R เป็นหมู่ amino ( $-NH_2$ ) ดังนั้นจึงรับโปรตอนจากน้ำกลายเป็น ammonium ion ( $-NH_3^+$ ) ได้ oxidation ของ lysine ในอนุภาคของโปรตีน เช่น collagen จะทำให้สายของ collagen เกิดการเชื่อมข้าม (crosslink) ได้ดียิ่งขึ้น arginine มีหมู่ guanidino ที่มีคุณสมบัติเป็นเบสแก่ ส่วน histidine มีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับ catalytic activity ของเอนไซม์หลายๆ ตัว

## โครงสร้างของโปรตีน

โปรตีนประกอบด้วย พอลิเพปไทด์ สายเดี่ยวหรือหลายสาย ที่ทำหน้าที่ต่างๆ กัน ดังนั้น พอลิเพปไทด์สายยาวที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดต่างๆ จึงต้องมีการพับตัว (folding) ให้มีรูปร่างต่างๆ เพื่อทำหน้าที่ให้เหมาะสม โครงสร้างของโปรตีน แบ่งออกได้เป็น 4 ระดับ (แสดงดังรูปที่ 3)

### 1. โครงสร้างปฐมภูมิ (Primary structure)

เป็นโปรตีนที่มีรูปโครงสร้างเป็นเส้นตรงได้จากการสังเคราะห์ใหม่ ๆ และจะนำไปเปลี่ยนเป็นรูปโครงสร้างขั้นต่อไป โปรตีนแต่ละชนิดจะมีกรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบที่แตกต่างกันและมีการเรียงลำดับแตกต่างกันด้วย ส่งผลให้มีการจัดเรียงตัวหรือการม้วนพับของโปรตีนในระดับทุติยภูมิ ตติยภูมิ หรือจตุรภูมิแตกต่างกัน

### 2. โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary structure)

สายพอลิเพปไทด์จะมีการม้วนตัว (Folding) เป็นรูปแบบที่ซ้ำกันและสม่ำเสมอทำให้เกิดลักษณะที่เป็นเกลียว (Helix) หรือเป็นแผ่น (Pleated sheet) ที่เกิดจากการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่คาร์บอนิลและหมู่อะมิโนในสายของพอลิเพปไทด์ ทำให้โครงสร้างของโปรตีนมีความเสถียรมากขึ้น

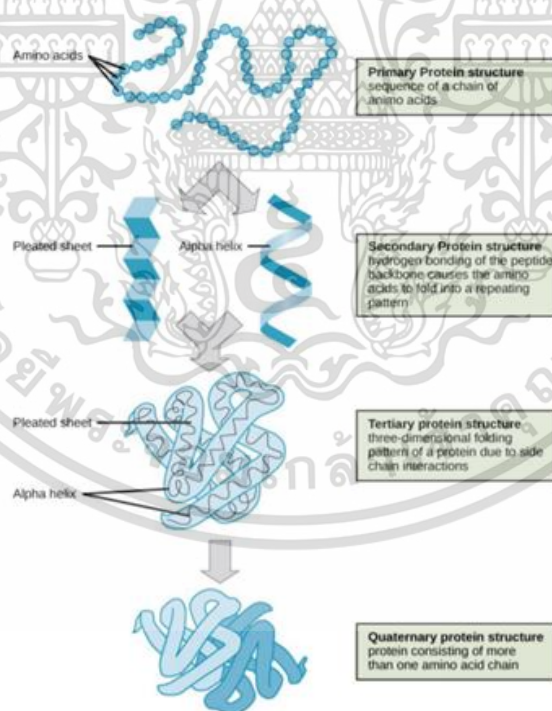
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. โครงสร้างตติยภูมิ (tertiary structure)

เป็นโครงสร้าง 3 มิติ ของสายพอลิเพปไทด์ ที่เกิดจากการม้วนพับเข้าหากันของโครงสร้างทุติยภูมิ ทำให้ได้โครงสร้างที่เสถียรขึ้นและ ทำหน้าที่ได้ (native form) แต่ละบริเวณที่เกิดการม้วนพับนี้เรียกว่า domains ซึ่งเชื่อมต่อกันโดย สายพอลิเพปไทด์ โครงสร้างระดับที่สามนี้เป็นโครงสร้างระดับสุดท้ายของสายพอลิเพปไทด์ หรือ โปรตีนบางตัวที่ประกอบด้วยโซ่เพปไทด์เพียงสายเดียว โครงสร้างระดับนี้มักพบในโปรตีนที่มี รูปร่างกลมรี (globular protein) ที่มักจะมี การม้วนพับโดยให้กรดอะมิโนที่ละลายน้ำได้ยาก (hydrophobic side chain) อยู่ภายในโมเลกุลและให้กรดอะมิโนที่มีหมู่ R ละลายน้ำง่ายอยู่ภายนอก

### 4. โครงสร้างจตุรภูมิ (quaternary structure)

โปรตีนหลายชนิดโดยเฉพาะพวกที่มี น้ำหนักอนุภาคสูงๆ มักจะมีการจับกลุ่มกันเองของสาย พอลิเพปไทด์ มากกว่า 1 สาย ด้วย noncovalent bonds (เช่น salt bridges, H-bond, Van der Waals, hydrophobic) เป็น oligomers หรือ multisubunits ทำให้โครงสร้างของโปรตีนเสถียรขึ้นเป็นโครงสร้างระดับที่สี่ และทำให้ โปรตีนทำงาน (function) ได้ในสิ่งมีชีวิต พอลิเพปไทด์ แต่ละสายเรียกได้ว่าเป็น monomer หรือ subunit แต่ละ subunit นี้ อาจมีโครงสร้างที่เหมือนกันหรือแตกต่างกันก็ได้



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของโปรตีนทั้ง 4 ระดับ

ที่มา : OpenStax Collage (2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีงานวิจัยศึกษาปริมาณของโปรตีนที่พบในแมลงที่กินได้ พบว่า จิ้งหรีดมีปริมาณโปรตีนสูงถึง 18.6 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักดิบในส่วนที่รับประทานได้ซึ่งสูงกว่าแมลงกิ้งกือ (18.1%), จิ้งโกร่ง (17.5%) รวมไปถึง หนอนไหมที่มีปริมาณไขมันและพลังงานสูง อีกทั้งจากการศึกษานี้ส่วนประกอบของกรดอะมิโนจำเป็นที่พบใน จิ้งหรีดคือ lucine 60.89 มิลลิกรัม/กรัมโปรตีน รองลงมาคือ lysine (46.11%) และ valine (34.37%) ตามลำดับ (นันทยา และคณะ, 2548)

## 2.2.2 การสูญเสียสภาพทางธรรมชาติของโปรตีน (Denaturation of protein)

การเปลี่ยนแปลงจากสภาพธรรมชาติของโปรตีน มีผลทำให้โครงสร้างทางเคมีเปลี่ยนไปแต่ไม่ทำลาย พันธะเพปไทด์ (peptide bond) ซึ่งเป็นพันธะระหว่างกรดแอมิโน (amino acid) ในโมเลกุลของโปรตีน แต่มี พันธะไฮโดรเจนซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างระดับต่างๆ ของโปรตีน (protein structure) ถูกทำลาย โครงสร้างจึง เกิดการคลายตัว (unfolded) เปลี่ยนจากโครงสร้างเดิมตามธรรมชาติเป็นโครงสร้างใหม่ การสูญเสียสภาพ ธรรมชาติของโปรตีนเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมหรือการใช้เอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

### 2.2.2.1 การสูญเสียสภาพธรรมชาติด้วยความร้อน (thermal denaturation)

อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายพอลิเพปไทด์ถูกทำลาย โครงสร้างของ โปรตีนจะถูกทำลายโดยเฉพาะพันธะระหว่างสายของโปรตีนกับโปรตีน หรือโปรตีนกับน้ำ หากอุณหภูมิไม่สูง มากนัก การเปลี่ยนแปลงสภาพธรรมชาติของโปรตีนอาจผันกลับคืนได้ (reversible) แต่หากอุณหภูมิสูงขึ้นถึง ระดับหนึ่ง จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพตามธรรมชาติของโปรตีนแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible) ตัวอย่าง ของการเปลี่ยนแปลงสภาพธรรมชาติของโปรตีนด้วยความร้อน ได้แก่ การสุกของไข่ขาวด้วยความร้อน ทำให้ไข่ขาวที่ เหลว แข็งตัว เกิดลักษณะเป็นเจล (gel) แข็ง ซึ่งจะย้อนกลับไม่ได้ ไข่ขาวสุกซึ่งการแข็งตัว มีสีขาวขุ่น ย่อยได้ ง่ายกว่าไข่ขาวดิบ รวมถึงการสุกของเนื้อสัตว์เนื่องจากความร้อน ทำให้โปรตีนไมโอซิน (myosin) ซึ่งเป็น ส่วนประกอบของเส้นใยกล้ามเนื้อ (myofibril) เกิดการคลายตัว และตกตะกอน ทำให้เนื้อมีสีและเนื้อสัมผัสที่ เปลี่ยนไป และผันกลับไม่ได้

### 2.2.2.2 การสูญเสียสภาพธรรมชาติด้วยการปรับ pH (pH denaturation)

ค่า pH ของโปรตีนที่พบในธรรมชาติจะสูงกว่าจุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point) ซึ่งทำ ให้พบโปรตีนในธรรมชาติ มีประจุรวมเป็นลบ (negative charge) ซึ่งประจุที่เหมือนกันจะเกิดแรงจะผลักกัน โปรตีนที่แขวนลอยในน้ำจะได้เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) การปรับค่า pH ของโปรตีนด้วยกรดจะ ทำให้ค่า pH ลดลงจนมีค่า pH เท่ากับจุดไอโซอิเล็กทริก จะทำให้ประจุรวมของโปรตีนเป็นศูนย์ แรงผลักกัน ระหว่างประจุที่เหมือนกันจะลดลง ประจุบวกและลบที่มีอยู่เท่าๆ กัน ณ จุดนี้จะดูกัน มีผลให้โปรตีนเกิดการ ตกตะกอน (precipitation) ถึงแม้โปรตีนบางชนิดจะยังละลายได้ แต่ค่า pH ที่จุดนี้จะทำให้โปรตีนมีการ ไม่ว่างกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายได้น้อยที่สุด ถ้าหากปรับค่า pH ของโปรตีนต่ำกว่าจุดไอโซอิเล็กทริกมาก จะทำให้โปรตีนมีประจุรวมเป็นบวก (positive charge) ถ้ามีประจุรวมมากแรงผลักระหว่างประจุก็จะมากขึ้น หากแรงผลักรุนแรงอาจทำให้โครงสร้างของโปรตีนเปลี่ยน สายของพอลิเพปไทด์ อาจเกิดการคลายตัว สูญเสียโครงสร้างตามธรรมชาติ ซึ่งจะมีผลคล้ายกับการสูญเสียสภาพธรรมชาติด้วยความร้อน ซึ่งหากเกิดรุนแรงอาจทำให้ไม่สามารถผันกลับเป็นโครงสร้างแบบเดิมได้ ตัวอย่างของการเปลี่ยนสภาพธรรมชาติของโปรตีนด้วยการปรับค่า pH ตัวอย่างของการสูญเสียสภาพธรรมชาติด้วยการปรับ pH ได้แก่ การตกตะกอนของโปรตีนเคซีน (casein) ในน้ำนม การปรับค่า pH ของน้ำนมให้เท่ากับจุดไอโซอิเล็กทริกจะทำให้โปรตีนเคซีนมีการละลายได้น้อยลง และตกตะกอนแยกออกมา การเกิดเจลของไข่ขาวในไข่เยี่ยวม้า ด้วยต่าง

### 2.2.2.3 การสูญเสียสภาพธรรมชาติด้วยแรงกล (mechanical denaturation)

ซึ่งจะมีผลรบกวนต่อ พันธะภายในระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเพปไทด์ ทำให้เกิดการอ่อนแอ หรือถูกทำลาย เช่นเดียวกับการใช้ความร้อน อาจทำให้เกิดฟอง (foam) เช่น การตีแป้ง (whipping) ไข่ขาว การทำให้เกิดฟองในน้ำนม เพื่อชงกาแฟลาเต้ (latte) หรือ ทำให้เกิดการแข็งตัว เช่น การใช้แรงดันสูง (high pressure) จะทำให้ไข่ขาวแข็งตัวได้เช่นเดียวกับการใช้ความร้อน

### 2.2.2.4 การสูญเสียธรรมชาติด้วยโลหะหนัก

โลหะหนักซึ่งหมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัม/ลบ.ซม. เช่น ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) และปรอท (Hg) ทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติได้ โดยโลหะจะไปการรวมกับโปรตีนทำลายพันธะระหว่างโปรตีนกับโปรตีน หรือโปรตีนกับน้ำ มีผลให้โปรตีนตกตะกอน

ผลของการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในอาหารส่งผลให้สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน (functional properties of protein) เปลี่ยนไป เช่น คุณสมบัติการอุ้มน้ำ คุณสมบัติการอุ้มน้ำมัน คุณสมบัติการละลาย คุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และคุณสมบัติการเกิดฟอง รวมถึงสูญเสียสมบัติทางชีววิทยาของโปรตีนที่เป็นเอนไซม์ การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนที่เป็นเอนไซม์ (พิมพ์เพ็ญ และคณะ, 2563)

## 2.2.2 ไขมัน (Lipid)

ไขมัน เป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลาย อินทรีย์ชนิดที่ไม่มีขั้ว หรือ นอนโพลาร์ (nonpolar) เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ และชนิดที่มีขั้ว หรือโพลาร์ (polar) เล็กน้อย เช่น แอลกอฮอล์ และอะซิโตน ยกเว้นกรดไขมันที่มีน้ำหนักรวมโมเลกุลต่ำสามารถละลายได้ในน้ำ (นิธิยา, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2.1 กรดไขมัน (Fatty Acids)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์สายตรงที่มีหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ (straight chain aliphatic monocarboxylic acid) มีสูตรโมเลกุลเป็น R-COOH โดย R- คือ หมู่แอลคิล (alkyl) ในโมเลกุลของกรดไขมัน และหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิกจึงทำให้กรดไขมันสามารถแตกตัวออกได้เป็นประจุลบ (anionic carboxylate) และหมู่R-มีสมบัติเป็น hydrophobic alkyl chain ซึ่งชอบที่จะละลายในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดที่ไม่มีโพลาร์ จึงทำให้โมเลกุลของกรดไขมันมีทั้งส่วนที่ละลายได้ในน้ำและน้ำมัน

ในธรรมชาติพบกรดไขมันเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่อยู่ในไขมัน น้ำมัน และฟอสโฟกลีเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่ ที่พบในรูปของกรดไขมันอิสระมีน้อยมาก การสังเคราะห์กรดไขมันในร่างกายมีสารเริ่มต้นเป็นหมู่อะซิติล ซึ่งคาร์บอนในโมเลกุล 2 อะตอม มาต่อกันเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้นจึงทำให้จำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเป็นเลขคู่เสมอ พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมัน มีทั้งที่เป็นพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ กรดไขมันที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมด เรียกว่า กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acids; SFA) ส่วนกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่งหรือมากกว่า 1 ตำแหน่ง เรียกว่า กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids; UFA ) (นิธิยา, 2548)

### 2.2.2.2 กรดไขมันชนิดอิ่มตัว

กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีสูตรต่างๆ ไปเป็น  $C_nH_{2n}O_2$  เป็นกรดมันที่พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด จึงไม่สามารถรับไฮโดรเจนอะตอมได้อีก กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุด คือ กรดบิวทิริก (คาร์บอน 4 อะตอม) เป็น กรดไขมันที่ละลายได้ดีในน้ำและระเหยได้ง่าย กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 6 - 10 อะตอมละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อยและยังระเหยได้ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 อะตอม ขึ้นไปไม่ละลายน้ำกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลต่ำกว่า 10 อะตอม จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10อะตอม ขึ้นไปจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง

### 2.2.2.3 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลบางตำแหน่งและมีการเรียงตัวเป็น cis-configuration การที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลทำให้สามารถเติมไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้อีกกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตามจำนวนของพันธะคู่ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Monounsaturated (Monoethenoid) Fatty Acids (MUFA) เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเพียง 1 อันมีสูตรทางเคมีทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n-1}COOH$  ตัวอย่าง เช่น กรดโอเลอิก (Oleic Acid),  $CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$  กรดปาล์มิโตเลอิก (Palmitoleic Acid),  $CH_3-(CH_2)_5-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$  กรดไขมันทั้ง 2 ชนิดนี้พบได้ในไขมันและน้ำมันทั่วไป

- Polyunsaturated (Polyethenoid) Fatty Acids (PUFA) เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 อัน ส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 18 - 22 อะตอม และมีพันธะคู่ 2-6 ตำแหน่ง พบมากในน้ำมันพืชและน้ำมันปลา (นิธิยา, 2548)

มีงานวิจัยศึกษาปริมาณของไขมันที่พบในแมลงที่กินได้ พบว่า จิ้งหรีดมีไขมันประมาณ 6 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักดิบในส่วนที่รับประทานได้ และมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) 36.45 % ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) 30.12 % และมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) 31.14 % คิดเป็นอัตราส่วนของ SFA:MUFA:PUFA ประมาณ 1 : 1 : 1 ซึ่งนับว่าจิ้งหรีดเป็นแหล่งอาหารที่มีปริมาณกรดไขมันเหมาะสม เพราะปกติแนะนำให้มนุษย์บริโภคไขมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดี่ยวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว หลายตำแหน่งในสัดส่วน ที่เท่ากัน จากการศึกษาปริมาณคอเลสเตอรอลในแมลง พบว่า จิ้งหรีดมีมากถึง 105 มิลลิกรัม / 100 กรัม เทียบเท่ากับปริมาณคอเลสเตอรอลในหัวกุ้งสดหรือน่องไก่ ในน้ำหนักเท่ากัน (นันทยา และคณะ, 2548)

## 2.3 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน ( Protein functional properties)

โปรตีนในอาหารมีความแตกต่างกันทั้งในด้านของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบ ชนิด ปริมาณ ขนาด โมเลกุล โครงสร้าง (globular หรือ fibrous) และค่า isoelectric point (pI) การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพจะมีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน เช่น

### 2.3.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity)

น้ำที่อยู่ในโครงสร้างของโปรตีนแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ น้ำที่จับกับโมเลกุลของโปรตีน (bound water) หรือเรียกว่า absorbed water (Knetifel และคณะ, 1991) และน้ำที่ถูกจับอยู่ในโปรตีนเมตริกซ์ ซึ่งจะเรียกว่า retained water ซึ่งการจับกันของ adsorbed water จะขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ชนิดของกรดอะมิโนและ pH โดยกรดอะมิโนที่มีความเป็นกรดหรือเป็นด่างจะยังสามารถจับกับน้ำได้ดี (Barbut, 1996) Bull และ Breese (1968) ได้ศึกษาความสามารถในการจับน้ำของโกลบูลินจากโปรตีนชนิดต่างๆ พบว่า ความสามารถในการจับน้ำมีความสัมพันธ์กับผลรวมของหมู่กรดอะมิโนประเภทมีขั้ว เช่น ไฮดรอกซิล คาร์บอนิล และหมู่ที่เป็นขั้วลบหรือขั้วบวกจะยับยั้งความสามารถในการจับกับน้ำ นอกจากนี้ถ้าโปรตีนไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบไปด้วยพันธะไฮโดรเจนและพันธะมีขั้วสูงจะยังสามารถจับกับน้ำได้ดี เนื่องจากสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ดี ส่วน retained water จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างเมตริกซ์ เช่น pore size

### 2.3.2 ความสามารถในการจับน้ำมัน (oil holding capacity)

ความสามารถในการจับน้ำมัน คือ การจับกันของสายโพรตีนที่ไม่ชอบน้ำ (nonpolar side chains) กับไขมัน (Sathe และคณะ, 1982) ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโพรตีนเมตริกซ์ เช่น pore size และ strand size ชนิดของไขมัน ขนาดของหยดไขมัน (fat droplet size) และปัจจัยอื่นๆ เช่น เติมสาร emulsifying agent อันตรกิริยา (interaction) ระหว่างโพรตีนกับไขมันจะขึ้นอยู่กับ โครงสร้างเจล และการกระจายตัวหรือการเกิดอิมัลชันของไขมัน (emulsification) (Barbut, 1996)

จากงานวิจัยที่รายงานโดย Kim และคณะ (2017) ในแป้งจิ้งหรีดบ้าน (*Acheta domesticus*) ที่ได้จากการทำ Spray dried มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ เท่ากับ 2.6 กรัม/กรัมตัวอย่าง และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน เท่ากับ 1.75 กรัม/กรัมตัวอย่าง และงานวิจัยที่รายงานโดย Lucas-Gonzalez และคณะ (2018) ในแป้งจิ้งหรีดบ้านที่ทำแห้งด้วยความร้อนโดยวิธีการอบลมร้อน มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ เท่ากับ 2.25 กรัม/กรัมตัวอย่าง และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน เท่ากับ 1.91 กรัม/กรัมตัวอย่าง ในแป้งจิ้งหรีดบ้านที่ทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็งมีค่าเท่ากับ 3.82 กรัม/กรัมตัวอย่าง และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน เท่ากับ 2.86 กรัม/กรัมตัวอย่าง

### 2.3.3 ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (Emulsifying activity)

เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของโพรตีนที่ช่วยให้เกิดอิมัลชันและช่วยให้อิมัลชันที่เกิดขึ้นมีความเสถียร (Ivey และคณะ, 1970) ซึ่ง Pearce และKinsella (1978) ได้รายงานค่าของ Emulsifying activity index (EAI) โดยวัดเป็นค่าของพื้นที่ของ interface ที่ถูกทำให้เสถียรต่อหน้าหนักของโพรตีน โดยใช้หลักการวัดความขุ่น (turbidity) ของอิมัลชันที่มีความยาวคลื่น 500 nm. เมื่ออยู่ในน้ำ (aqueous solution) โพรตีนจะพับตัว (fold) เพื่อให้อยู่ในรูปร่างที่เสถียรโดยจะหันส่วนที่มีขั้วซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำออกไป แต่ในอิมัลชันจะประกอบไปด้วยส่วนของน้ำและน้ำมัน โพรตีนจะกระจายตัวไปที่ผิวระหว่างน้ำและน้ำมัน โดยจะคลายตัวและหันส่วนที่ไม่มีขั้วซึ่งเป็นส่วนที่มาชอบน้ำไปทางน้ำมัน ส่วนที่มีขั้วมาทางน้ำ ซึ่งโพรตีนจะเกิดการเสถียรภาพ การคลายตัวของโพรตีนจะขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่นของโพรตีน โดยโพรตีนที่มีความยืดหยุ่นสูงจะเกิดอิมัลชันได้ดี ความเสถียรของรูปร่างเดิมของโพรตีน (stability of native conformation) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ pH และไอออน (Kinsella, 1979)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 ความเสถียรหรือความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability)

เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความคงตัวของอิมัลชันเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งความคงตัวของอิมัลชันจะขึ้นกับความแข็งแรง ความเหนียวและความยืดหยุ่นของฟิล์มโปรตีนที่เกิดเป็น adsorbed layer ซึ่งอยู่ระหว่างชั้นของน้ำและน้ำมัน (Hill, 1998)

จากงานวิจัยที่รายงานโดย Eweline และคณะ (2018) พบว่าแป้งจากจิ้งหรีด (*Gryllosides sigillatus*) มีค่า Emulsion activity เท่ากับ 62 % และ Emulsion stability มีค่าเท่ากับ 31.65 % รวมถึงแป้งจากหนอนนก (*Tenebrio molitor*) มีค่า Emulsion activity เท่ากับ 65.96 % และ Emulsion stability มีค่าเท่ากับ 27.59 % และแป้งจากตั๊กแตน (*Schistocerca gregaria*) มีค่า Emulsion activity เท่ากับ 69.17 % และ Emulsion stability มีค่าเท่ากับ 48.11 %

### 2.3.5 ความสามารถในการเกิดฟอง (Foam capacity)

โปรตีนที่สามารถเกิดฟองได้ดีจะต้องถูกดูดซับ (adsorbed) ที่ผิวระหว่าง (interface) น้ำกับอากาศได้อย่างรวดเร็ว โดยการดูดซับของโปรตีนจะเริ่มจากโปรตีนเคลื่อนที่ไปยังผิวระหว่างน้ำกับอากาศและเกิดการเคลื่อนที่ไปยังชั้นผิวหน้า (surface layer) และเกิดการจัดเรียงโครงสร้างใหม่ (structural reorganization) ของโปรตีนที่ adsorb layer หรือเรียกว่าเกิดการเสียสภาพที่ผิวหน้า (surface denaturation) โดยโปรตีนจะเคลื่อนไปที่ผิวระหว่างน้ำกับอากาศด้วยการแพร่ (diffusion) การพา (convection) หรือจากทั้งสองวิธีร่วมกัน (Wilde and Clark, 1996) ซึ่งโปรตีนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจะแพร่ไปที่ผิวระหว่างน้ำกับอากาศได้เร็ว ดังนั้นโปรตีนที่มีขนาดเล็กและเพปไทด์จึงเกิดฟองได้ดี (Grunden และคณะ, 1974) การดูดซับในฟองจะเกิดการเสียสภาพที่ผิวหน้าจาก barrier แต่หากโปรตีนมาอัดตัวกันแน่นที่ผิวระหว่างน้ำกับอากาศ การเกิดฟองเกิดจากโปรตีนจับกันด้วย surface hydrophobicity โดยโปรตีนจะเกิดการเชื่อมกันระหว่างน้ำและอากาศ ซึ่งโปรตีนที่มีค่า surface hydrophobicity สูงจะมีอัตราการดูดซับสูงซึ่งจะทำให้เกิดฟองได้ดี (Townsend และ Nakai, 1983) ขนาดของโปรตีน ค่าของ surface hydrophobicity และความยืดหยุ่นทางด้านโครงสร้างของโปรตีนคือสิ่งสำคัญในการเกิดฟองของโปรตีน (Wilde และ Clark, 1996)

### 2.3.6 ความเสถียรหรือความคงตัวของฟอง (Foam stability)

โปรตีนที่ให้ฟองที่คงตัวเมื่อเกิดเป็น adsorbed layer จะต้องมีความเหนียวชั้น (thick) และความยืดหยุ่น (elastic) ที่สูงโดยความคงตัวของฟองเกิดจากความแข็งแรงของชั้นของโพนที่มีความยืดหยุ่นและเหนียว ทำให้น้ำขับออกมาน้อย (Wilde และ Clark, 1996) นอกจากนี้โปรตีนที่มีการกระจายตัวของประจุบวกและลบเท่ากันและสม่ำเสมอตลอดโมเลกุลและโมเลกุลข้างเคียงก็มีผลรวมของประจุใกล้เคียงกันและมีลักษณะการกระจายตัวของประจุเหมือนกัน เช่น โปรตีนที่ตกตะกอนที่ pI จะมีความเสถียรของฟองมากที่สุด เพราะผลรวมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของประจุที่เป็นศูนย์ จึงมีแรงผลักกันน้อยที่สุด (Lemeste และคณะ, 1990) ซึ่งโปรตีนที่มีความสามารถในการเกิดฟองสูง ไม่จำเป็นจะต้องมีความคงตัวของฟองสูงด้วย

จากงานวิจัยที่รายงานโดย Lucas-Gonzalez และคณะ (2018) พบว่าในแป้งจิ้งหรีดที่ทำแห้งด้วยความร้อนมีค่า Foam capacity เท่ากับ 86 % และ Foam stability เท่ากับ 65 % ซึ่งมีค่าน้อยกว่าในแป้งจิ้งหรีดที่ทำแห้งด้วยความเย็นที่มีค่า Foam capacity เท่ากับ 100 % และ Foam stability เท่ากับ 75 % และจากงานวิจัยที่รายงานโดย Eweline และคณะ (2018) พบว่าแป้งจากจิ้งหรีด (*Grylloides sigillatus*) มีค่า Foam capacity เท่ากับ 41 % และ Foam stability มีค่าเท่ากับ 34.67 % รวมถึงแป้งจากหนอนนก (*Tenebrio molitor*) มีค่า Foam capacity เท่ากับ 31 % และ Foam stability มีค่าเท่ากับ 26 % และแป้งจากตั๊กแตน (*Schistocerca gregaria*) มีค่า Foam capacity เท่ากับ 22.33 % และ Foam stability มีค่าเท่ากับ 19.33 %

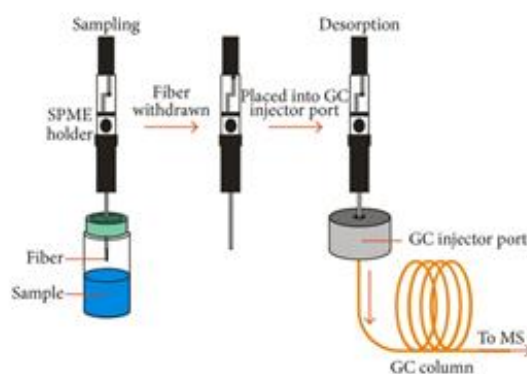
## 2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกลิ่นด้วยเทคนิค Gas chromatography-Mass spectrography (GC-MS)

### 2.4.1 Headspace-Solid Phase Microextraction (HS-SPME)

การสกัดสารระเหยด้วยวิธี HS-SPME นิยมใช้ร่วมกับ GC-MS เพื่อหาลักษณะเฉพาะของสารระเหยในตัวอย่างอาหาร เนื่องจากมีข้อดีคือ ราคาไม่แพง เป็นเทคนิคที่ไม่ใช้ตัวทำละลาย ไม่ใช้อุณหภูมิสูง ใช้เพียงไฟเบอร์ที่ถูกเคลือบด้วยสารที่มีความสามารถในการดูดซับสารระเหยจากบริเวณช่องว่างเหนือตัวอย่าง (headspace) หรืออาจดูดซับสารระเหยจากชั้นของเหลว (liquid phase) การสกัดสารระเหยด้วยวิธีนี้ต้องคำนึงถึงไฟเบอร์ที่ใช้ในการดูดซับ (ชนิดของไฟเบอร์, ความหนา, ความยาว) (Pripdeevech, 2011), สภาพที่ใช้ในการดูดซับ (ระยะเวลาและอุณหภูมิ), การเติมสารอื่นลงในตัวอย่าง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อการวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของสารระเหยในตัวอย่างที่สนใจ

เทคนิคการวิเคราะห์โดยใช้ headspace มักใช้ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วย GC-MS ซึ่ง GC-MS จะใช้หลักการวิเคราะห์ที่ไอระเหยที่อยู่ในช่องเหนือตัวอย่าง (Headspace) โดยตัวอย่างจะถูกบรรจุอยู่ในขวดขนาดเล็ก (Vial) ที่ปิดผนึกโดยตัวอย่างสามารถเป็นได้ทั้งของแข็งหรือของเหลว และตัวอย่างดังกล่าวจะถูกนำไปผ่านความร้อนเพื่อทำให้สารประกอบที่ระเหยได้แยกไปอยู่ในชั้นของ Headspace จนกระทั่งเกิดภาวะสมดุล จากนั้นสารระเหยในช่อง Headspace จะถูกนำไปวิเคราะห์โดยเครื่อง GC-MS (นัทธมน และคณะ, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 เทคนิค Headspace-Solid Phase Microextraction

ที่มา : Kamila (2015)

## 2.4.2 การวิเคราะห์สารระเหยด้วย GC-MS

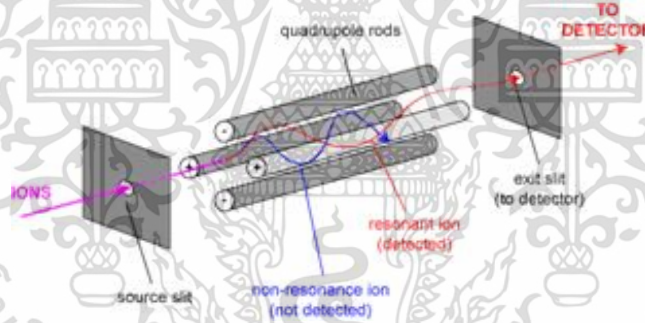
การวิเคราะห์สารระเหยด้วยเทคนิค GC-MS โมเลกุลของสารระเหยจะถูกเปลี่ยนเป็นไอออนที่มีประจุ จากนั้นจะเข้าสู่ส่วนแยกมวล (Mass Analyzer) ที่จะแยกไอออนโดยอัตราส่วนของมวลต่อประจุ ( $m/z$ ) เข้าสู่ส่วนตรวจวัด (Detector) เพื่อแยกไอออนออกมาเป็นสเปกตรัม (Spectrum) ซึ่งมีความจำเพาะของสารแต่ละชนิด (รัตนวรรณและคณะ, 2561) GC-MS เป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งทางคุณภาพและปริมาณเนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีความละเอียดสูง มีความถูกต้องและแม่นยำในการวิเคราะห์สารระเหย โดย GC-MS สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ (HajSlova & Caika, 2007)

2.4.2.1 Injector เป็นบริเวณที่นำตัวอย่างเข้าสู่เครื่อง GC โดยทั่วไป ใช้อุณหภูมิเริ่มต้น สูงกว่าอุณหภูมิห้องเพื่อปล่อยสารระเหยออกจากตัวดูดซับ (desorption) มี 3 รูปแบบ ได้แก่ split/splitless mode คือ การกำหนดอัตราส่วนในการทิ้งตัวอย่างและตัวทำละลาย, on-column คือการใส่ตัวอย่างทั้งหมดลงใน column ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียสารระเหยง่าย ในขณะที่วิเคราะห์และ programmable-temperature vaporizer (PTV) คือการตั้ง โปรแกรมอุณหภูมิหลังจากใส่ตัวอย่างในเครื่อง GC เพื่อป้องกันการระเหยในขณะฉีด

2.4.2.2 GC-Column เป็นส่วนที่มีการแยกองค์ประกอบสารระเหยง่ายแต่ละตัวออกจากกัน ซึ่งสารที่ต่างชนิดกันมีความสามารถในการกระจายตัวที่แตกต่างกันระหว่างวัฏภาค ได้แก่ วัฏภาคคงที่ (stationary phase) และ วัฏภาคเคลื่อนที่ (mobile phase) (แก๊สเฉื่อย เช่น แก๊สฮีเลียม แก๊สอาร์กอน และ แก๊สไนโตรเจน) โดยสารระเหยง่ายที่แยกได้นั้นขึ้นอยู่กับชนิด ของคอลัมน์ที่ใช้ เช่น DB-5 column มีความเป็นขั้วต่ำเนื่องจากประกอบด้วย phenyl 5% ส่วน dimethyl arylene siloxane 95% ดังนั้น สารระเหยง่ายที่เคลื่อนที่เร็วจึงเป็นกลุ่มที่มี ความเป็นขั้วสูง ในขณะที่สารระเหยง่ายกลุ่มที่เคลื่อนที่ช้าเป็นสารระเหยกลุ่มที่มีความเป็นขั้วต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.3 Detector เมื่อสารระเหยง่ายเคลื่อนที่มายัง detector ซึ่งทำหน้าที่รับและแปลงข้อมูลเป็นรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าและรายงานผลเป็นชนิดและปริมาณไอออนที่ตรวจจับได้ของ สารระเหยง่ายนั้น ๆ เมื่อสารระเหยง่ายออกจาก GC-Column เข้าสู่ detector จะเข้าสู่ส่วน ผลิตไอออน โดยเปลี่ยนสารระเหยง่ายให้เป็นไอออน วิธีที่เป็นที่นิยมคือ electron ionization (E) โมเลกุลของสารเชิงเดี่ยวเมื่อได้รับพลังงานจากลำแสงอิเล็กตรอนที่มี พลังงานสูงถึง 70 อิเล็กตรอนโวลต์ จะเกิดการแตกตัวอยู่ในรูปประจุ เรียกว่า “molecular-ion, M<sup>•</sup> หรือ M<sup>+</sup>” โดยรูปแบบการแตกตัวของแต่ละโมเลกุลมีลักษณะเฉพาะ เรียกว่า “mass spectrum” โดยจะแสดงการแตกตัวในรูป mass-to-charge ratio (m/z) หลังจากนั้น ไอออนของสารระเหยง่ายจะเข้าสู่ส่วนวิเคราะห์มวล (mass analyzer) โดยมีหลาย ประเภท เช่น quadrupole mass analyzer (รูปที่ 5) ประกอบด้วยแท่งโลหะ 4 แท่งซึ่งมี ขั้วกระแสไฟฟ้าต่างกัน สามารถวิเคราะห์มวลได้โดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า นอกจากนี้ quadrupole สามารถวิเคราะห์ได้ 2 แบบ ได้แก่ 1) full scan โดยใช้สำหรับช่วง m/z ประมาณ 50-500 และ 2) selected ion monitoring (SIM mode) ซึ่งมีความไวต่อการวิเคราะห์ช่วง m/z น้อยๆ จากนั้น ไอออนจะเข้าสู่ detector ซึ่งทำหน้าที่ขยายและตรวจวัดสัญญาณเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไอออน (HajSlova & Caika, 2007)

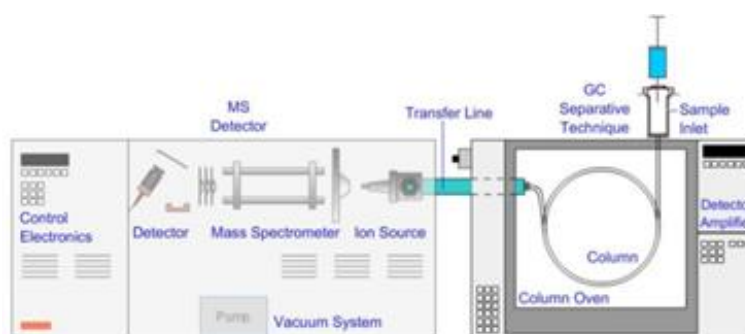


ภาพที่ 2.5 Quadrupole mass analyzer

ที่มา : <http://www.bris.ac.uk/nerclsmsf/techniques/gcms.html>

ในการหาปริมาณสารระเหย สามารถทำได้หลายวิธี เช่น internal Standardization โดยการเติมสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นลงไปในตัวอย่างก่อนทำการสกัด โดยสารที่จะใช้เป็น internal standard ต้องมีลักษณะคุณสมบัติคล้ายกับสารที่จะ วิเคราะห์, ถูกชะออกจากคอลัมน์จนหมด, ให้พีคที่แยกพีคของสารระเหยของตัวอย่าง ไม่ซ้ำหรือเหลื่อมทับกัน, และต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ในตัวอย่าง สารมาตรฐานนั้นจะ ถูกวิเคราะห์พร้อมกับสารระเหยในตัวอย่าง และปรากฏเป็นพีคในโครมาโทแกรม จากนั้น จึงคำนวณความเข้มข้นของสารระเหยอื่น ๆ จากพื้นที่ใต้กราฟ (นัทธมน และคณะ, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบ GC-MS

ที่มา : [www.chromacademy.com](http://www.chromacademy.com)

งานวิจัยที่รายงานโดย Yeo และคณะ (2013) มีการพบน้ำมันหอมระเหย (oil volatile compound) มากถึง 48 ชนิดในตัวอย่างต้นดอกไม้ (*Protactua brevitaris*) จากการวิเคราะห์ด้วย GC-MS โดยตรวจพบสารในกลุ่ม Acids (48.67%) เป็นกลุ่มหลักซึ่งพบมากที่สุดในสัดส่วนของสารที่ระเหยได้ ตามด้วย esters (19.84%), hydrocarbons (18.90%), alcohols (8.37%), miscellaneous (1.71%), aldehydes (1.35%), และ terpenes (1.16%) โดยสารประกอบที่สำคัญของ Acids อยู่ในช่วงความยาวโซ่ของคาร์บอนจาก C<sub>12</sub> - C<sub>18</sub> ได้แก่สาร 9-hexadecenoic acid (16.75%), 6-octadecenoic acid (14.88%) และ n-hexadecenoic acid (11.06%) และสารประกอบที่สำคัญของกลุ่ม ester ที่ได้จากการเอสเทอร์ิฟิเคชันของแอลกอฮอล์ที่มีกรดไขมัน ได้แก่ ethyl oleate (9.16%), hexadecenoic acid, ethyl ester (5.76%) และ 1,2-benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester (1.80%) สารในกลุ่ม hydrocarbons ที่พบได้แก่ tricosane (2.68%), hexacosane (2.67%), heneicosane (2.45%), heptacosane (2.35%), tetracosane (1.96%), octadecane (1.88%) และ eicosane (1.44%) และพบสารประกอบ alcohol 6 ชนิด (8.37% ของสารที่ระเหยได้ทั้งหมด) including รวมทั้งพบ 2,4-bis(dimethylbenzyl)-6-t-butylphenol (3.51%), phenol, 2,4-bis(1-methyl-1-phenyl-ethyl) (2.05%), phenol, 2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-4-(1-methyl-1-phenylethyl)- (1.63%)

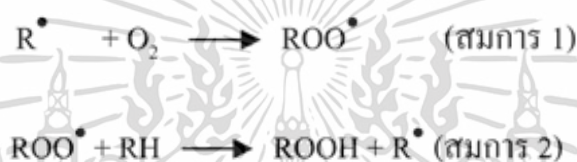
งานวิจัยที่รายงานโดย Haber และคณะ (2019) จากการวิเคราะห์สารให้กลิ่นโดยเทคนิค HS-SPME และ GC-MS ในตัวอย่างของผึ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารธรรมชาติและน้ำตาลซูโครส พบสารประกอบหลักคือ diacetyl และ nonanal ที่มีกลิ่นของไขมันและเนยแข็ง ocimene ที่มีกลิ่นดอกไม้สีเขียวและ dimethyl sulfide ที่มีกลิ่นกำมะถัน ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับดักแด้ของผึ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารธรรมชาติและน้ำตาลซูโครส แต่มีความแตกต่างกันเล็กน้อย : กลิ่นมอลต์ (2-,3- methylbutanal และ 2-pentanol), กลิ่นซีส (2-heptanone), กลิ่นซัลเฟอร์ (dimethyl sulfide), กลิ่นไขมัน (nonanal) และดอกไม้สีเขียวเล็กน้อย (ocimene) และในดักแด้ของผึ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารธรรมชาติ พบ 2-,3- methylbutanal ในปริมาณที่มากกว่าและไม่พบ ethyl acetate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

### 2.5.1 อนุมูลอิสระ (Free radicals)

อนุมูลอิสระ (Free radicals) หมายถึง สารที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว (unpaired electrons) ในอะตอมหรือโมเลกุล พบได้ทุกแห่งทั้งในสิ่งแวดล้อม ในสิ่งมีชีวิต และในเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการผลิตพลังงานภายในเซลล์ หรือจากกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) โดยมีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนออกจากโมเลกุลของออกซิเจน ทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลออกซิเจนไม่สมดุลกลายเป็นอนุมูลอิสระและว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยามาก และสามารถดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลอื่นมาแทนที่อิเล็กตรอนที่ขาดหายไปเพื่อให้ตัวเองเกิดความสมดุลหรือเสถียร ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ และเกิดขึ้นในเซลล์ตลอดเวลา



ภาพที่ 2.7 ปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ

ที่มา: บุหรณ์ (2556)

อนุมูลอิสระสามารถทำลายชีวโมเลกุลทุกประเภท ทั้งในเซลล์และส่วนประกอบของเซลล์สิ่งมีชีวิต เช่น ลิพิด (lipid), โปรตีน (protein), เอนไซม์ (enzyme), ดีเอ็นเอ (DNA), อาร์เอ็นเอ (RNA), คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate), เซลล์ เมมเบรน (cell membrane), คอลลาเจน (collagen), ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissues) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เซลล์ตาย การเกิดการกลายพันธุ์ของดีเอ็นเอในเซลล์ และก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้แก่ โรคชรา (aging), โรคมะเร็ง (cancer), โรคหัวใจขาดเลือด (coronary heart disease), โรคความจำเสื่อม (Alzheimer's disease), โรคข้ออักเสบ (arthritis), โรคภูมิแพ้ (allergies), โรคความดันโลหิต, โรคเหน็บชา, โรคเกี่ยวกับสายตา, ความผิดปกติของปอดและระบบประสาท, โรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ, โรคเกี่ยวกับความผิดปกติของผิวหนัง และโรคกล้ามเนื้อหัวใจ เป็นต้น

### 2.5.2 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระถือว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการออกซิไดซ์อนุมูลอิสระ หรือสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยในสิ่งมีชีวิตจะมีระบบการป้องกันการทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระมากมายหลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกันไป ซึ่งมีทั้งที่เป็นเอนไซม์และไม่เป็นเอนไซม์ สารประกอบที่ละลายในน้ำและสารประกอบที่ละลายในไขมัน โดยสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกการทำงานต้านอนุมูลอิสระด้วยกันหลายแบบ เช่น ดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) การยับยั้งการทำงานของออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน (singlet oxygen quenching) จับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (metal chelation) หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chain-breaking) เสริมฤทธิ์ (synergism) และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibition) ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ เป็นต้น ตัวอย่างแสดงการดักจับอนุมูลอิสระ



ภาพที่ 2.8 ปฏิกิริยาของสารต้านอนุมูลอิสระ

ที่มา: บุหรีน (2556)

โดย  $R^\bullet$  และ  $RO^\bullet$  คือ อนุมูลอิสระ และ  $AH$  คือ สารต้านอนุมูลอิสระ แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระมี 2 แหล่ง ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (synthetic antioxidants) และสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (natural antioxidants)

### 2.5.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (diphenyl-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay)

เป็นการทดสอบด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระในที่นี่ก็คืออนุมูลอิสระดีพีพีเอช ( $DPPH^\bullet$ , diphenyl-picrylhydrazyl radical) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวและมีสีม่วงสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร เมื่อ  $DPPH^\bullet$  ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายด้วยเอทานอล (สารที่ให้อิเล็กตรอน) จะทำให้สีม่วงจางลง ๆ จนเป็นสีเหลืองซึ่งก่อนนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงต้องตั้งทิ้งไว้ที่มีดเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถหาการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้จากการคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH

สารมาตรฐานที่ใช้ในการเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ คือ โทรล็อกซ์ (trolox, 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchlorman-2-carboxylic acid) แสดงค่าเป็น TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) มีหน่วยเป็น mM/mg หรือ  $\mu\text{M}/\text{mg}$  ข้อดีของวิธีนี้ คือ ง่าย สะดวก และรวดเร็ว ส่วนข้อเสีย คือ  $DPPH^\bullet$  ค่อนข้างเสถียรไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายจริง จึงทำให้เกิด ปฏิกิริยาได้ช้า ทำให้ค่าการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง และต้องวัดในปฏิกิริยาที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลกอฮอล์ ซึ่งจะทำให้โปรตีนตก ตะกอนจึงไม่สามารถวิเคราะห์ในตัวอย่างที่เป็นเลือดได้อีกทั้งสารปนเปื้อน และโลหะจะรบกวน (interfere) ซึ่งสามารถเป็นตัวรบกวนแล้วทำให้สีของอนุมูลอิสระ DPPH จางลงได้เช่นกัน

จากงานวิจัยที่รายงานโดย Lucas-González และคณะ (2019) มีการทดสอบ DPPH radical scavenging assay (DPPH) ในแป้งจิ้งหรีดบ้านที่ทำแห้งด้วยความเย็นมีค่าเท่ากับ 7.18 mg TE/g และในแป้งจิ้งหรีดบ้านที่ทำแห้งด้วยความร้อนมีค่าเท่ากับ 2.82 mg TE/g

#### 2.5.4 วิธีการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS<sup>•+</sup>)

เป็นวิธีการวัดความสามารถในการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS<sup>•+</sup>, 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) radical) เป็นสารสังเคราะห์ที่มีสีเขียวปนน้ำเงินสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เนื่องจากสีของ ABTS<sup>•+</sup> ปกติ จะมีค่าการดูดกลืนแสงสูง จึงต้องทำการเจือจาง ABTS<sup>•+</sup> ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ จากนั้นนำ ABTS<sup>•+</sup> ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างที่ละลายด้วยเอทานอลเจือจางซึ่งจะทำให้สีจางลง และตั้งทิ้งไว้ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา จึงสามารถหาความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้จากการคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup> ซึ่งวิธีการคำนวณและการเทียบกับสารมาตรฐาน trolox กระทำเช่นเดียวกับวิธี DPPH ข้อดีของวิธีการนี้ คือ ABTS<sup>•+</sup> ละลายได้ดีในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์จึงทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว และทำปฏิกิริยาได้ดีในช่วง pH กว้าง ส่วนข้อเสียคือ ABTS<sup>•+</sup> ไม่เป็นสารธรรมชาติที่พบในร่างกายหรือในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต และต้องมีการทำปฏิกิริยากับสารอื่นก่อนถึงจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระ (บุหรัน, 2556)

จากงานวิจัยที่รายงานโดย Zielinska และคณะ (2017) มีการทดสอบ ABTS radical scavenging assay (ABTS) ในจิ้งหรีดสดและจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดโปรตีนด้วย 0.2% NaOH โดยจิ้งหรีดสดมีค่าเท่ากับ 21.9 IC<sub>50</sub> µg/mL และจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดโปรตีนด้วย 0.2% NaOH มีค่าเท่ากับ 21.65 IC<sub>50</sub> µg/mL

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.6.1 การสกัดไขมันออกจากผงจิ้งหรีด (*Acheta domesticus*, *Grylloides sigillatus*) ต่อคุณค่าทางโภชนาการ และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของซีเรียลบาร์

Ribeiro และคณะ (2019) ได้ทำการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการสกัดไขมันออกจากผงจิ้งหรีด 2 สายพันธุ์ (*Acheta domesticus*, *Grylloides sigillatus*) โดยนำผงจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้วมาทำซีเรียลบาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผงจิ้งหรีดถูกซื้อมาจาก Kraca farm ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (lyophilization หรือ Freeze hydration) แล้วนำมาบดด้วยแฮมเมอร์มิล (hammer mill) และผ่านตะแกรง 1 มิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตร เพื่อรอกการสกัดไขมันออก, วิเคราะห์ทางเคมี และนำไปผลิตซีเรียลบาร์

รายละเอียดวิธีการสกัด ดังนี้ นำผงของจิ้งหรีด 5 กรัมมาผสมตัวทำละลายแต่ละชนิด 140 มิลลิลิตร ซึ่งตัวทำละลายที่ 5 ชนิด ได้แก่ เอทานอล, เฮกเซน, ไดเอทิลอีเทอร์, ปีโตรเลียมอีเทอร์ และอะซิโตน จากนั้นนำมากลั่นด้วยเครื่องซอกซ์เลต (Soxhlet extractor) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ตัวทำละลายที่เหลืออยู่จะถูกนำมาระเหยโดยใช้ไอน้ำจากไนโตรเจน (Nitrogen stream) ภายใต้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Heating plate) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ยกเว้นเอทานอล ระเหยเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และไดเอทิลอีเทอร์ ระเหยที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ปริมาณไขมันจะถูกบันทึกโดยการชั่งน้ำหนัก และตัวทำละลายที่สกัดไขมันที่ดีที่สุดจะถูกนำไปใช้ในการผลิตซีเรียลบาร์

จากผลการทดลองนี้พบว่า การทดลองสกัดไขมันของจิ้งหรีด 2 สายพันธุ์ด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน 5 ชนิด พบว่าเอทานอลสามารถสกัดไขมันออกจากผงจิ้งหรีดได้มากที่สุด ซึ่งแตกต่างกับตัวทำละลายอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตัวทำละลายที่สกัดได้รองลงมาจากเอทานอล คือ อะซิโตน ส่วนอีเทอร์ปีโตรเลียม, ไดเอทิลอีเทอร์ และเฮกเซน แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ หลังจากการสกัดไขมันจากจิ้งหรีดทั้ง 2 สายพันธุ์ เมื่อนำมาทำซีเรียลบาร์ จะมีปริมาณโปรตีนมากกว่าและปริมาณไขมันต่ำกว่าซีเรียลบาร์ที่ทำจากซีเรียลบาร์ที่ทำจากจิ้งหรีดที่ไม่ผ่านการสกัดไขมัน และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าการสกัดไขมันออกจากจิ้งหรีดส่งผลดีกับการทดสอบทางประสาทสัมผัส ซีเรียลบาร์ที่ทำจากผงจิ้งหรีดทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ผ่านการสกัดไขมันออกได้คะแนนความชอบมากกว่าซีเรียลบาร์ที่ทำจากผงจิ้งหรีดทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ไม่ผ่านการสกัดไขมัน ซึ่ง Ribeiro และคณะ (2019) ได้อธิบายว่า องค์ประกอบของไขมันอาจมีผลลักษณะกลิ่นรสของจิ้งหรีด หรือมีความเป็นไปได้ว่า การสกัดไขมันช่วยกำจัดฟิโรโมนที่เป็นกลิ่นของแมลงได้

### 2.1.2 ผลของกระบวนการใช้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติเชิงหน้าที่และสารต้านอนุมูลอิสระในจิ้งหรีด

จากงานวิจัยของ Lucas-González และคณะ (2019) ได้ทำการศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งสองวิธีที่ต่างกัน คือ การทำแห้งด้วยความร้อน (TDCF) และการทำแห้งด้วยความเย็น (LCF) ต่อองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติเชิงหน้าที่และสารต้านอนุมูลอิสระในจิ้งหรีดบ้าน (*Acheta domesticus*)

จิ้งหรีดบ้าน (*Acheta domesticus*) ถูกซื้อจาก Insect side (Elche, Spain) 3000 ตัว ตัวอย่างถูกวางในตู้แช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -30 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทันทีหลังจากที่ได้รับ หลังจากนั้นแยกจิ้งหรีดด้วยมือเป็น 2 ชุด ๆ ละ 1500 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำให้เป็นแป้งนั้นมี 2 กระบวนการที่แตกต่างกันออกไป ในวิธีแรก จิ้งหรีดจะถูกทำแห้งโดยใช้เตาอบ ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในวิธีที่สอง จิ้งหรีดจะถูกทำแห้งโดยใช้เครื่อง Freeze dryer เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้ได้แป้งที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 0.417 มม. แป้งที่ได้จากทั้ง 2 กระบวนการคือ Thermal dried cricket flour (TDCF) และ Lyophilized cricket flour (LCF)

จากการทดลองพบว่าทั้ง 2 ตัวอย่างมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูง ส่วนปริมาณโปรตีนที่ได้จากตัวอย่าง LCF มีปริมาณสูงกว่าตัวอย่าง TDCF ในส่วนของปริมาณไขมันตัวอย่างที่ได้จาก TDCF มีปริมาณไขมันสูงกว่าตัวอย่างที่ได้จาก LCF ผลลัพธ์เหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าปัจจัยภายนอก เช่น อาหารสัตว์และนิเวศวิทยา มีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมีของแมลง นอกจากนี้ปัจจัยอื่น ๆ เช่น ระยะเวลาเติบโตของแมลง (ไข่ ตัวอ่อน ดักแดหรือโตเต็มวัย) กระบวนการเตรียมแมลงก่อนการวิเคราะห์ (เช่น แมลงทั้งส่วน หรือแมลงที่เอาส่วนใดส่วนหนึ่งออก) วิธีการ (กรรมวิธีทางกลหรือความร้อน) เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงวิธีวัด อาจส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมี (Kulma และคณะ, 2016) (Nowak และคณะ, 2016)

LCF มีค่า Water holding capacity (WHC), Oil holding capacity (OHC) และ Swelling capacity (SWC) มากกว่า TDCF ผลลัพธ์เหล่านี้เกิดจากความแตกต่างในโครงสร้างของโปรตีนและปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ชอบน้ำต่างกันอาจมีส่วนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง WHC ของแป้ง (Akposan และคณะ, 2015) ในทำนองเดียวกันความแตกต่างของ OHC อาจเกิดจากลักษณะทางโครงสร้างที่แตกต่างกันของส่วนที่ไม่ชอบน้ำที่บริเวณพื้นผิวหรือส่วนที่ชอบน้ำมันของโปรตีน (Deng และคณะ, 2011)

LCF มี Emulsion capacity (EC) และ Emulsion stability (ES) สูงกว่า TDCF ความแตกต่างระหว่าง EC และ ES นั้นเกี่ยวข้องกับส่วนที่ชอบน้ำและส่วนที่ไม่ชอบน้ำของพื้นผิวโปรตีน, ปริมาณโปรตีน (โปรตีนที่ละลายน้ำและโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ) และส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น คาร์โบไฮเดรตซึ่งสามารถช่วยทำให้อิมัลชันมีความเสถียรมากขึ้นโดยการเพิ่มความหนืดของระบบ (Zielińska และคณะ, 2018)

LCF มีค่า Foam capacity (FC) และ Foam stability (FS) ที่สูงกว่า TDCF คุณสมบัติของโฟมนั้นขึ้นอยู่กับโปรตีนและส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น คาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในแป้ง (Sreerama และคณะ, 2012) ดังที่ได้กล่าวไว้ของ Kinsella (1981) ความสามารถของโปรตีนในการทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดฟองนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อัตราในการเคลื่อนย้ายของน้ำและอากาศที่บริเวณรอยต่อของน้ำและอากาศ ความสามารถในการไม่รวมตัวกันที่บริเวณรอยต่อของน้ำและอากาศและคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มที่สร้างขึ้น ส่วนการใช้ความร้อนอาจทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของส่วนที่ไม่ชอบน้ำซึ่งช่วยสนับสนุนการเกิดโฟมโดยการเพิ่มการดูดซับของน้ำและอากาศที่บริเวณรอยต่อของน้ำและอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCF มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่า TDCF ในทั้ง DPPH radical scavenging assay (DPPH), Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ Ferrous ion-chelating ability assay (FIC) อาจเป็นผลมาจากปริมาณโปรตีนที่สูง ตามข้อมูลที่ได้รับจาก Elias และคณะ (2008) คุณสมบัติที่น่าสนใจของโปรตีนในอาหารคือ ความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นกลไกการออกฤทธิ์อาจเกิดจาก ความสามารถในการให้อิเล็กตรอน ความสามารถในการจับกับไอออนโลหะ ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (Moon และคณะ, 2009) โดย Liu และคณะ (2009) ได้กล่าวไว้ว่า นี่อาจเป็นผลมาจากกรดอะมิโนที่มากจึงมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระจึงช่วยปรับปรุงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้ง ในกลุ่มเพปไทด์ขนาดเล็กมีกรดอะมิโน เช่น ไลซีนและเมไทโอนีนซึ่งมีความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัสดุและสารเคมี

##### 3.1.1 วัสดุ

จิ้งหรีดแช่แข็ง จากตลาดคลองเตย จังหวัด กรุงเทพมหานคร มีอายุประมาณ 45 วัน เพศผู้ และเพศเมียคละกัน จิ้งหรีดได้รับการเลี้ยงดูในฟาร์มเลี้ยงตามธรรมชาติ ทำให้ตายด้วยการน็อคน้ำแข็งแล้วนำไปลวกน้ำร้อน จากนั้นนำไปแช่แข็ง บรรจุขายในรูปแช่แข็ง

##### 3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 Petroleum ether (RCI Labscan, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย)

3.1.2.2 Sodium hydroxide (CARLO ERBA reagents, Chaussée du Vexin, France)

3.1.2.3 Potassium sulfate (CARLO ERBA reagents, Chaussée du Vexin, France)

3.1.2.4 Copper (II) sulfate (CARLO ERBA reagents, Val de Reuil, France)

3.1.2.5 Hydrochloric acid 37% (RCI Labscan, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย)

3.1.2.6 Sulfuric acid 96% (CARLO ERBA reagents, Chaussée du Vexin, France)

3.1.2.7 Methylene blue (Fisher Scientific, Mahape, Mumbai)

3.1.2.8 Methyl red (Merck, Darmstadt, Germany)

3.1.2.9 น้ำมันดอกทานตะวัน ตรา กู้ก (บริษัท ธนากรผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จำกัด, สมุทรปราการ, ประเทศไทย)

3.1.2.10 2-methyl-3-heptanone (Sigma-Aldrich Co., St.Louis, Missouri, USA)

3.1.2.11 Sodium Chloride (UNIVAR, New South Wales 2147, Australia)

3.1.2.12 Methanol (RCI Labscan, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย)

3.1.2.13 Sodium dodecyl sulfate (Mark, Darmstadt, Germany)

#### 3.2 อุปกรณ์

3.2.1 กระจกกันลึกลงผ่านศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร

3.2.2 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด (Infrared thermometer): IR4, Dwyer, Indiana, USA

3.2.3 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง: PGW2502e, Adam, Oxford, England

3.2.4 เครื่องปั่นอาหาร (Blender):

3.2.5 เครื่องเหวี่ยงน้ำมัน: Wasino, สมุทรปราการ, ประเทศไทย

3.2.6 เตอบไฟฟ้า: TNP SO863 B, Technoplus, West Bengal, India

3.2.7 Tray dryer: 5302023, Progress electronic, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย

3.2.8 ไมโครเวฟ: EMS3085X, Electrolux, ระยอง, ประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.9 เครื่องวัด  $a_w$ : 4TE, Aqualab, Washington, USA

3.2.10 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง: ML204, Mettler Toledo, Küssnacht, Switzerland และ AS 220.R2, Mettler Toledo, Poznań, Poland

3.2.11 Hot air oven: E 53, Memmert, Tuttingen, Germany และ ED/FD, Binder, Tuttingen, Germany

3.2.12 ชุดย่อยโปรตีน: TUR/K, Gerhardt, Königswinter, Germany

3.2.13 ชุดกลั่นโปรตีน: VAP300, Gerhardt, Königswinter, Germany

3.2.14 ชุดสกัดไขมัน: SOX416, Gerhardt, Königswinter, Germany และ S306 AK, Gerhardt, Königswinter, Germany

3.2.15 เตาเผาความร้อนสูง: CWF1100, Carbolite, Hope, England

3.2.16 เครื่อง centrifuge: 5804 R, Eppendorf, Hamburg, Germany

3.2.17 Vortex mixer: G560E, Scientific Industries, New York, USA และ VM-300, KK, Taipei, Taiwan

3.2.18 เครื่อง GC-MS: 5977B MSD, Agilent Technologies, Santa Clara, USA

3.2.19 เครื่องวัดสี: Chroma meter CR-400, Konica Minolta Sensing Inc., Shenzhen, China

3.2.20 ชุดวัดผงเส้นผ่านศูนย์กลาง  $50 \times 25$  มิลลิเมตร: 3nh, Shenzhen, China

### 3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างผงจิ้งหรีด

นำจิ้งหรีดแช่แข็งมาละลายให้เสร็จภายใน 1 ชั่วโมงจากนั้นนำมาล้างทำความสะอาด ตั้งทิ้งไว้บนตะแกรงประมาณ 5 นาที เพื่อนำไปแปรรูปโดยการใช้ความร้อนด้วยวิธีต่าง ๆ ดังนี้

3.3.1.1 การอบลมร้อน

1. เปิดตู้อบลมร้อน (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 60 หรือ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นนำจิ้งหรีดมาเรียงบนตะแกรงอบที่รองด้วยกระดาษรองอบ เรียงให้ความสูงของจิ้งหรีดสม่ำเสมอ

2. นำถาดอบเข้าตู้อบลมร้อน โดยอบที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง และอบที่ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3. นำออกจากตู้อบลมร้อน ปล่อยให้เย็น จากนั้นบดเป็นผงด้วยเครื่องปั่นแห้งโดยแบ่งบดครั้งละประมาณ 15 กรัม เป็นเวลา 30 วินาทีโดยแบ่งเป็น 3 ครั้ง ครั้งละ 10 วินาทีแล้วร่อนผ่านตะแกรง

4. บรรจุลงถุงสุญญากาศ ถุงละ 100 กรัม จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียสเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

3.3.1.2 การอบไมโครเวฟ

1. ชั่งน้ำหนักจิ้งหรีดที่ตั้งทิ้งไว้ออกมาครั้งละ 100 กรัม  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การข่งขันเพื่อการค้าขอสงวนไว้เท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตั้งกำลังไมโครเวฟที่ 540 หรือ 900 วัตต์ โดยนำกระดาษรองอบวางบนจานไมโครเวฟ แล้วเรียงจิ้งหรีดให้กระจายสม่ำเสมอ

3. นำจิ้งหรีดเข้าอบ โดยอบที่ 540 วัตต์เป็นเวลา 12 นาที และอบที่ 900 วัตต์เป็นเวลา 6 นาที ระหว่างอบทำการพักทุก ๆ 1 นาที

4. นำออกจากไมโครเวฟ ปล่อยให้เย็น จากนั้นบดเป็นผงด้วยเครื่องปั่นแห้งโดยแบ่งบดครั้งละประมาณ 15 กรัม เป็นเวลา 30 วินาทีโดยแบ่งเป็น 3 ครั้ง ครั้งละ 10 วินาทีแล้วร่อนผ่านตะแกรง

5. บรรจุลงถุงสุญญากาศ ถุงละ 100 กรัม จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียสเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

### 3.3.1.3 การทอด

1. ชั่งน้ำหนักจิ้งหรีดออกมาครั้งละ 50 กรัม

2. ตั้งกระทะบนเตาแก๊ส ใส่น้ำมัน 300 มิลลิลิตร ตั้งไฟให้ได้อุณหภูมิ 150 หรือ 180 องศาเซลเซียส

3. จากนั้นนำจิ้งหรีดลงทอด โดยทอดที่ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที และทอดที่ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 นาที

4. สะเด็ดน้ำมันเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำใส่ผ้าขาวบางมัดให้เป็นลักษณะถุง จากนั้นนำเข้าเครื่องเหวี่ยงน้ำมัน เหวี่ยงเป็นเวลา 2 นาที

5. นำออกมาเรียงใส่ถาดที่รองด้วยกระดาษรองอบ นำเข้าอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

6. นำออกจากเตาอบ ปล่อยให้เย็น จากนั้นบดเป็นผงด้วยเครื่องปั่นแห้งโดยแบ่งบดครั้งละประมาณ 15 กรัม เป็นเวลา 10 วินาที

7. บรรจุลงถุงสุญญากาศ ถุงละ 100 กรัม จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียสเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

3.3.2 การวิเคราะห์สี, องค์ประกอบทางเคมี, การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและการวิเคราะห์สารให้กลิ่น, การวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

นำผงจิ้งหรีดที่ได้จากการแปรรูปโดยใช้ความร้อนวิธีต่าง ๆ มาวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่, องค์ประกอบทางเคมีและสารให้กลิ่น ดังนี้

#### 3.3.2.1 การวัดค่าสี

ชั่งตัวอย่างประมาณ 10 กรัม วัดด้วยเครื่อง Chroma meter CR-400 ความแตกต่างของสีถูกบันทึกไว้ในระดับ CIE L\* a\* b\* ในแง่ของความสว่าง (L\*) และสี (a\* - สีแดง, b\* - สีเหลือง)

L\* คือค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

a\* เป็นค่าสีแดงและสีเขียว เมื่อ a\* มีค่าบวก เป็นสีแดง

เมื่อ a\* มีค่าลบ เป็นสีเขียว

b\* เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน เมื่อ b\* มีค่าบวก เป็นสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร หากนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $b^*$  มีค่าลบ เป็นสีน้ำเงิน

ก่อนการวัดสีทุกครั้งต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่อง (calibration) โดยใช้แผ่นสีมาตรฐาน แล้วจึงวัดสีของผลิตภัณฑ์ทำซ้ำ 3 ครั้งสำหรับแต่ละตัวอย่างแล้วหาค่าเฉลี่ย

ความแตกต่างของสีทั้งหมด ( $\Delta E$ ) ถูกคำนวณโดยใช้สูตร

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

โดยที่  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  และ  $\Delta b^*$  มีความแตกต่างในค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ระหว่างตัวอย่างอ้างอิงและตัวอย่างทดสอบตามลำดับ

ตัวอย่างที่ใช้วัดเป็นผง จะใช้หัวปลายปิดและมีอุปกรณ์เสริมคือชุดวัดผงหรือถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่างแบบผง

### 3.3.2.2 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี

#### 3.3.2.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture) (AOAC, 1990)

1. ออบกระเบื้องถ้วยเคลือบ (Moisture can) ในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของถ้วย
2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ถ้วยกระเบื้องเคลือบที่อบแล้ว โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. นำไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงนำออกจากตู้อบ จากนั้นปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
4. นำไปเข้าตู้อบอีกครั้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำเช่นเดียวกับข้อ 3 ถ้า น้ำหนักที่ได้แตกต่างกันไม่เกิน 0.001 กรัม หรือ 0.1 % ถือว่าน้ำหนักคงที่ สามารถนำค่าที่ได้ไปคำนวณได้ทันที แต่ถ้าน้ำหนักแตกต่างกันมากกว่า 0.001 กรัม หรือ 0.1 % ให้นำไปอบต่อ แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 1 ชั่วโมงจนกว่าน้ำหนักจะคงที่

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{(\text{นน.ตัวอย่างก่อนอบ} - \text{นน.ตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{นน.ตัวอย่างหลังอบ}}$$

#### 3.3.2.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Protein) (AOAC, 1990)

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง 1 กรัม ลงใน Digestion tube
2. เติม Mix catalyst 10 กรัมแล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ Gass Bead 2-3 เม็ดใหญ่
3. นำ Digestion Tube เข้าเครื่องย่อย เปิดอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 100 องศาเซลเซียส ปรับขึ้นเรื่อย ๆ จนอุณหภูมิถึง 350 องศาเซลเซียส ย่อยทิ้งไว้จนกว่าจะได้สารละลายสีเขียวใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำ Digestion Tube เข้าเครื่อง Distillator และเครื่องนี้จะทำการเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 70 มิลลิลิตร ตั้งเวลากลับ 4 นาที

5. เมื่อเกิดก๊าซ  $\text{NH}_3$  จะถูกจับด้วยกรด Boric 2 % เมื่อเติม Indicator ไว้แล้วจะได้สารละลายสีเขียว

6. นำสารละลายที่ได้มาไทเทรตด้วย 0.1N HCl จนถึงจุดยุติ จะได้สารละลายสีชมพู

#### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} = \frac{(S-B) \times N \times 1.4007}{A}$$

เมื่อ A = น้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง  
 B = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ Titrate กับ Blank (ml)  
 S = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ Titrate กับ ตัวอย่าง (ml)  
 N = ความเข้มข้นของ HCl ที่ใช้ Titrate (N)  
 "ปริมาณโปรตีน = ปริมาณไนโตรเจน (%)  $\times$  6.25"

เมื่อ 6.25 = Conversion factor

#### 3.3.2.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 1990)

1. อบ Extraction beaker ที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน Desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก

2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างประมาณ 1 กรัมใส่ลงใน Thimble

3. ใส่ Thimble ลงใน Extraction Beaker เติมนิโตรเลียมอีเทอร์ประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าชุดสกัดไขมัน

4. เมื่อครบเวลาตามที่กำหนดแล้ว นำ Thimble ออกจาก Extraction Beaker แล้วนำ Extraction Beaker มาตั้งบน Hot plate เพื่อระเหยนิโตรเลียมอีเทอร์ให้ได้สารละลายสีเหลืองเหนียว จากนั้นนำมาอบใน Hot Air Oven ที่ 105 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) แล้วชั่งน้ำหนัก

#### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{(A - B) \times 100}{C}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของ Extraction Beaker หลังการสกัด (g)

B = น้ำหนักของ Extraction Beaker ก่อนการสกัด (g)

C = น้ำหนักของตัวอย่าง (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 3.3.2.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 1990)

1. นำครุชชีเบลเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นปิดเตาเผา รอให้เย็น นำมาใส่ Desiccator ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของครุชชีเบล
2. ชั่งตัวอย่างใส่ครุชชีเบล ประมาณ 1 กรัม จดน้ำหนักที่แน่นอน (4 ตำแหน่ง)
3. นำครุชชีเบลตั้งบน Hot plate จนกว่าจะไม่มีควัน
4. นำเข้าเตาเผา เเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากนั้นปิดเตาเผา รอให้เย็น นำออกมาไว้ใน Desiccator นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

#### การคำนวณ

$$\% \text{เถ้า (นน.เปียก)} = \frac{(\text{นน.เถ้า+ถ้ำยเผาที่ชั่งหลังอบ}) - \text{นน.ถ้ำยเผา}}{\text{นน.ตัวอย่างที่ใช้}} \times 100$$

#### 3.3.2.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและการวิเคราะห์สารให้กลิ่น

3.3.2.3.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัส (ด้านกลิ่น) ด้วยวิธี 9 point Hedonic scale และวิธีเรียงลำดับความชอบ (Ranking for preference) (ดัดแปลงจาก อังคนาวรรณ และคณะ, 2562) ตัวอย่างของผงจิ้งหรีดที่ได้จากกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ นำมาทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์กับผู้ที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 40 คน ด้วยวิธี 9 point Hedonic scale และวิธีเรียงลำดับความชอบ (Ranking for preference) ทำการเสิร์ฟตัวอย่างผงจิ้งหรีดที่ใส่ขวดสีชา แล้วให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดย 1 หมายถึงชอบน้อยที่สุด และ 9 หมายถึงชอบมากที่สุด และเรียงลำดับความแรงของกลิ่นผงจิ้งหรีด โดย 1 หมายถึง มีกลิ่นน้อยที่สุด และ 6 หมายถึง มีกลิ่นมากที่สุด

3.3.2.3.2 การวิเคราะห์สารให้กลิ่นด้วยเทคนิค Gas chromatography (GC-MS) (ดัดแปลงจาก Arsa และคณะ, 2019)

1. ชั่งน้ำหนักผงจิ้งหรีดด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งให้ได้น้ำหนัก 1 กรัม ใส่ลงใน Vial ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำละลายอิมัตว์ NaCl 5 มิลลิลิตร ลงใน Vial ที่ใส่ผงจิ้งหรีด
3. เติมน้ำละลายมาตรฐาน (Internal standard) คือ 2-methyl-3-heptanone (0.08 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ปริมาตร 10 ไมโครลิตร
4. ปิดด้วยฝายางกันรั่ว (Silicone liner) จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่

อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จากนั้น Absorption ด้วยไฟเบอร์ 30 นาที

6. นำไป Desorption ด้วยเครื่อง GC-MS โดยมีสภาวะดังนี้

- GC oven ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 35 °C นาน 5 นาที จากนั้นเพิ่ม

อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส/นาที จนได้อุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

- อุณหภูมิของinlet ตั้งไว้ที่ 260 °C

- ฉีดแบบ spitless injection (purge flow 50mL/min เป็นเวลา

4 นาที)

- อุณหภูมิของ ion source คือ 280 °C

- คอลัมน์คือ DB-wax และ HP 5-MS

- แก๊สตัวพา คือ ฮีเลียม มี Flow rate 1 มิลลิลิตร/นาที

7. เปรียบเทียบผลที่ได้กับกราฟสารละลายมาตรฐาน

3.3.2.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) (Haber,

2019)

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัมใส่ Centrifuge tube ขนาด 50 ml เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

2. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องวอร์เทกซ์ (Vortex Mixer) 2 นาที ที่ความเร็วระดับ 6

(2,000 rpm)

3. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็ว 3,000 g เป็นเวลา 25 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

4. เทส่วนใสออกจาก Centrifuge tube แล้วชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้

การคำนวณ

$$\text{water holding capacity} \left( \frac{\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{W_2 - W_1}{W_0}$$

เมื่อ  $W_0$  = น้ำหนักตัวอย่าง

$W_1$  = น้ำหนักตัวอย่าง + Centrifuge tube

$W_2$  = น้ำหนักตะกอน + Centrifuge tube

3.3.2.5 การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity) (Haber,

2019)

1. ชั่งตัวอย่างผงจิ้งหรีดมา 0.5 กรัมใส่ Centrifuge tube เติมน้ำมันดอกทานตะวัน

5 มิลลิลิตร

2. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องวอร์เทกซ์ (Vortex Mixer) 2 นาที ที่ความเร็วระดับ 6

(2,000 rpm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ด้วยความเร็ว 3,000 g เป็นเวลา 25 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
4. เทส่วนใสออกจาก Centrifuge tube ซึ่งน้ำหนักตะกอนที่ได้

#### การคำนวณ

$$\text{Oil holding capacity} \left( \frac{\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{W_2 - W_1}{W_0}$$

เมื่อ  $W_0$  = น้ำหนักตัวอย่าง

$W_1$  = น้ำหนักตัวอย่าง + Centrifuge tube

$W_2$  = น้ำหนักตะกอน + Centrifuge tube

3.3.2.6 การวิเคราะห์ความสามารถในการเกิดโฟม (Foam capacity and Foam stability) (ดัดแปลงจาก Zielinska และคณะ, 2018)

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.7 กรัมแล้วเติมน้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร
2. นำไปโฮมจีเนสที่ 13,500 rpm เป็นเวลา 2 นาที
3. นำไปเทลงในกระบอกตวงแล้วจดปริมาตรของโฟม (มิลลิลิตร) ที่เวลา 0 นาที
4. ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จดบันทึกปริมาตรของโฟม (มิลลิลิตร) ที่เวลา 30 นาที

โดย Foam capacity และ Foam stability จะคำนวณจากสมการดังนี้

#### การคำนวณ

$$\text{Foam capacity (FC) (\%)} = [(V_0 - V) / V] \times 100$$

$$\text{Foam stability (FS) (\%)} = (V_{30} / V_0) \times 100$$

เมื่อ  $V$  = ปริมาตรทั้งหมด

$V_0$  = ปริมาตรของโฟมที่ 0 นาที

$V_{30}$  = ปริมาตรของโฟมที่ 30 นาที

3.3.2.7 การวิเคราะห์ความสามารถในการเกิด Emulsion (ดัดแปลงจาก Pearce and Kinsella, 1978 และ Kong et al., 2007)

เอ็กสเตรนเป็นเอ็กสเตรที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำมันถั่วเหลือง 5 ml จากนั้นนำไปโฮโมจีไนส์ที่ 13,500 rpm 3 นาที
3. ปิเปตตัวอย่างมา 50 ไมโครลิตร เติมสารละลาย SDS ความเข้มข้น 0.1% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
4. นำไปวอร์เทกซ์ แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร
5. วัดค่าการดูดกลืนแสงอีกครั้งเมื่อตั้งสารละลายตัวอย่างทิ้งไว้ 10 นาที โดยทำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 เป็นต้นมา โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณตามสูตรนี้

#### การคำนวณ

$$ESI(\text{min}) = \frac{Abs_{t0} \times 10}{Abs_{t0} - Abs_{t10}}$$

เมื่อ  $Ab_{t0}$  = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 0 นาที ที่ 500 nm

$Ab_{t10}$  = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 10 นาที ที่ 500 nm

#### 3.3.2.8 การวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

##### 3.3.2.8.1 การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่าง 4 กรัม เติมนีออนที่ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 80:20 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
2. โฮโมจีไนส์ด้วยความเร็ว 12,000 rpm เป็นเวลา 1 นาที
3. นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ด้วยความเร็ว 5,000 g เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
4. แยกส่วนใสไปเก็บไว้ แล้วนำตะกอนมาเติมอะซิโตนที่ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 70:30 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
5. โฮโมจีไนส์ด้วยความเร็ว 12,000 rpm เป็นเวลา 1 นาที
6. นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ด้วยความเร็ว 5,000 g เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
7. นำส่วนใสที่ได้ไปรวมกับส่วนใสครั้งแรก จะได้ตัวอย่างสำหรับนำไปวิเคราะห์ต่อ

#### 3.3.2.8.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (diphenyl-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay)

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 100 ไมโครลิตร เติม 99% EtOH ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และสารละลาย DPPH (0.2% ใน EtOH) ปริมาตร 25 ไมโครลิตร
2. ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร โดยมีหน่วย mM Trolox equivalent(TE)/mg sample

4. และวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุม โดยใช้ EtOH 25 ไมโครลิตร แทนสารละลาย DPPH

3.3.2.8.3 การวัดความสามารถในการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS•+, 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical scavenging assay)

1. เตรียม ABTS stock solution โดยผสม 7.4 mM ABTS กับ 2.45 mM Potassium ในอัตราส่วน 1:1 ทิ้งไว้ 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ที่มีด)

2. เจือจาง ABTS stock solution ด้วยน้ำกลั่นให้มีค่าการดูดกลืนแสง  $0.7 \pm 0.02$  ที่ 734 นาโนเมตร

3. ปิเปตตัวอย่าง 10 ไมโครลิตร (1 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) เติม ABTS working solution ปริมาตร 294 ไมโครลิตร

4. ทิ้งไว้ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (ที่มีด)

5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร โดยมีหน่วย mM Trolox equivalent(TE)/mg sample

3.3.2.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ

3.3.2.9.1 การวิเคราะห์ทางสถิติและการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจะวิเคราะห์โดยใช้ SPSS 20.0 การทดลองจะทำทั้งหมด 3 ซ้ำ และรายงานผลในรูปของค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี, คุณสมบัติเชิงหน้าที่, คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ, ปริมาณสารให้กลืน วิเคราะห์โดย one-way analysis of variance (ANOVA) และใช้ Duncan's post hoc test ในการเปรียบเทียบความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3.3.2.9.2 การวิเคราะห์ด้าน Sensory evaluation ด้วย Ranking test

วิเคราะห์ด้วย Friedman's test และเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวอย่างโดยใช้  $LSD_{rank}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมีของผงจิ้งหรีด

นำจิ้งหรีดมาผ่านกระบวนการแห้งโดยแบ่งได้เป็น 3 กระบวนการ ดังนี้ การอบลมร้อน การใช้ไมโครเวฟและการทอด ซึ่งแต่ละกระบวนการจะมี 2 สภาวะสามารถแบ่งได้ ดังนี้ การอบลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง (T60) การอบลมร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง (T90) การใช้ไมโครเวฟที่ 540 วัตต์ 6 นาที (M540) การใช้ไมโครเวฟที่ 900 วัตต์ 6 นาที (M900) การทอดที่ 150 องศาเซลเซียส 3 นาที (F150) และการทอดที่ 180 องศาเซลเซียส 2 นาที (F180) แล้วจึงนำจิ้งหรีดที่ผ่านการทำแห้งแล้วมาบดเป็นผงแล้วร่อนผ่านตะแกรง บรรจุลงถุงสุญญากาศจากนั้นเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียสเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทำแห้ง ได้ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่า การทำแห้งด้วยการทอดสามารถลดปริมาณความชื้นได้สูงที่สุดและเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาน้อยที่สุดสามารถลดความชื้นของจิ้งหรีดสดที่มีความชื้น 73.12 % ลดลงเหลือ 1.55 % และ 1.48 % ในตัวอย่างผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทำแห้งด้วยการทอดที่ 150 องศาเซลเซียสและ 180 องศาเซลเซียสตามลำดับ ผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทำแห้งในสภาวะที่มีการใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าในแต่ละกระบวนการ ผงจิ้งหรีดจะมีความชื้นต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นการทำแห้งด้วยการทอด ดังนั้นอุณหภูมิที่สูงจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการลดความชื้น ผงจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยการอบลมร้อนและการใช้ไมโครเวฟมีปริมาณโปรตีนที่สูง ค่าที่ได้นั้นใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย Lucas-González และคณะ (2019) ซึ่งรายงานปริมาณโปรตีนที่ได้จากตัวอย่างจิ้งหรีดที่ทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็งมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 67.48 g/100 g dw และตัวอย่างจิ้งหรีดที่ทำแห้งด้วยการใช้ความร้อนที่มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 62.68 g/100 g dw เนื่องจากปริมาณความชื้นในอาหารลดลงซึ่งทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในอาหารมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นจิ้งหรีดสดที่ผ่านการทำแห้งแล้วจะให้โปรตีนต่อน้ำหนักมากกว่าจิ้งหรีดสดหลายเท่า จิ้งหรีดที่ผ่านการทำแห้งด้วยการทอดมีปริมาณไขมันสูงที่สุดเมื่อเทียบจากทั้ง 3 กระบวนการ ซึ่งผลลัพธ์นี้อาจเกิดจาก กระบวนการทอดที่ใช้เตริยมแมลงก่อนการวิเคราะห์ซึ่งเป็นกรรมวิธีทางกลหรือความร้อน (Kulma และคณะ, 2016; Nowak และคณะ, 2016) เนื่องจากกระบวนการทอด ที่ใช้เป็นกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วมซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนที่เป็นทั้งการพาและการนำความร้อนเข้าสู่ภายในอาหาร การดูดซึมไขมันของอาหารเกิดจากการที่น้ำในอาหารระเหยกลายเป็นไอน้ำที่ทอด อาหารจะเหลือโครงสร้างที่เป็นรูพรุนซึ่งน้ำมันสามารถเคลื่อนที่เข้าไปแทนได้รวมถึงเมื่อนำอาหารที่ทอดเอากลับมาเป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นจากน้ำมันและปล่อยให้เย็น ความดันโลหิตในร่างกายจะลดลง ไขมันจะควบแน่นและเกิดภาวะสุญญากาศ ซึ่งจะดูดเอาน้ำมันที่ผิวอาหารเข้ามาไว้ในผลิตภัณฑ์ (เสาวลักษณ์ และคณะ, 2552) การทอดแบบน้ำมันท่วม เหมาะกับอาหารทุกรูปทรง แต่อาหารที่มีรูปร่างไม่แน่นอนจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีรูปร่างแน่นอน จึงหรีดที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยการใช้ไมโครเวฟที่ 540 วัตต์ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำที่สุด เมื่อเทียบจากทั้ง 3 กระบวนการ เนื่องจากปริมาณความชื้นในจิ้งหรีดที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยการใช้ไมโครเวฟที่ 540 วัตต์ มีปริมาณที่สูง เมื่อนำไปคำนวณจากผลต่างของน้ำหนักเปียก กับองค์ประกอบส่วนที่เป็น ความชื้น โปรตีน ไขมันและเถ้า จึงทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีค่าต่ำ

**ตารางที่ 4.1** แสดงองค์ประกอบทางเคมีของผงจิ้งหรีดที่ได้จากกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนวิธีที่แตกต่างกัน (เทียบจากน้ำหนักตัวอย่าง 100 g)

วิธีการให้ความร้อน	ความชื้น (g/100g)	โปรตีน (g/100g)	ไขมัน (g/100g)	เถ้า (g/100g)	คาร์โบไฮเดรต (g/100g)
Control	73.12±1.55 <sup>a</sup>	18.46±0.29 <sup>c</sup>	2.19±0.05 <sup>e</sup>	3.62±0.05 <sup>ab</sup>	2.61±0.31 <sup>c</sup>
T60	6.17±0.17 <sup>d</sup>	61.78±0.83 <sup>a</sup>	17.46±0.38 <sup>d</sup>	3.28±0.24 <sup>b</sup>	11.31±1.14 <sup>a</sup>
T90	4.70±0.23 <sup>e</sup>	62.21±0.45 <sup>a</sup>	18.57±0.23 <sup>c</sup>	3.33±0.33 <sup>b</sup>	11.20±0.38 <sup>a</sup>
M540	11.58±0.03 <sup>b</sup>	61.27±0.61 <sup>a</sup>	17.03±0.05 <sup>d</sup>	3.76±0.24 <sup>a</sup>	6.36±0.52 <sup>b</sup>
M900	7.24±0.05 <sup>c</sup>	62.02±0.65 <sup>a</sup>	16.56±0.06 <sup>d</sup>	3.36±0.19 <sup>b</sup>	10.82±0.44 <sup>a</sup>
F150	1.55±0.11 <sup>f</sup>	43.71±1.90 <sup>b</sup>	39.52±0.83 <sup>b</sup>	2.63±0.08 <sup>c</sup>	12.59±2.40 <sup>a</sup>
F180	1.48±0.09 <sup>f</sup>	43.31±1.50 <sup>b</sup>	40.90±0.92 <sup>a</sup>	2.51±0.03 <sup>c</sup>	11.80±1.26 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## 4.2 ผลของวิธีการทำให้แห้งที่แตกต่างกันต่อค่าสีของผงจิ้งหรีด

ค่าสีของผงจิ้งหรีดที่ได้จากวิธีการทำให้แห้งที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.2 จากผลการทดลองผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทำให้แห้งด้วยวิธีทำให้แห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า หรือกำลังวัตต์สูงกว่า จะมีค่า L\* ต่ำกว่าผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่าอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) และผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยการทอดมีค่าความสว่าง (L\*) ต่ำที่สุดเมื่อเทียบจากทั้ง 3 กระบวนการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ซึ่งค่า L\* บ่งชี้ว่า ผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทำให้แห้งที่อุณหภูมิสูงกว่ามีสีเข้มกว่าผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า และผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยการทอดมีสีเข้มที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบ  $\Delta E$  ของผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทำให้แห้งวิธีเดียวกันแต่อุณหภูมิต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.05) แต่ผงจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทอดมีค่า  $\Delta E$  สูงที่สุดเมื่อเทียบกับผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทำให้แห้งทั้ง 3 กระบวนการ ซึ่งค่า  $\Delta E$  แสดงถึงความแตกต่างสีของผงจิ้งหรีดที่ได้จากกระบวนการทำให้แห้งด้วยวิธีต่าง ๆ กับสีของจิ้งหรีดสด แสดงให้เห็นว่า ผงจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งด้วยการทอดมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเทียบกับจิ้งหรีดสด ( $\Delta E$ ) มากที่สุด ค่าสีที่เข้มข้นและค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่สูง เนื่องจากผลิตภัณฑ์อุดมไปด้วยโปรตีนเมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อนอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) ชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non enzymatic browning reaction) เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) กับกรดอะมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ โดยมีความร้อนเร่งปฏิกิริยา (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2563) และจากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าผงจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งด้วยวิธีต่าง ๆ มีปริมาณโปรตีนสูง จึงมีสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดสูง อีกทั้งยังใช้อุณหภูมิสูงจะยิ่งเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด จึงส่งผลให้ผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทอดซึ่งใช้อุณหภูมิในการทำให้แห้งสูงกว่าการอบลมร้อนและไมโครเวฟ อีกทั้งมีการอบเพื่อไล่น้ำมันที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส 30 นาที ส่งผลให้มีสีเข้มที่สุด และมีการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเทียบกับจิ้งหรีดสดมากที่สุด ผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยการใช้ไมโครเวฟมีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  สูงที่สุดเมื่อเทียบจากการทำให้แห้งทั้ง 3 กระบวนการ ดังนั้นตัวอย่างไมโครเวฟจึงมีสีออกโทนแดง เหลือง น้ำตาลมากกว่าตัวอย่างอื่น ๆ

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสี ( $L^*$   $a^*$   $b^*$  และ  $\Delta E$ ) ของผงจิ้งหรีดที่ได้จากกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนวิธีที่แตกต่างกัน

วิธีการให้ความร้อน	ค่าสี			
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
Control	63.29±0.96 <sup>a</sup>	1.66±0.05 <sup>d</sup>	15.95±0.99 <sup>a</sup>	-
T60	26.59±0.08 <sup>b</sup>	2.34±0.00 <sup>b</sup>	0.31±0.04 <sup>c</sup>	39.90±0.95 <sup>ns</sup>
T90	26.11±0.05 <sup>b</sup>	2.26±0.02 <sup>c</sup>	0.15±0.01 <sup>d</sup>	40.40±0.92 <sup>ns</sup>
M540	26.27±0.04 <sup>b</sup>	2.38±0.02 <sup>ab</sup>	0.51±0.04 <sup>b</sup>	40.12±0.93 <sup>ns</sup>
M900	26.26±0.07 <sup>b</sup>	2.39±0.02 <sup>a</sup>	0.49±0.05 <sup>b</sup>	40.13±0.96 <sup>ns</sup>
F150	25.09±0.07 <sup>c</sup>	2.30±0.02 <sup>c</sup>	-0.62±0.05 <sup>f</sup>	41.65±0.91 <sup>ns</sup>
F180	25.26±0.07 <sup>c</sup>	2.29±0.01 <sup>c</sup>	-0.44±0.06 <sup>e</sup>	41.41±0.95 <sup>ns</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

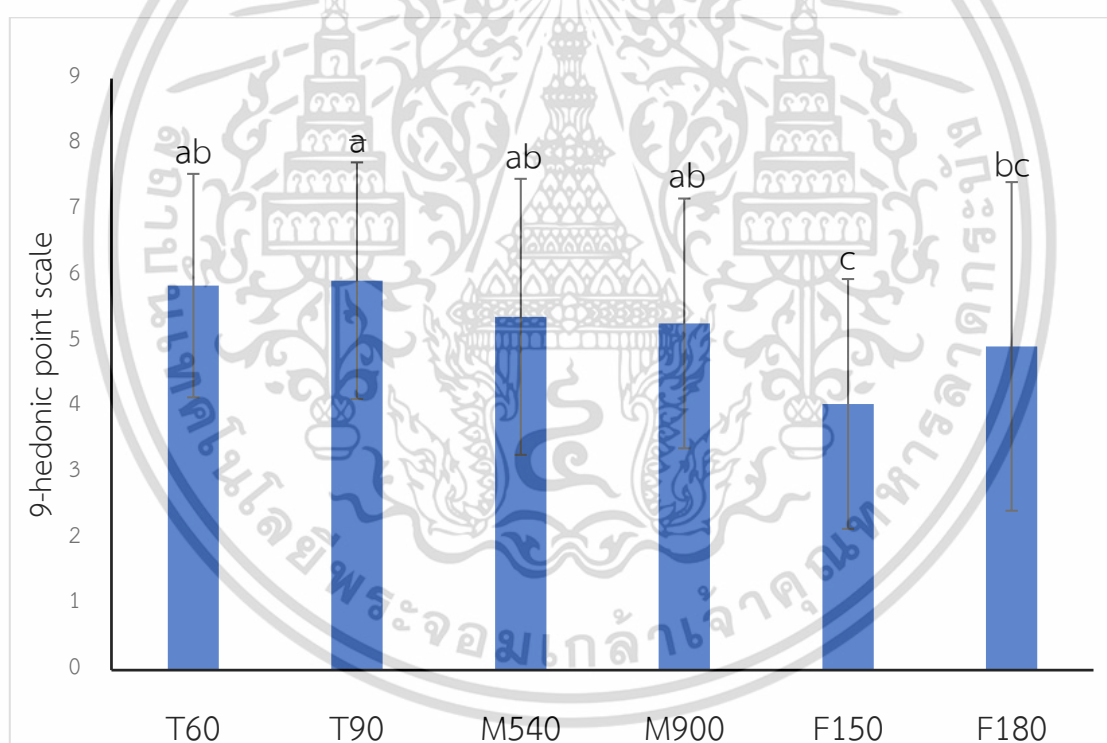
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสในจังหวัด

นำผงจังหวัดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกัน มาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส 2 วิธี คือ วิธี 9-point hedonic scale และ วิธี Ranking for preference โดยทำการทดสอบกับผู้ทดสอบ 40 คน ผลการทดสอบได้ดังนี้

#### 4.3.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสวิธี 9- point hedonic scale

ผลทดสอบการยอมรับและความชอบด้านกลิ่นของผงจังหวัดที่ได้จากการทำแห้งที่แตกต่างกัน แสดงในภาพที่ 4.1 พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบกลิ่นของผงจังหวัดที่ได้จากการทำแห้งด้วยการอบลมร้อน และการใช้ไมโครเวฟในระดับที่ใกล้เคียงกัน โดยมีความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.28-5.92 ซึ่งได้รับคะแนนมากกว่าผงจังหวัดที่ได้จากการทอด ผงจังหวัดที่ได้จากการอบลมร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง ได้คะแนนความชอบสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) และผงจังหวัดที่ได้จากการทอดที่ 150 องศาเซลเซียส 3 นาที ได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกระบวนการทำแห้งทั้ง 3 กระบวนการ

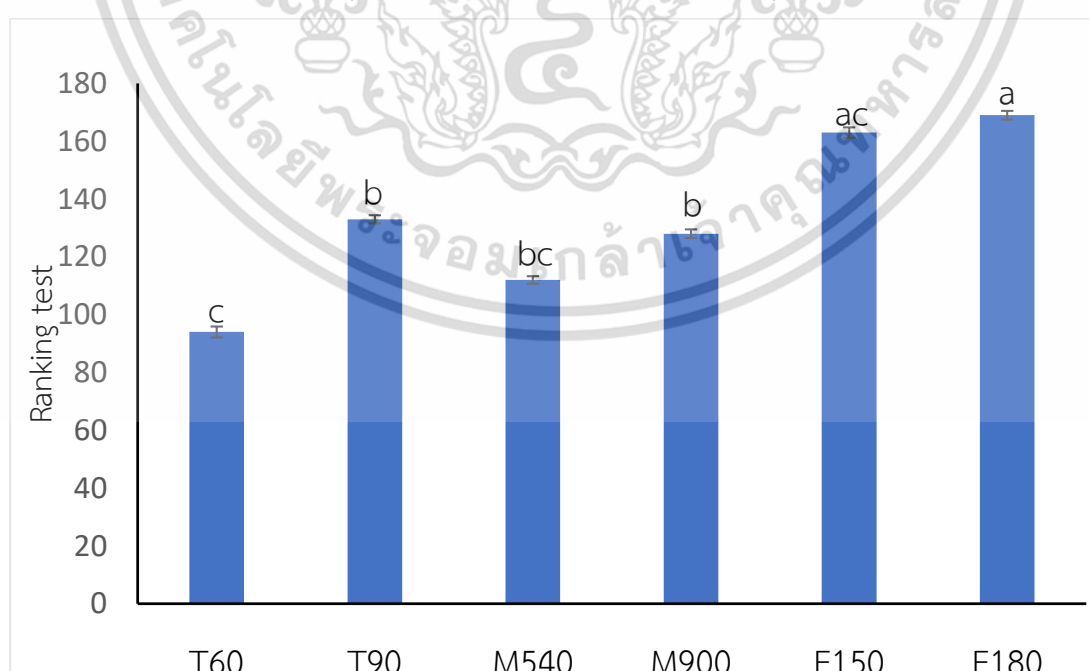


ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ 9-point hedonic scale ของผงจังหวัดที่ได้จากการแปรรูปด้วยความร้อนวิธีที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

### 4.3.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสวิธี Ranking for preference

การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ranking for preference ของผงจิ้งหรีดที่ได้จากวิธีทำแห้งที่แตกต่างกัน ทำโดยการใช้ผู้ทดสอบเปรียบเทียบความแรงของกลิ่นของผงจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแล้วให้ผู้ทดสอบทำการเรียงลำดับความแรงของกลิ่นจิ้งหรีด จากน้อยไปมาก (1-6) โดย 1 หมายถึงความแรงของกลิ่นจิ้งหรีดน้อยที่สุด และ 6 หมายถึงความแรงของกลิ่นแมลงมากที่สุด หากผลรวมของคะแนนน้อยที่สุด แสดงว่า ความแรงของกลิ่นจิ้งหรีดน้อยที่สุด และหากได้ผลรวมของคะแนนมากที่สุด แสดงว่าความแรงของกลิ่นจิ้งหรีดมากที่สุด ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ranking for preference แสดงในภาพที่ 4.2 จากการทดสอบพบว่า ผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทำแห้งที่มีการใช้อุณหภูมิสูงกว่าจะมีผลคะแนนรวมมากกว่าผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทำแห้งที่มีการใช้อุณหภูมิต่ำกว่า แสดงว่า ผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทำแห้งที่มีการใช้อุณหภูมิสูงกว่ามีกลิ่นจิ้งหรีดแรงกว่าผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทำแห้งที่มีการใช้อุณหภูมิต่ำกว่า ผลรวมคะแนนของผงจิ้งหรีดที่ได้จากการอบลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง มีค่าน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทำแห้งทั้ง 3 กระบวนการ แสดงว่า ผงจิ้งหรีดที่ได้จากการอบร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส มีความแรงของกลิ่นจิ้งหรีดน้อยที่สุด และผลรวมคะแนนของผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทอดที่ 180 องศาเซลเซียส 2 นาที มีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทำแห้งทั้ง 3 กระบวนการ พบว่า ผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทอดที่ 180 องศาเซลเซียสมีความแรงของกลิ่นจิ้งหรีดมากที่สุด จึงสอดคล้องกับคะแนนความชอบด้านกลิ่นจาก 9-point hedonic scale ส่วนผงจิ้งหรีดที่ได้จากการอบลมร้อนจึงมีความแรงของกลิ่นจิ้งหรีดน้อยที่สุด และได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาพที่ 4.2** กราฟแสดงการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ranking test ของผงจิ้งหรีดที่ได้จากการแปรรูปด้วยความร้อนวิธีที่แตกต่างกัน

**หมายเหตุ** ตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.4 ผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อสารให้กลิ่นในจิ้งหรีด

ผลการศึกษาสารให้กลิ่นของผงจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.3 จากการศึกษาพบว่า หลังจากผ่านกระบวนการทำแห้ง สารระเหยที่เกิดขึ้นมีทั้งหมด 46 ชนิด แต่สารที่มีความสำคัญสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สารประเภทแอลดีไฮด์ที่ให้ลักษณะกลิ่นของไขมันหรือน้ำมัน และสารในกลุ่มไพราซีนที่ให้ลักษณะกลิ่นของอาหารที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน กลิ่นไหม้ หรือกลิ่นอบ สารประเภทแอลดีไฮด์ที่พบ ได้แก่ Hexanal, Nonanal, 2,4-Heptadienal, Benzaldehyde ซึ่งเป็นกลิ่นไม่พึงประสงค์ในจิ้งหรีด หลังผ่านกระบวนการทำแห้ง ผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทอดมีปริมาณสารระเหยกลุ่มแอลดีไฮด์มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการทำแห้งทั้ง 3 กระบวนการ โดยผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส พบสารระเหยในกลุ่มแอลดีไฮด์มากที่สุด และผงจิ้งหรีดที่ได้จากการอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบปริมาณสารระเหยในกลุ่มแอลดีไฮด์น้อยที่สุด อมรรัตน์ และปจจรรย์ (2559) กล่าวว่า ในระหว่างการทอดน้ำมันจะเกิดการถ่ายเทมวลและความร้อนไปพร้อมกับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงเป็นระยะเวลานาน โดยน้ำมันจะส่งผ่านความร้อนไปยังอาหารพร้อมกับทำปฏิกิริยากับน้ำในอาหารและออกซิเจน จึงมีหลายปฏิกิริยาเกิดขึ้นในระหว่างการทอด เช่นปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดสารประกอบที่สามารถระเหยได้ (Volatile compounds) ส่งผลให้เกิดกลิ่นหืน ซึ่งเป็นกลิ่นไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการทอด ดังนั้น ผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทอด จึงมีปริมาณสารในกลุ่มแอลดีไฮด์มากกว่าผงจิ้งหรีดที่ได้จากการอบลมร้อนและไมโครเวฟ สารในกลุ่มไพราซีนที่พบ ได้แก่ 2,5-Dimethylpyrazine, Trimethylpyrazine และ 3-Ethyl-2,5-dimethylpyrazine รวมถึงพบสาร 3-Methylbutanal และ 2,4,6-Trimethylpyridine ซึ่งให้ลักษณะกลิ่นของอาหารที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน กลิ่นไหม้ หรือกลิ่นอบ หลังผ่านกระบวนการทำแห้ง ผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทอด พบปริมาณสารระเหยกลุ่มไพราซีนมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการทำแห้งทั้ง 3 กระบวนการ โดยผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส พบสารระเหยในกลุ่มไพราซีนมากที่สุด และผงจิ้งหรีดที่ได้จากการอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบปริมาณสารระเหยในกลุ่มไพราซีนน้อยที่สุด จิรสวัสดิ์ และสิริ (2563) กล่าวว่า ไพราซีนเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ โดยมีความไม่แน่นอนใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น ผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 กระบวนการ จึงมีปริมาณสารระเหยประเภทไพราซีนมากที่สุด ในขณะที่ผงจิ้งหรีดที่ได้จากการอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 กระบวนการ จึงมีปริมาณสารระเหยประเภทไพราซีนน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 กระบวนการ นอกจากนี้มีสารที่แสดงลักษณะกลิ่นไม่พึงประสงค์บางชนิดจะหายไปหลังจากผ่านกระบวนการให้ความร้อน เช่น 2-Heptenal, 1-Hexanol, Citronellal ทิพย์ธิดา และคณะ (2563) กล่าวว่า การให้ความร้อนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือทำลายโครงสร้างของสารระเหย จึงทำให้สารระเหยมีปริมาณลดลง ดังนั้นเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งส่งผลให้สารระเหยที่ให้กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์มีปริมาณลดลงได้

#### 4.5 ผลของวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของในผงจิ้งหรีด

นำผงจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกัน มาศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity) ความสามารถในการเกิดโฟม (Foam capacity) ความคงตัวของโฟม (Foam stability) ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (Emulsion capacity) และความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability)

##### 4.5.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity, WHC) และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity, OHC)

การวิเคราะห์คุณสมบัติความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันของผงจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งได้ผลดังตารางที่ 4.4 พบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของผงจิ้งหรีดจากการทำแห้งด้วยการทอดที่ 150 องศาเซลเซียสและ 180 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (1.80 g water/g sample, 1.82 g water/g sample) ค่าที่ได้ต่ำกว่าค่าที่รายงานโดย Lucas-González และคณะ (2019) ซึ่งรายงานความสามารถในการอุ้มน้ำที่ได้จากจิ้งหรีดที่ทำแห้งด้วยการอบลมร้อน (2.25 g water/g sample) และ จิ้งหรีดที่ทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง (3.82 g water/g sample) เนื่องจากผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทำแห้งด้วยการทอดมีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุดและมีการใช้อุณหภูมิที่สูง ทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพมาก ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนขึ้นอยู่กับ ความแตกต่างในโครงสร้างของโปรตีนและปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ชอบน้ำ (Akposan และคณะ, 2015) และ Sathe (2002) ได้รายงานว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของโปรตีนด้วย และปริมาณโปรตีนที่มีในตัวอย่างมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ (Hall, 1996) ปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าจะยึดจับโมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้กักเก็บโมเลกุลของน้ำไว้ภายในโปรตีนเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 สารให้กลิ่นในผงจิ้งหรีดที่ทำแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

No	DB-HP-5 wax	RI	Compound	Oder description	ตัวควบคุม (ng/g sample)						
					T60	T90	M540	M900	F150	F180	
1	780	-	Dimethyl sulfide	cabbage, sulfur, gasoline	0.00±0.00 <sup>b</sup>	26.99±18.36 <sup>ab</sup>	14.79±1.84 <sup>ab</sup>	24.20±12.30 <sup>ab</sup>	61.65±44.08 <sup>a</sup>	63.48±37.18 <sup>a</sup>	
2	893	-	2-Methylbutanal	malt	0.00±0.00 <sup>b</sup>	175.90±143.69 <sup>ab</sup>	107.26±34.96 <sup>ab</sup>	202.67±117.24 <sup>ab</sup>	606.55±410.89 <sup>a</sup>	551.62±327.03 <sup>a</sup>	
3	961	-	3-Methylbutanal	cocoa, almond	0.00±0.00 <sup>b</sup>	83.16±53.11 <sup>ab</sup>	94.72±47.04 <sup>ab</sup>	68.99±7.48 <sup>ab</sup>	193.69±113.08 <sup>a</sup>	127.22±51.52 <sup>ab</sup>	
4	1072	800	Hexanal	grass, tallow, fat	110.86±3.31 <sup>b</sup>	361.54±14.21 <sup>ab</sup>	613.39±56.5 <sup>ab</sup>	644.96±135.08 <sup>ab</sup>	560.03±434.99 <sup>ab</sup>	934.24±360.92 <sup>a</sup>	
5	1177	892	2-Heptanone	soap	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	292.27±66.21 <sup>a</sup>	318.39±60.68 <sup>a</sup>	
6	1176	-	4-Octanone	herb, butter, resin	0.00±0.00 <sup>c</sup>	7.55±10.67 <sup>bc</sup>	62.46±59.91 <sup>ab</sup>	97.13±17.02 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	
7	1182	901	Heptanal	fat, citrus, rancid	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	16.04±10.39 <sup>ns</sup>	6.50±2.41 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	
8	1224	992	2-Pentylfuran	green bean, butter	4.00±0.71 <sup>c</sup>	20.49±6.78 <sup>bc</sup>	103.81±13.03 <sup>bc</sup>	101.13±25.93 <sup>bc</sup>	185.70±86.23 <sup>ab</sup>	317.38±147.64 <sup>a</sup>	
9	1255	992	1-Pentanol	balsamic	6.05±3.04 <sup>b</sup>	22.19±2.27 <sup>ab</sup>	24.79±0.43 <sup>ab</sup>	17.6±4.24 <sup>b</sup>	25.58±4.80 <sup>ab</sup>	58.74±39.79 <sup>a</sup>	
10	1282	1002	Octanal	fat, soap, lemon, green	0.00±0.00 <sup>b</sup>	28.54±1.62 <sup>b</sup>	14.34±0.78 <sup>b</sup>	36.39±4.38 <sup>b</sup>	75.54±15.39 <sup>ab</sup>	147.66±79.72 <sup>a</sup>	
11	1316	957	(E)-2-heptenal	soap, fat, almond	20.79±4.11 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	
12	1358	-	1-Hexanol	resin, flower, green	19.24±5.59 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	

No	DB- wax	RI	HP- 5	Compound	Oder description	ตัวอย่างคุม									
						(ng/g sample)	T60 (ng/g sample)	T90 (ng/g sample)	M540 (ng/g sample)	M900 (ng/g sample)	F150 (ng/g sample)	F180 (ng/g sample)			
13	1323	913		Pyrazine, 2,5- dimethyl-	roasted nut, cocoa, roast beef	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	52.26±73.91 <sup>b</sup>	141.50±46.78 <sup>b</sup>	191.02±104.59 <sup>b</sup>	451.40±73.04 <sup>a</sup>	400.56±125.57 <sup>a</sup>			
14	1329	984		4-Methylthiazole	roasted meat	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	20.39±24.31 <sup>ns</sup>	24.24±9.25 <sup>ns</sup>	39.79±31.97 <sup>ns</sup>	35.94±14.64 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>			
15	1369	-		2,4,6- Trimethylpyridine	nut, peanut butter, cocoa, meat	0.00±0.00 <sup>b</sup>	4.25±0.21 <sup>ab</sup>	4.00±1.84 <sup>ab</sup>	3.00±0.28 <sup>ab</sup>	7.30±0.00 <sup>a</sup>	3.75±2.61 <sup>ab</sup>	6.15±5.44 <sup>a</sup>			
16	1381	1002		2-Ethyl-5- methylpyrazine	roast	1.10±0.28 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	6.15±3.46 <sup>b</sup>	16.45±10.54 <sup>b</sup>	169.66±81.36 <sup>ab</sup>	297.22±284.30 <sup>a</sup>			
17	1389	1105		Nonanal	fat, citrus, green	45.14±14.66 <sup>c</sup>	85.61±0.48 <sup>bc</sup>	155.87±83.97 <sup>ab</sup>	77.17±12.55 <sup>bc</sup>	116.53±40.24 <sup>abc</sup>	125.81±39.74 <sup>abc</sup>	206.46±36.79 <sup>a</sup>			
18	1400	1005		Pyrazine, trimethyl-	nut, peanut butter, cocoa, meat	2.80±1.42 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	32.08±45.36 <sup>c</sup>	140.38±87.12 <sup>bc</sup>	311.81±29.26 <sup>ab</sup>	457.74±233.45 <sup>a</sup>			
19	1401	1040		3-Octen-2-one	nut, crushed bug	0.00±0.00 <sup>b</sup>	35.18±2.96 <sup>a</sup>	23.88±33.78 <sup>ab</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>			
20	1423	1059		(E)-2-Octenal	green	9.30±0.85 <sup>ns</sup>	27.24±6.01 <sup>ns</sup>	28.39±17.66 <sup>ns</sup>	58.38±3.56 <sup>ns</sup>	114.34±123.95 <sup>ns</sup>	55.41±10.09 <sup>ns</sup>	64.64±18.87 <sup>ns</sup>			
21	1442	1083		3-Ethyl-2,5- dimethylpyrazine	potato, roast	0.75±0.07 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	32.34±13.63 <sup>c</sup>	60.93±0.38 <sup>bc</sup>	144.13±110.24 <sup>abc</sup>	282.33±79.85 <sup>ab</sup>	361.71±211.76 <sup>a</sup>			
22	1447	-		3-(methylthio)- propanal (หรือ methional)	cooked potato	0.55±0.78 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	7.75±4.03 <sup>ns</sup>	6.95±3.32 <sup>ns</sup>	24.00±19.80 <sup>ns</sup>	28.48±33.2 <sup>ns</sup>	32.59±24.88 <sup>ns</sup>			
23	1455	979		1 Octen 3 ol	mushroom	14.09±1.28 <sup>b</sup>	39.73±0.34 <sup>b</sup>	30.08±42.54 <sup>b</sup>	71.87±2.80 <sup>ab</sup>	81.48±10.31 <sup>ab</sup>	70.30±16.87 <sup>ab</sup>	129.92±71.03 <sup>a</sup>			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	RI	Comp ound	Oder description	ตัวอย่าง (ng/g sample)	T60 (ng/g sample)	T90 (ng/g sample)	M540 (ng/g sample)	M900 (ng/g sample)	F150 (ng/g sample)	F180 (ng/g sample)	No
24	1475	-	Citronellal	fat	13.35±1.21 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	4.25±3.60 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>
25	1486	-	(E)2,4-heptadienal	nut, fat	1.30±0.14 <sup>b</sup>	2.85±1.20 <sup>b</sup>	1.95±0.49 <sup>b</sup>	6.20±1.69 <sup>ab</sup>	2.15±2.19 <sup>b</sup>	10.44±5.87 <sup>a</sup>	6.95±2.61 <sup>ab</sup>
26	1495	-	(Z)-2-Nonenal	fat, green	14.29±1.28 <sup>ns</sup>	24.19±0.56 <sup>ns</sup>	27.64±14.05 <sup>ns</sup>	32.48±12.28 <sup>ns</sup>	25.39±7.21 <sup>ns</sup>	10.84±0.63 <sup>ns</sup>	29.34±19.58 <sup>ns</sup>
27	1511	961	Benzaldehyde	almond, burnt sugar	23.29±2.13 <sup>c</sup>	75.37±0.72 <sup>c</sup>	194.71±87.84 <sup>bc</sup>	167.73±2.90 <sup>bc</sup>	242.36±106.79 <sup>bc</sup>	429.87±102.08 <sup>ab</sup>	606.51±313.59 <sup>a</sup>
28	1529	-	(E)-2-Nonenal	cucumber, fat, green	1.05±0.35 <sup>b</sup>	5.70±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>
29	1560	-	1-Octanol	chemical, metal, burnt	2.15±0.07 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>
30	1560	1072	3,5-Octadien-2-one	fruit, fat, mushroom	0.00±0.00 <sup>c</sup>	2.40±0.00 <sup>c</sup>	9.10±1.79 <sup>ab</sup>	6.95±0.77 <sup>b</sup>	12.05±4.17 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>
31	1592	1293	2-Undecanone	orange, fresh, green	0.70±0.00 <sup>b</sup>	1.00±0.14 <sup>ab</sup>	1.75±0.49 <sup>a</sup>	0.65±0.92 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>
32	1616	-	(Z)-2-Octen-1-ol	soap, plastic	0.00±0.00 <sup>b</sup>	3.80±0.00 <sup>a</sup>	6.10±3.11 <sup>a</sup>	4.95±0.07 <sup>ab</sup>	5.35±1.91 <sup>ab</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>
33	1631	1045	2-Acetylthiazole	roast, nut, sulfur	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	53.38±75.5 <sup>ns</sup>
34	1631	-	Acetophenone	must, flower, almond	5.00±1.98 <sup>ns</sup>	8.60±3.11 <sup>ns</sup>	8.25±3.18 <sup>ns</sup>	16.09±1.42 <sup>ns</sup>	22.60±11.17 <sup>ns</sup>	53.62±53.92 <sup>ns</sup>	23.15±12.09 <sup>ns</sup>
35	1670	-	Isovaleric acid (3- methylbutanoic acid)	sweat, acid, rancid	1.50±0.14 <sup>b</sup>	8.40±1.41 <sup>b</sup>	21.14±10.24 <sup>ab</sup>	28.44±5.57 <sup>ab</sup>	26.34±7.00 <sup>ab</sup>	44.06±27.26 <sup>ab</sup>	79.28±62.63 <sup>a</sup>
36	1694	-	(E)-2,4-Nonadienal	fat, wax, green	0.45±0.07 <sup>ns</sup>	10.34±12.23 <sup>ns</sup>	2.40±0.57 <sup>ns</sup>	6.15±0.07 <sup>ns</sup>	5.40±0.56 <sup>ns</sup>	2.45±0.92 <sup>ns</sup>	3.60±2.54 <sup>ns</sup>
37	1740	-	Valeric acid (Pentanoic acid)	sweat	0.00±0.00 <sup>b</sup>	2.55±0.64 <sup>b</sup>	5.15±1.48 <sup>ab</sup>	4.10±0.00 <sup>b</sup>	4.50±0.00 <sup>ab</sup>	9.64±5.58 <sup>ab</sup>	14.05±8.27 <sup>a</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับกรใช้ทางเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้  
 ไม่สามารถนำเอาข้อมูลทั้งหมดนี้ให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	DB-HP-wax	RI	Compound	Oder description	ตัวควบคุม									
					(ng/g sample)	T60 (ng/g sample)	T90 (ng/g sample)	M540 (ng/g sample)	M900 (ng/g sample)	F150 (ng/g sample)	F180 (ng/g sample)			
38	1804	-	2,4-Decadienal, (E,E)-	seaweed	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	2.05±2.90 <sup>ab</sup>	3.90±1.27 <sup>ab</sup>	2.70±0.28 <sup>ab</sup>	5.60±3.25 <sup>a</sup>			
39	1874	972	Benzenemethanol	must, flower, almond	0.80±0.42 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	1.70±2.40 <sup>ns</sup>	1.15±1.63 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	5.30±2.40 <sup>ns</sup>	4.55±6.43 <sup>ns</sup>			
40	1873	-	Benzyl alcohol	sweet, flower	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	0.90±0.28 <sup>ns</sup>	0.90±1.27 <sup>ns</sup>	1.20±1.70 <sup>ns</sup>	3.50±1.41 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	2.25±3.18 <sup>ns</sup>			
41	1908	1117	Phenylethyl Alcohol	honey, spice, rose, lilac	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	1.85±0.64 <sup>ns</sup>	5.70±2.40 <sup>ns</sup>	8.50±12.02 <sup>ns</sup>	2.95±4.17 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>	0.00±0.00 <sup>ns</sup>			
42	1966	-	2-Acetylpyrrole	nut, walnut, bread	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	3.05±1.48 <sup>b</sup>	2.55±0.21 <sup>b</sup>	3.85±1.20 <sup>ab</sup>	20.03±15.47 <sup>a</sup>	14.80±7.77 <sup>ab</sup>			
43	2064	-	Octanoic acid	sweat, cheese	1.90±0.28 <sup>b</sup>	25.39±3.10 <sup>b</sup>	71.42±35.80 <sup>a</sup>	4.15±5.87 <sup>b</sup>	23.35±24.11 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>			
44	2079	-	4-Methylphenol (p-cresol)	medicine, phenol, smoke	0.30±0.14 <sup>ns</sup>	0.75±0.07 <sup>ns</sup>	1.65±0.49 <sup>ns</sup>	0.60±0.14 <sup>ns</sup>	0.90±0.71 <sup>ns</sup>	2.80±2.83 <sup>ns</sup>	1.75±1.06 <sup>ns</sup>			
45	2099	-	(E,E)-2,4-Hexadienal	green	0.00±0.00 <sup>c</sup>	1.10±0.00 <sup>b</sup>	2.65±1.06 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>			
46	2190	-	o-amino Acetophenone	foxy, sweet	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	2.40±1.55 <sup>a</sup>	1.40±0.42 <sup>ab</sup>			

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของจิ้งหรีดที่ทำแห้งด้วยการใช้ไมโครเวฟที่ 540 วัตต์และ 900 วัตต์สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (3.30 g oil/g sample, 3.35 g oil/g sample) เมื่อเทียบจากทั้ง 3 กระบวนการ เนื่องจากผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทำแห้งด้วยการใช้ไมโครเวฟ มีปริมาณโปรตีนที่สูง ค่าที่ได้สูงกว่าค่าที่รายงานโดย Lucas-González และคณะ (2019) ซึ่งรายงานความสามารถในการอุ้มน้ำมันที่ได้จากจิ้งหรีดที่ทำแห้งด้วยการใช้ความร้อน (1.91 g oil/g sample) และ จิ้งหรีดที่ทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง (2.86 g oil/g sample) ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำมันอาจเกิดจาก ปริมาณโปรตีน ชนิดของโปรตีน รวมถึงลักษณะทางโครงสร้างที่แตกต่างกันของส่วนที่ไม่ชอบน้ำที่บริเวณพื้นผิวหรือส่วนที่ชอบน้ำมันของโปรตีน (Deng และคณะ, 2011)

**ตารางที่ 4.4** แสดงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity) ของผงจิ้งหรีดที่ได้จากกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนวิธีที่แตกต่างกัน

วิธีการให้ความร้อน	WHC(g water/g sample)	OHC(g oil/g sample)
Control	1.29±0.02 <sup>d</sup>	2.77±0.13 <sup>c</sup>
T60	2.47±0.06 <sup>a</sup>	3.11±0.01 <sup>ab</sup>
T90	2.37±0.04 <sup>a</sup>	3.04±0.15 <sup>b</sup>
M540	2.36±0.01 <sup>a</sup>	3.30±0.20 <sup>a</sup>
M900	2.08±0.10 <sup>b</sup>	3.35±0.19 <sup>a</sup>
F150	1.80±0.11 <sup>c</sup>	3.01±0.08 <sup>bc</sup>
F180	1.82±0.20 <sup>c</sup>	2.88±0.06 <sup>bc</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.5.2 ความสามารถในการเกิดโฟม (Foam capacity) และความคงตัวของโฟม (Foam stability)

ความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟม (Foam capacity และ Foam stability) เกิดจากโปรตีนที่สามารถเกิดโฟมและถูกดูดซับที่ผิวระหว่างน้ำและอากาศ (interface) ได้อย่างรวดเร็ว โดยการดูดซับของโปรตีนจะเริ่มจากโปรตีนเคลื่อนไปที่พื้นผิวระหว่างน้ำและอากาศ และเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ (Wilde and Clark, 1996) รวมไปถึงโปรตีนที่มี surface hydrophobicity สูงจะมีอัตราการดูดซับสูงซึ่งทำให้เกิดโฟมได้ดี ของผงจิ้งหรีดจากการทำแห้งด้วย (Townsend และ Nakai, 1983) ดังนั้นคุณสมบัติของโฟมขึ้นอยู่กับโปรตีนและองค์ประกอบอื่น ๆ เช่นคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในแป้ง (Sreerama และคณะ, 2012) Kinsella (1981) ได้กล่าวไว้ว่าการใช้ความร้อนอาจทำให้เกิดการเพิ่มของส่วนที่ไม่ชอบน้ำซึ่งช่วยสนับสนุนการเกิดโฟม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการเพิ่มการดูดซับของน้ำและอากาศที่บริเวณรอยต่อของน้ำและอากาศ แต่จากการทดลองที่แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.5 พบว่า ความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟมของผงจิ้งหรีดจากการทำแห้งด้วยการอบลมร้อนมีค่าสูงสุด เนื่องจากการอบลมร้อนใช้อุณหภูมิต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ แต่จากการทดสอบความสามารถในการเกิดโฟมของผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทำแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ มีค่าต่ำมาก หรืออาจจะไม่เกิดโฟมขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุด้วยกัน เสาวลักษณ์ (2541) กล่าวว่า การให้ความร้อนกับโปรตีนที่อุณหภูมิมากกว่า 40 หรือ 50 องศาเซลเซียส โปรตีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ มีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ รวมไปถึงสมบัติการละลาย โปรตีนที่ถูกความร้อนในอุณหภูมิสูง การละลายจะลดลง ด้วยสาเหตุนี้ในระหว่างการทดสอบความสามารถในการเกิดโฟม ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ผงจิ้งหรีดที่ได้จากการทำแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ มีการละลายต่ำมาก ยังคงมีผงจิ้งหรีดหลงเหลืออยู่เป็นจำนวนมากหลังจากการโฮโมจีไนส์ อาจส่งผลให้ค่าความสามารถในการเกิดโฟมมีค่าน้อย อีกสาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากองค์ประกอบอื่น ๆ มีผลต่อความสามารถในการเกิดโฟม ซึ่ง Hall และคณะ (2016) กล่าวว่า ความสามารถในการเกิดโฟมของจิ้งหรีดทั้งตัวมีค่าน้อยกว่าจิ้งหรีดที่สกัดเอาแต่โปรตีน (Protein hydrolysate) Adebowale และคณะ (2005) รายงานผลการทดลองว่าการวัดความสามารถในการเกิดโฟมของผงจิ้งหรีดแอฟริกา (*Gryllidae sp.*) (นำมาใช้ทั้งตัว) หลังจากการตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง คือ 6% และความคงตัวของโฟม คือ 3.05%

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟม (Foam capacity and foam stability) ของผงจิ้งหรีดที่ได้จากกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนวิธีที่แตกต่างกัน

วิธีการให้ความร้อน	ความสามารถในการเกิดโฟม	ความคงตัวของโฟม
Control	0.12±0.15 <sup>ab</sup>	99.66±0.35 <sup>a</sup>
T60	0.50±0.80 <sup>a</sup>	99.03±1.04 <sup>a</sup>
T90	0.74±0.68 <sup>a</sup>	99.74±0.39 <sup>a</sup>
M540	-0.95±1.09 <sup>b</sup>	98.33±2.30 <sup>a</sup>
M900	-0.95±1.09 <sup>b</sup>	95.73±1.25 <sup>b</sup>
F150	0.05±0.04 <sup>ab</sup>	99.71±0.37 <sup>a</sup>
F180	-0.21±0.43 <sup>ab</sup>	99.64±0.33 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.3 ความสามารถในการเป็นอิมัลชันไฟเออร์ (Emulsion activity index, EAI) และเสถียรภาพของอิมัลชัน (Emulsion stability index, ESI)

การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นอิมัลชันไฟเออร์ (Emulsion activity index, EAI) และการวิเคราะห์เสถียรภาพของอิมัลชัน (Emulsion stability index, ESI) ของจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.6 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยการอบลมร้อนที่ 60 °C มีค่า EAI สูงที่สุด (36.4 m<sup>2</sup>/g) สูงกว่าจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยการอบลมร้อนที่ 90 °C (30.25 m<sup>2</sup>/g) เนื่องจาก ตัวอย่างมีปริมาณโปรตีนที่สูง และเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนต่ำทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติน้อย จึงสามารถคงประสิทธิภาพในการเป็นอิมัลชันไฟเออร์ของโปรตีนในจิ้งหรีดไว้ได้ และ จิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยการทอดที่ 180 °C มีค่า EAI ต่ำที่สุด (18.16 m<sup>2</sup>/g) ต่ำกว่าจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยการทอดที่ 150 °C (22.27 m<sup>2</sup>/g) เนื่องจากตัวอย่างมีปริมาณโปรตีนที่ต่ำ และเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติน้อย ทำให้ประสิทธิภาพในการเป็นอิมัลชันไฟเออร์ของโปรตีนในจิ้งหรีดลดลง โดยทั่วไปการเกิดอิมัลชันจะเป็นผลมาจากการดูดซับของโมเลกุลโปรตีนหรือเพปไทด์ไว้บนพื้นผิวของน้ำมัน กรดอะมิโนที่ไม่มีขั้ว (hydrophobic amino acid) จะทำให้โปรตีนสามารถยึดเกาะตัวอยู่บนผิวของน้ำมันโดยการแทรกตัวเข้าไปอยู่บนพื้นผิวของน้ำมัน และหันส่วนที่ไม่มีขั้วออกมาสัมผัสน้ำ (Pomeranz, 1991) ดังนั้นเมื่อโปรตีนได้รับความร้อนที่สูงทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติดังรุนแรง อาจส่งผลให้เกิดการเกาะกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดการตกตะกอนในที่สุด ทำให้ประสิทธิภาพในการเป็นอิมัลชันไฟเออร์ของโปรตีนลดลง (McClements, 1999) และจิ้งหรีดที่ผ่านการทำแห้งด้วยการอบลมร้อนที่ 90 °C มีค่า ESI สูงที่สุด (41.13 min) เนื่องจากตัวอย่างมีปริมาณโปรตีนที่สูง โดยทั่วไปแล้วความคงตัวของอิมัลชันสามารถเกิดจากอนุภาคของโปรตีน เพราะโปรตีนมีโมเลกุลค่อนข้างใหญ่จะถูกดูดซับหรือละลายได้ในวัฏภาคของน้ำมัน (oil phase) และมีบางส่วนที่ละลายน้ำได้จะอยู่ในวัฏภาคของน้ำ (aqueous phase) ดังนั้นที่ผิวร่วมระหว่างน้ำมันกับน้ำ (oil-water phase) จึงเกิดโครงสร้างซึ่งสามารถทำหน้าที่กีดขวางการรวมตัวกันของเม็ดไขมัน เพราะโปรตีนมีโมเลกุลขนาดใหญ่พอที่จะทำหน้าที่เป็นสิ่งกีดขวาง (barrier) ไม่ให้อนุภาคคอลลอยด์เกาะกลุ่มกันได้ แต่ค่า ESI ในจิ้งหรีดที่ผ่านการทำแห้งด้วยการอบลมร้อนที่ 60 °C (21.68 min), การใช้ไมโครเวฟที่ 540 วัตต์ (15.38 min) และการใช้ไมโครเวฟที่ 900 วัตต์ (13.51 min) มีค่าต่ำ ไม่สัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง ทั้งนี้อาจเกิดจากโปรตีนในจิ้งหรีดเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติเมื่อได้รับความร้อนทำให้ประสิทธิภาพในการเป็นอิมัลชันไฟเออร์ลดลง หรืออาจเกิดจากความเข้มข้นของโปรตีนที่สูง อาจส่งผลให้โปรตีนหรือเพปไทด์เกิดการจับเรียงตัว (Aggregation) กันเองของโมเลกุลโปรตีนมากขึ้น ทำให้โปรตีนไม่สามารถแทรกตัวหรือถูกดูดซับบนพื้นผิวของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยดน้ำมันได้ ความสามารถในการห่อหุ้มเม็ดไขมันของโปรตีนบริเวณผิวสัมผัสระหว่างน้ำและน้ำมันจึงลดลง (Kristinsson and Rasco, 2000) ส่งผลให้เสถียรภาพของอิมัลชันต่ำ

**ตารางที่ 4.6** แสดงความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsion activity index, EAI) และการวิเคราะห์เสถียรภาพของอิมัลชัน (Emulsion stability index, ESI) ของจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกัน

วิธีการให้ความร้อน	EAI (m <sup>2</sup> /g)	ESI (min)
Control	22.2±0.36 <sup>cd</sup>	12.74±0.22 <sup>c</sup>
T60	36.4±4.46 <sup>a</sup>	21.68±1.80 <sup>b</sup>
T90	30.25±2.48 <sup>b</sup>	41.13±8.13 <sup>a</sup>
M540	29.83±1.43 <sup>b</sup>	15.38±0.30 <sup>bc</sup>
M900	26.15±1.03 <sup>bc</sup>	13.51±1.26 <sup>bc</sup>
F150	22.27±2.03 <sup>cd</sup>	15.76±0.34 <sup>bc</sup>
F180	18.16±1.63 <sup>d</sup>	14.07±3.34 <sup>bc</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.6 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผงจิ้งหรีด

จากผลการทดลองความสามารถในการพอกจางสีอนุมูลอิสระเอปิตีเอสและดีพีพีเอช พบว่าผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับจิ้งหรีดสด ให้ผลสอดคล้องกันทั้งการพอกจางสีอนุมูลอิสระเอปิตีเอสและดีพีพีเอช เนื่องจากโปรตีนในจิ้งหรีดเมื่อได้รับความร้อน ทำให้โปรตีนเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติส่งผลให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระลดลง และผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทำให้แห้งในสภาวะที่ใช้ความร้อนหรือวัตต์สูงกว่าในแต่ละกระบวนการ มีความสามารถในการพอกจางสีอนุมูลอิสระเอปิตีเอสและดีพีพีเอชสูงกว่าผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทำให้แห้งในสภาวะที่ใช้ความร้อนหรือวัตต์ต่ำในแต่ละกระบวนการอาจเป็นผลมาจากปริมาณโปรตีน ตามข้อมูลที่ได้รับจาก Elias และคณะ (2008) โปรตีนในอาหารมีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นกลไกการออกฤทธิ์อาจเกิดจาก ความสามารถในการให้อิเล็กตรอน ความสามารถในการจับกับไอออนโลหะ ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (Moon และคณะ, 2009) โดย Liu และคณะ (2009) ได้กล่าวไว้ว่ากรดอะมิโนมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระจึงเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้งในกลุ่มเพปไทด์ขนาดเล็กที่มีกรดอะมิโน เช่น ไลซีนและเมไทโอนีน มีความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันสูงถึงแม้ว่าในตัวอย่งจิ้งหรีดที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยการทอดจะมีปริมาณโปรตีนที่ต่ำแต่สามารถเกิดการพอกจางสีอนุมูลอิสระเอปิตีเอสได้ดี อาจเกิดจากวิธีการเตรียมตัวอย่างที่แตกต่างกัน ตัวอย่างจิ้งหรีดที่ผ่านการทอดจะพบว่ามีน้ำมันถูกดูดซับไปในตัวอย่างเพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำมันที่ใช้นี้ในทางการค้าจะมีการเติมสาร Antioxidant เช่น ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Butylated hydroxytoluene (BHT) Butylated hydroxyanisole (BTA) จึงทำให้ตัวอย่างจิ้งหรีดที่ผ่านการทำแห้งด้วยการทอดมีความสามารถในการฟองจางสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอสเพิ่มมากขึ้นถึงแม้จะมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าตัวอย่างอื่น ๆ ก็ตาม

ตารางที่ 4.7 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical scavenging assay) และความสามารถในการฟองจางสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS radical scavenging assay) ของผงจิ้งหรีดที่ได้จากกระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกัน

วิธีการให้ความร้อน	ABTS <sup>+</sup> ( $\mu\text{mol TE/g sample}$ )	DPPH <sup>+</sup> ( $\mu\text{mol TE/g sample}$ )
Control	60.77 $\pm$ 0.40 <sup>a</sup>	154.95 $\pm$ 17.2 <sup>ab</sup>
T60	54.49 $\pm$ 0.87 <sup>e</sup>	89.3 $\pm$ 44.66 <sup>bc</sup>
T90	55.94 $\pm$ 0.79 <sup>d</sup>	95.48 $\pm$ 24.94 <sup>bc</sup>
M540	57.41 $\pm$ 1.79 <sup>c</sup>	217.12 $\pm$ 17.84 <sup>a</sup>
M900	60.51 $\pm$ 0.52 <sup>a</sup>	122.88 $\pm$ 51.44 <sup>bc</sup>
F150	59.29 $\pm$ 1.08 <sup>b</sup>	72.62 $\pm$ 10.48 <sup>c</sup>
F180	60.39 $\pm$ 0.51 <sup>ab</sup>	149.16 $\pm$ 4.87 <sup>ab</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

จากการศึกษาผลของการทำแห้งจิ้งหรีดด้วยวิธีที่ต่างกัน ต่อดองค์ประกอบทางเคมี สารให้กลิ่น คุณสมบัติเชิงหน้าที่ และสารต้านอนุมูลอิสระในจิ้งหรีด สามารถสรุปได้ว่า กระบวนการให้ความร้อนเป็นวิธีที่สามารถลดความชื้นในอาหาร ส่งผลให้โปรตีนมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และช่วยลดสารให้กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในผงจิ้งหรีดได้ แต่หากให้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิสูงจนเกินไป จะส่งผลให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ขึ้นหลังผ่านกระบวนการทำแห้ง รวมไปถึงสมบัติเชิงหน้าที่ และการต้านอนุมูลอิสระจะลดลง เนื่องจากการใช้ความร้อนสูง ส่งผลให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ ซึ่งโปรตีนมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติเชิงหน้าที่และการต้านอนุมูลอิสระ วิธีการทำแห้งที่เหมาะสมในการนำไปแปรรูป คือ การอบลมร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เนื่องจาก ที่สภาวะดังกล่าวได้ผงจิ้งหรีดที่มีปริมาณโปรตีนสูง และยังคงรักษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ รวมไปถึงสามารถลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ อีกทั้งเป็นสภาวะที่ใช้เวลาในการทำแห้งน้อยกว่าการอบลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียสซึ่งใช้เวลา 5 ชั่วโมง ดังนั้นการอบลมร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงจึงเป็นวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมในการแปรรูป

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1. ควรมีการทดสอบการละลาย (Solubility) เพิ่มเติม
- 5.2.2. ควรเพิ่มช่วงอุณหภูมิของสภาวะการทำแห้ง เพื่อให้มีข้อมูลเปรียบเทียบได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- Adebowale, Y. A., Adebowale, K. O., and Oguntokun, M. O. 2005. Evaluation of nutritive properties of the large african cricket (*Gryllidae sp*). Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research, 48(4): 274.
- Akpossan, R.A., Digbeu, Y.D., Koffi, M.D., Kouadio, J.P.E.N., Dué, E.A. and Kouamé, P.L. 2015. Protein fractions and functional properties of dried *Imbrasia oyemensis* larvae full-fat and defatted flours. Int J Biochem Res Rev. 5:116–126
- Aniebo, A.O. and Owen, O.J. 2010. Effects of age and method of drying on the proximate composition of housefly larvae (*Musca domestica* Linnaeus) meal (HFLM). Pakistan Journal of Nutrition. 9: 485–7
- A.O.A.C. 1990. Official methods of analysis. 15<sup>th</sup>ed. Washington DC. The Association of official analytical chemists.
- Arsa, S., Theerakulkait, C. and Cadwallader, K.R. 2019. Quantitation of Three Strecker Aldehydes from Enzymatic Hydrolyzed Rice Bran Protein Concentrates as Prepared by Various Conditions. Journal of agricultural and food chemistry. 67 : 8205-8211.
- Barbut, S. 1996. Determining water and fat holding. In G. M. Hall.(ed.), Method of Testing Protein Functionality, pp. 189-225. London: Blackie Academic & Profession.
- Bull, H. B. and Breese, K. 1968. Protein hydration. 1. Binding sites. Arch, Biochem. Biophys. 128: 488-496.
- Deng ,Q., Wang, L., Wei, F., Xie, B., Huang, F. and Huang, W. 2011. Functional properties of protein isolates, globulin and albumin extracted from *Ginkgo biloba* seeds. Food Chem. 124(4):1458–1465
- Dobermann, D., Field , L.M. and Michelson, L.V. 2019. Impact Of heat processing on the nutritional content of *Gryllus bimaculatus* (black cricket). Nutrition Bulletin. 44 :116-122.
- Grunden, L.P., Vadehra, D.V. and Baker, R.C. 1974. Effects of proteolytic enzymes on the functionality of egg chicken egg albumin. J. Food Sci. 39(4): 841-843.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Haber, M., Mishyna, M., Martinez, J.J.T. and Benjamin, O. 2018. Edible larvae and pupae of honey bee (*Apis mellifera*): Odor and nutritional characterization as a function of diet. *Food Chemistry*. 292: 197-203.
- Haber, M., Mishyna, M., Martinez, J.J.T. and Benjamin, O. 2019. The influence of grasshopper (*Schistocerca gregaria*) powder enrichment on bread nutritional and sensorial properties. *LWT- Food Science and Technology*. 115 : 1-8.
- Hall, G.M. 1996. *Methods of testing protein functionality*. London: Blackie Academic and Professional.
- Hajlova, J. and Cajka, T. 2007. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). In Y. Pico (Ed). *Food Toxicants Analysis*. 419-473.
- Hill, S.E. 1996. Emulsions. In G.M. Hall.(ed.), *Method of Testing Protein Functionality*, pp. 153-185.
- Ivey, F.J., Webb, N.B. and Jones, V.A. 1970. The effect of disperse phase droplet size and interfacial film thickness on the emulsifying capacity and stability of meat emulsions. *Food Technol*. 24: 1279-1281
- Kassama, L.S. and Ngadi, M.O. 2004. Pore development in chicken meat during deep-fat frying. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol*. 37 : 841-847
- Kinsella, J.E. 1979. Functional properties of soy protein. *J. Am. Oil Chemists' Soc.* 56: 242-258.
- Kinsella, J.E. 1981. Functional properties of proteins: possible relationships between structure and function in foams. *Food Chem*. 7:273-288
- Knetifel, W., Paquin, P., Albert, T. and Richard, J. P. 1991. Water-holding capacity of proteins with special regard to milk proteins and methodological aspects-a review. *J. Dairy Sci*. 74: 2027-41.
- Krull, L. H. and Wall, J. S. 1969. Relationship of amino acid composition and wheat protein properties. *Bakers' Dig*. 43(4): 30-39.
- Kulma, M., Plachý, V., Kourimská, L., Vrabec, V., Bubová, T. and Adám- ková, A. 2016. Nutritional value of three Blattodea species used as feed for animals. *J Anim Feed Sci*. 25:354-360
- เอกสารนี้ไม่เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- LeMeste, H.M., Colas, B., Simatos, D., Closs, B., Courthaudon, J.I. and Lorient, D. 1990. Contribute of protein flexibility to the foaming properties of casine. *J. Food Sci.* 55(5): 1445-1447
- Lucas-Gonzalez, R., Fernandez-lopez, J., Perez-Alvarez, J.A. and Viude-Martos, M. 2019. Effect of drying process in the chemical, physico-chemical, techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from house cricket (*Achetadomesticus*). *European Food Research and Technology* 245 : 1451-1458.
- Nowak, V., Persijn, D., Rittenschober, D. and Charrondiere, U.R. 2016. Review of food composition data for edible insect. *Food Chem.* 193:39-46
- Pearce, K.N. and Kinsella, J.E. 1978. Emulsifying properties of proteins: evaluation of turbidimetric technique. *J. Agric Food Chem.* 26(3): 716-723
- Ribeiro, J.C., Lima, R.C., Maia, M.R.G., Almeida, A.A., Fonseca, A.J.M., Cabrita, A.R.J., Cunha, L.M. 2019. Impact of defatting freeze-dried edible crickets (*Acheta domesticus* and *Grylloides sigillatus*) on the nutritive value, overall liking and sensory profile of cereal bars. *LWT – Food Science and Technology.* 113 : 1-7.
- Sathe, S.F. 2002. Dry bean protein functionality. *Critical Reviews in Biotechnology.* 22(2) : 175-223.
- Sathe, S.K., Desphande, S.S. and Salunkhe, D.K. 1982. Functional properties of winged bean proteins. *J. Food Sci.* 47: 503-509.
- Sreerama, Y.N., Sashikala, V.B., Pratape, V.M. and Singh, V. 2012. Nutrients and antinutrients in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: evaluation of their flour functionality. *Food Chem.* 131:462-468
- Sunisa, E., Worapong, U., Sunisa, S., Saowaluck, J. and Saowakon, W. 2011. Quality changes of chicken frying oil as affected of frying conditions. *International Food Research Journal.* 18 : 615-620
- Tang, W., Zhang, M. and Fang, Z. 2015. Optimization of ultrasound-assisted-extraction of porcine placenta water-soluble proteins and evaluation of the antioxidant activity. *J Food Sci Technol.* 52(7) : 4042-4053.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Townsend, A. and Nakai, S. 1983. Relationships between hydrophobicity and foaming characteristics of food proteins. *J. Food Sci.* 48: 588-594.
- Wilde, P.J. and Clark, D.C. 1996. Foam formation and stability. In G.M. Hall.(ed.), *Method of Testing Protein Functionality*, pp. 110-154.
- Yeo, H., Youn, K., Kim, M., Young, E., Hwang, J.S., Jeong, W.S. and Jun, M. 2013. Fatty Acid Composition and Volatile Constituents of *Protaetia brevitarsis* Larvae. *The Korean Society of Food Science and Nutrition.* 18(2):150-156.
- Zielinska, E., Karas, M. and Baraniak B. 2017. Antioxidant and anti-inflammatory activities of hydrolysates and peptide fractions obtained by enzymatic hydrolysis of selected heat-treated edible insects. *Nutrients.* 2017 : 1-14.
- Zielinska, E., Karas, M. and Baraniak B. 2018. Comparison of functional properties of edible insects and protein preparation thereof. *Food Science and Technology.* 91 : 168-174.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2546. จิ้งหรีด. [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก: <http://aopdh03.doae.go.th>. 5 ตุลาคม 2562.
- ชญาנית กันจันะ, สุจินต์ สิมารักษ์, สุวิทย์ เลหาศิริวงศ์ และสุกัลยา เชิญขวัญ. 2562. ระบบการเลี้ยงจิ้งหรีดเพื่อการค้าของเกษตรกรในหมู่บ้านแห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น. *แก่นเกษตร* 47 ฉบับพิเศษ 1. สาขาวิชาการส่งเสริมการเกษตรและเกษตรเชิงระบบ. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นันทนัม สุวรรณพรหม. 2559. การเปรียบเทียบวาระระเหยง่ายในน้ำมะนาวคั้นสด 4 พันธุ์ โดยใช้เทคนิคเฮดสเปซ-แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรีและเคโมเมทริก. สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นันทยา จงใจเทศ, พิมพร วัชรพงศ์กุล, ปิยนันท์ เผ่าม่วง และ เพ็ญไพยม ประภาสิริ. 2549. คุณภาพโปรตีนและแมลงที่กินได้. กองโภชนา. สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- นิธยา รัตนาปนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์
- พรรณทิพา มีสิน. 2562. บทเรียนที่ 3 วัฏจักรชีวิตของสัตว์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://sites.google.com/site/sci58112021617/home/bth-thi-2-phuch-bi-leiyng-deiyw-kab-bi-leiyng-khu/bth-reiyn-thi-3-watcakr-chiwit>. 24 ตุลาคม 2562.
- บุหรัน พันธุ์สุวรรณค์. อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ. 25 56. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 21 : 276-286.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พรรณทิพา มีสิน. 2562. บทเรียนที่ 3 วัฏจักรชีวิตของสัตว์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<https://sites.google.com/site/sci58112021617/home/bth-thi-2-phuch-bi-leiyng-deiyw-kab-bi-leiyng-khu/bth-reiyn-thi-3-watcakr-chiwit>. 24 ตุลาคม 2562.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2563. Maillard reaction. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0397/maillard-reaction>

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2563. Protein denaturation. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0936/protein-denaturation>

รัชณี ตัณฑะพานิชกุล. 2535. เคมีอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 4). มหาวิทยาลัยรามคำแหง. กรุงเทพฯ

รัตนวรรณ จันทรศศิธร, งามชื่น คงเสรี, กาญจนา มัทธนทวี, สุนันทา วงศ์ปิยชน. 2561. การจำแนกองค์ประกอบของกลิ่นหอมในเมล็ดข้าวด้วยเทคนิค Gas Chromatography Olfactometry (GC-O). แบบข้อเสนอโครงการเพื่อขอรับการสนับสนุนงบประมาณจากรายได้จากการดำเนินงานวิจัยและส่งเสริมด้านข้าว. กรมการข้าว. สถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ.

ศุภชัย พวงสุวรรณ. 2560. การเลี้ยงจิ้งหรีดพันธุ์ทองแดงลาย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<https://th.wikipedia.org/wiki/จิ้งหรีดทองแดงลาย>

เสาวลักษณ์. 2541. การใช้วัสดุเศษเหลือปลาจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำเพื่อผลิตโปรตีน. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล และวรพงษ์ อัครเทศมณี. 2552. ผลของการใช้น้ำมันทอดซ้ำต่อคุณภาพของน้ำมันทอดและผลิตภัณฑ์อาหารทอดกรณีศึกษาในไก่ทอดและปาท่องโก๋. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อังคนาวรรณ สืบประดิษฐ์, จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร และปัทมา ระตะนะอาพร. 2562. ความเหมาะสมของชนิดสหาร่ายและชนิดรสชาติในการผลิตสหาร่าย. ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง. คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนุสรณ์ เชิดทอง. 2562. โปรตีนและกรดอะมิโน (Protein and amino acids). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<https://ag2.kku.ac.th/eLearning/137748/Doc%5CChapter%203%20Protein%20and%20amino%20acids.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### ภาพผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

#### ก.1 ภาพผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน



ภาพที่ ก.1 ภาพผงจิ้งหรีดที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการอบลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง (TD60) การอบลมร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง (TD90) การใช้ไมโครเวฟที่ 540 วัตต์ 6 นาที (MCW540) การใช้ไมโครเวฟที่ 900 วัตต์ 6 นาที (MCW900) การทอดที่ 150 องศาเซลเซียส 3 นาที (FRD150) และการทอดที่ 180 องศาเซลเซียส 2 นาที (FRD180)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ปริมาณน้ำอิสระ, ร้อยละผลผลิตของผงจิ้งหรีดที่ได้จากกระบวนการทำ แห้งที่แตกต่างกัน

ข.ปริมาณน้ำอิสระ, ร้อยละผลผลิตของผงจิ้งหรีดที่ได้จากกระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกัน

ตารางที่ ข.1 ปริมาณน้ำอิสระ, ร้อยละผลผลิตของผงจิ้งหรีดที่ได้จากกระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกัน

การให้ความร้อน	ปริมาณน้ำอิสระ	ร้อยละผลผลิต (%)
Control	0.9829	-
T60	0.4090	27.27
T90	0.3245	24.51
M540	0.3632	21.96
M900	0.4867	18.29
F150	0.1145	33.30
F180	0.1477	29.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### แบบสอบถามความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ผงจิ้งหรีด

#### ค.1 ภาพแบบสอบถามความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ผงจิ้งหรีด

แบบสอบถามความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ผงจิ้งหรีด						
ผลิตภัณฑ์ : ผงจิ้งหรีด	วันที่ _____					
1.แบบสอบถามความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ผงจิ้งหรีดเพื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่						
คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่าง โดยการต้มเรียงจากซ้ายไปขวา ให้คะแนนความพึงพอใจต่อกลิ่น ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง (กรุณาเว้นระยะประมาณ 1 นาที ก่อนดมตัวอย่างถัดไป)						
สเกลความชอบ :	1 = ไม่ชอบมากที่สุด		6 = ชอบเล็กน้อย			
	2 = ไม่ชอบมาก		7 = ชอบปานกลาง			
	3 = ไม่ชอบปานกลาง		8 = ชอบมาก			
	4 = ไม่ชอบเล็กน้อย		9 = ชอบมากที่สุด			
	5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ					
	595	479	519	379	442	489
คะแนนความชอบ	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2. คำแนะนำ : จงเรียงลำดับกลิ่นแมลงในตัวอย่จากน้อยไปมากเขียนตามลำดับโดย 1 = กลิ่นแมลงน้อยที่สุด และ 6 = กลิ่นแมลงมากที่สุด ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง (กรุณาเว้นระยะประมาณ 1 นาที ก่อนดมตัวอย่างถัดไป)						
	595	479	519	379	442	489
ลำดับความชอบ	.....	.....	.....	.....	.....	.....

ภาพที่ ค.1 ภาพแบบสอบถามความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ผงจิ้งหรีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล                      คณาธิป เหล่าธนพงศ์  
 วัน เดือน ปี เกิด                30 มกราคม 2541  
 ประวัติการศึกษา                สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2563 วิทยาศาสตร์บัณฑิต  
    สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร  
    สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อ-นามสกุล                      ณัฐมน ธิรธนบุรณ์  
 วัน เดือน ปี เกิด                23 มกราคม 2541  
 ประวัติการศึกษา                สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2563 วิทยาศาสตร์บัณฑิต  
    สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร  
    สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้