



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการไฮโดรจีเนชันและการเติม  
วิตามินอีเพื่อการป้องกันการเหม็นหืนในหมูหัน

The efficiency comparison study of hydrogenation process and  
vitamin E addition for rancid protection in grilled swine

ดร.ฐิตินาถ สุคนเขตร์  
ดร.อุดมศักดิ์ กิจทวี  
นายวีรชน ภูหินกอง

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต





รายงานการวิจัย  
เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการไฮโดรจีเนชันและการเติม  
วิตามินอีเพื่อการป้องกันการเหม็นหืนในหมูหัน

The efficiency comparison study of hydrogenation process and  
vitamin E addition for rancid protection in grilled swine

ดร.ฐิตินาถ สุขนเขตร์  
(คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)  
ดร.อุดมศักดิ์ กิจทวี  
(คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)  
นายวีรชน ภูหินกอง  
(คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัยปีงบประมาณ 2557)



หัวข้อวิจัย	การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการไฮโดรจีเนชันและการเติมวิตามินอีเพื่อการป้องกันการเหม็นหืนในหมูหัน
ผู้ดำเนินการวิจัย	ดร.ฐิตินาถ สุคนเขตร์ ดร.อุคมศักดิ์ กิจทวี นายวีรชน ภูหินกอง
หน่วยงาน	หลักสูตรอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ปี พ.ศ.	2558

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการเหม็นหืนในหมูหันด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันและการเติมวิตามินอี โดยเริ่มจากการศึกษาผลของภาวะในการเก็บรักษาตัวอย่างในภาวะเปิดและภาวะปิดผนึก ที่อุณหภูมิ 25 และ 4 องศาเซลเซียส ภาวะในการเก็บรักษาที่ดีที่สุดจะถูกใช้ในการเก็บตัวอย่างตลอดระยะเวลาการทดลองก่อนถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติ ปริมาณการเกิดออกซิเดชันของไขมันซึ่งเป็นสาเหตุของการเหม็นหืนจะถูกติดตามจากค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าไอโอดีน ความเป็นกรด และความชื้น ในเทคนิคการเติมวิตามินอี จะใช้วิตามินอีปริมาณ 50-150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ผสมและให้ตัวอย่างสัมผัสวิตามินอีเป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง ในกระบวนการไฮโดรจีเนชันของหมูหันจะใช้ก๊าซไฮโดรเจนร้อยละ 10 ในก๊าซไนโตรเจนที่อัตราการไหลของไฮโดรเจนเข้าสู่ท่อควอทซ์บรรจุในเตาเผา ที่ 50-150 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 50-150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-30 นาที ตัวอย่างจะถูกเก็บรักษาเป็นเวลา 120 ชั่วโมง และนำมาวิเคราะห์ความเหม็นหืนทุก 24 ชั่วโมง พบว่า ภาวะในการเก็บรักษาตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุด คือ ในภาวะปิดผนึกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไขมันจะเกิดการออกซิไดซ์กับอากาศน้อยกว่าการเก็บในภาวะเปิดและการเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเติมวิตามินอีที่ให้ค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำสุดที่ 0.91 มิลลิโมลต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม คือ การเติมวิตามินอี 100 มิลลิกรัม และให้วิตามินสัมผัสตัวอย่างนาน 3 ชั่วโมง และค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำสุดที่ 0.42 มิลลิโมลต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม ของการทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันคือ ที่อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจน 100 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที และการป้องกันการเหม็นหืนในหมูหันด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันจะมีประสิทธิภาพดีกว่าเทคนิคการเติมวิตามินอี

<b>Research Title</b>	The efficiency comparison study of hydrogenation process and vitamin E addition for rancid protection in grilled swine
<b>Researcher</b>	Thitinat Sukonket, Ph.D. Udomsak Kittawee, Ph.D. Veerachon Phuhinkong
<b>Organization</b>	Occupational Health and Safety Science Faculty of Science and Technology Suan Dusit University
<b>Year</b>	2015

This research is a comparative study of the efficiency of hydrogenation process and vitamin E addition for rancidity protection in grilled swine. At first, the effects of storage conditions (opened and closed systems at 25 and 4°C) were undertaken. The optimum storage condition will be used to store all the samples along the period before properties analysis. The lipid oxidation which causes rancidity was examined by the factors of peroxide value, iodine number, acidity, and moisture content. In vitamin E addition technique, 50-150 mg of tocopherol was added to 1 kg of grilled swine and leaved for 1-3 h to mix well. In the hydrogenation of grilled swine, 10% H<sub>2</sub> in N<sub>2</sub> balance was flow at 50-150 mL/min into the quartz tube in the furnace. The temperature are varied from 50-150 °C for 10-30 min. The samples were storage for 120 h and analyzed the rancidity every 24 h. It was found that the optimum storage condition is a closed system at 4°C. The optimum condition of vitamin E addition which obtained the lowest peroxide value (0.91 Meq/Kg oil) is 100 mg tocopherol at the contact time 3 h. The lowest peroxide value (0.42 Meq/Kg oil) of hydrogenation process was obtained at 100 mL/min of H<sub>2</sub> flow rate, 100°C for 30 min. The hydrogenation process shows the higher efficiency for rancidity protection than that of vitamin E addition technique.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากคณะผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่ เป็นอย่างดีจากหลายๆ ฝ่าย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.นครินทร์ ศรีสุวรรณ ผู้ทรงคุณวุฒิในการ แนะนำและตรวจสอบคุณภาพของงานวิจัย ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญและบุคลากรของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิตทุกท่าน ที่สละเวลาในการตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องของการ เขียนงานวิจัย ตรวจทานความถูกต้องของภาษา และพิจารณาความเหมาะสมของเนื้อหาและ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากรและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏ สวนดุสิต ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏ สวนดุสิตที่สนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดี ของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอบคุณไว้ในโอกาสนี้

คณะผู้วิจัย

2558

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตการวิจัย	2
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
กรดไขมัน (Fatty acid, FA)	4
มันหมู (Lard)	8
ความเหม็นหืน (Rancidity)	9
ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation)	13
วิตามินอี (Vitamin E)	13
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
กรอบแนวคิดในการวิจัย	18
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>	<b>19</b>
สารเคมี และเครื่องมือวิเคราะห์	19
วิธีการทดลอง	20
การเติมวิตามินอี	20

	กระบวนการเติมไฮโดรเจน	20
	การสกัดน้ำมัน	20
	การวัดความเป็นกรด-ด่าง	21
	การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในอาหาร	21
	การหาค่าเปอร์ออกไซด์	21
	การวิเคราะห์ค่าไอโอดีน	22
<b>บทที่ 4</b>	<b>ผลการวิจัย</b>	<b>23</b>
	ลักษณะทางกายภาพของหมูหัน	23
	ผลของการภาวะการเก็บรักษาที่มีต่อคุณภาพของหมูหัน	23
	ผลของวิตามินอีที่มีต่อคุณภาพของหมูหัน	30
	ผลของกระบวนการไฮโดรจีเนชันที่มีต่อคุณภาพของหมูหัน	35
	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการเหม็นหืนในหมูหัน ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันและการเติมวิตามินอี	40
<b>บทที่ 5</b>	<b>สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ</b>	<b>41</b>
	สรุปผลการวิจัย	41
	อภิปรายผล	41
	ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้	41
	ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	42
<b>บรรณานุกรม</b>		<b>43</b>
	บรรณานุกรมภาษาไทย	43
	บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	43
<b>ภาคผนวก</b>		<b>46</b>
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>		<b>55</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างกรดไขมันอิ่มตัวที่พบทั่วไป	5
2.2	ตัวอย่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบทั่วไป	7
2.3	เปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันที่นิยมใช้ปรุงอาหาร (ต่อ 100 กรัม)	9
4.1	สมบัติทางเคมีและกายภาพของหมูหันตัวอย่าง	23
4.2	สมบัติทางเคมีและกายภาพของหมูหันตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการออกซิเดชัน	25
4.3	ผลของวิตามินอีที่มีต่อคุณภาพของหมูหัน	31
4.4	ระยะเวลาในการเก็บรักษากับค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหันที่ผสมวิตามินอี	33
4.5	ผลของอัตราการไหลของไฮโดรเจนในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันต่อคุณภาพของหมูหัน	35
4.6	ผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันต่อคุณภาพของหมูหัน	37
4.7	ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันต่อคุณภาพของหมูหัน	38
4.8	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการเหม็นหืนในหมูหันด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันและการเติมวิตามินอี	40
ก-1	ความชื้นในตัวอย่างหมูหันก่อนการทดลอง	47
ก-2	ความชื้นในตัวอย่างหมูหันที่ภาวะการทดลองต่างๆ	47
ก-3	ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างหมูหันก่อนการทดลอง	51
ก-4	ค่าความเป็นกรด-ด่างของหมูหันที่ภาวะการทดลองต่างๆ	51
ก-5	ค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างหมูหัน	52
ก-6	ค่าไอโอดีนของตัวอย่างหมูหัน	54

## สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ ( $R^I$ , $R^{II}$ และ $R^{III}$ แทนหมู่ของ ไฮโดรคาร์บอน)	4
2.2	โครงสร้างของกรดปาล์มติก มี C 16 ตัว สายไฮโดรคาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยว	5
2.3	โครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัว มีพันธะคู่ 1 คู่	5
2.4	กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีโครงสร้างแบบ trans และแบบ cis	6
2.5	โครงสร้างของกรดโอเลอิก	6
2.6	โครงสร้างกรดลิโนเลอิก มีพันธะคู่ 2 คู่	7
2.7	โครงสร้างกรดลิโนเลนิก มีพันธะคู่ 3 คู่	7
2.8	ปฏิกิริยาการเติมเฮโลเจน	8
2.9	แสดงสมการปฏิกิริยาการเกิดออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนของกรดไขมันไม่อิ่มตัว	9
2.10	การเกิดมาลอนแอลดีไฮด์	12
2.11	ปฏิกิริยาระหว่างมาลอนแอลดีไฮด์กับ TBA	12
2.12	แสดงสมการปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว	13
4.1	ตัวอย่างหมูหันของ ต.ท่าข้าม อ.สามพราน จ.นครปฐม	22
4.2	การเก็บรักษาตัวอย่างหมูหันในสภาวะ ก) เกิดการออกซิไดซ์กับอากาศ ข) ไม่เกิดการออกซิไดซ์กับอากาศ	23
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของภาวะการเก็บรักษาที่มีต่อการสูญเสียความชื้นของหมูหัน	25
4.4	ผลของสภาวะการเก็บรักษาที่มีต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน	26
4.5	ผลของการออกซิเดชันที่มีต่อค่าความเป็นกรดของหมูหัน	27
4.6	ผลของการออกซิเดชันที่มีต่อค่าไอโอดีน	28
4.7	ปริมาณและเวลาในการสัมผัสวิตามินอีกับค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน	31
4.8	ระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหันผสมวิตามินอีปริมาณ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง โดยสัมผัสวิตามินอี 3 ชั่วโมง	32
4.9	ผลของอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนในการเกิดไฮโดรจีเนชันต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน	35
4.10	ผลของอุณหภูมิในการเกิดไฮโดรจีเนชันต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน	36
4.11	ผลของเวลาในการเกิดไฮโดรจีเนชันต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน	38

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญ

หมูหันจัดเป็นสินค้าขายดีของจังหวัดนครปฐม แต่ผู้จำหน่ายจะผลิตในปริมาณน้อยและรีบจำหน่ายให้หมดโดยเร็ว ไม่สามารถผลิตคราวละมากๆ เพื่อเก็บไว้ขายได้เป็นเวลานาน เนื่องจากหมูหันจะเกิดการเหม็นหืน สาเหตุการเหม็นหืนของหมูหัน เนื่องมาจากในหมูหันมีส่วนประกอบของน้ำมันและไขมันหมู ซึ่งในน้ำมันหมูนี้มีไขมันที่ไม่อิ่มตัว เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยออกซิเจนในอากาศเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ระหว่างอะตอมคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน เกิดเป็นสารเปอร์ออกไซด์ สารแอลดีไฮด์และกรดไขมันโมเลกุลเล็กๆ ซึ่งมีกลิ่นเหม็นหืน หรือเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส ระหว่างไขมันกับน้ำ โดยมีเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในอากาศเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันโมเลกุลเล็กๆที่ระเหยง่ายและมีกลิ่นเหม็น (Channona และคณะ, 2009) การป้องกันการเหม็นหืนของน้ำมันและไขมัน สามารถทำได้โดยการเก็บไขมันหรือน้ำมันในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ต้องปิดฝาภาชนะให้สนิท ไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจนและไอน้ำในอากาศเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส นอกจากการเก็บรักษาด้วยการแช่เย็นหรือแช่แข็งแล้ว ยังสารเคมีสังเคราะห์บางชนิดลงไป เช่น Butylated hydroxytoluene (BHT), butylated hydroxyanisole (BHA) สารทั้งสองชนิดเป็นสารประกอบประเภทฟีนอลซึ่งเป็นสารต้านออกซิเดชัน แต่การใช้สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์นี้ไม่เป็นที่ยอมรับเนื่องจากอาจเป็นอันตรายกับสุขภาพของผู้บริโภคได้ (Ortiz และคณะ, 2009) จึงมีการหันมาใช้สารต้านการออกซิเดชันจากธรรมชาติ เช่น วิตามินอี ซึ่งพบว่า การเติมวิตามินอีสามารถต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันและยืดอายุของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้ (อนุสรณ์ เจริญทอง, 2557) นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันการเหม็นหืนด้วยการทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Fernandez และคณะ, 2009) ซึ่งพบว่าน้ำมันที่ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันจะเหม็นหืนช้ากว่าน้ำมันที่ไม่ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน

ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยมีความประสงค์จะศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการเหม็นหืนในหมูหันด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันและการเติมวิตามินอี โดยผู้วิจัยมุ่งหวังว่าวิธีการที่ได้ศึกษานี้จะสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาการผลิตหมูหันของประชาชนชาวนครปฐมให้สามารถผลิตได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นและเก็บรักษาได้นานขึ้น เป็นการเพิ่มรายได้และความเข้มแข็งของชุมชน

## วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการเหม็นหืนในหมูหันด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันและการเติมวิตามินอี
2. เพื่อสร้างกระบวนการที่สามารถรักษาค่าของหมูหันและเพิ่มผลผลิตหมูหันให้แก่ชุมชน

## ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาไขมันและน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบในหมูหันตัวอย่าง ได้แก่ ปริมาณไขมันอิ่มตัว ไขมันไม่อิ่มตัว ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณน้ำ
2. ทดสอบค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าความเป็นกรด และปริมาณน้ำในหมูหันตัวอย่างที่ทดลองตามสถานะต่างๆ

## คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

กรดไขมัน (Fatty acids) คือกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) เป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งโมเลกุลของกรดไขมันประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล ( $\text{COOH}$ ) ซึ่งแสดงความเป็นกรด ต่ออยู่กับสายของไฮโดรคาร์บอน กรดไขมันในอาหารมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ ประมาณ 4-24 อะตอม

น้ำมันหมู (Lard) เป็นไขมัน (Hard fat) ที่ให้กลิ่นรสที่เป็นยอมรับของผู้บริโภค น้ำมันหมูประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 24-42 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 37-60 ทั้งนี้ในประเทศไทยซึ่งมีอุณหภูมิปกติ 30-32 องศาเซลเซียส น้ำมันหมูอยู่ในสภาพของเหลวจึงจัดเป็นน้ำมัน

ความเหม็นหืน (Rancidity) การเหม็นหืนของไขมันและน้ำมันเกิดจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวในไขมันและน้ำมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนบริเวณตำแหน่งพันธะคู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอนเกิดเป็นสารเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะสลายตัวเป็นแอลดีไฮด์และกรดไขมันโมเลกุลขนาดเล็กที่ระเหยง่ายและมีกลิ่นเหม็น

ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation reaction) การการเพิ่มไฮโดรเจน ให้กับโมเลกุลเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัวในสารอินทรีย์ คือมีพันธะคู่ที่อะตอมของคาร์บอน โดยอะตอมของไฮโดรเจนจะเข้าไปสร้างพันธะกับอะตอมของคาร์บอนจนเกิดพันธะเดี่ยวรอบๆ คาร์บอนครบ 4 พันธะ กระบวนการไฮโดรจีเนชันยังสามารถเปลี่ยนกรดไขมันไม่อิ่มตัวให้กลายเป็นกรดไขมัน

อิมตัวได้อีกด้วย แต่ในความเป็นจริงแล้ว กระบวนการนี้อาจเกิดได้ไม่สมบูรณ์มากนัก เนื่องจากในน้ำมันพืชมักมีกรดไขมันที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 พันธะ แต่ก็สามารถลดจำนวนของพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนในกรดไขมันนั้นได้

วิตามินอี (Vitamin E) หรือ โทโคเฟอรอล (Tocopherol) เป็นวิตามินชนิดหนึ่งที่ร่างกายจำเป็นต้องได้รับเป็นประจำทุกวัน มีลักษณะเป็นน้ำมันสีเหลือง และละลายได้ดีในไขมัน วิตามินอี มีหลายชนิด ได้แก่ แอลฟา ( $\alpha$ ) เบตา ( $\beta$ ) แกมมา ( $\gamma$ ) และดีลตา ( $\delta$ ) โทโคเฟอรอล โดยชนิดที่ออกฤทธิ์ได้ดีที่สุด คือ แอลฟาโทโคเฟอรอล (alpha-tocopherol)

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการเหม็นหืนในหมูหันด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันและการเติมวิตามินอี เพื่อนำไปใช้ในการรักษาคุณค่าของหมูหันและเพิ่มผลผลิตหมูหันให้แก่ชุมชนในจังหวัดนครปฐมได้ ผู้ใช้ประโยชน์ผลงานวิจัยนี้ได้แก่ นักวิชาการ และชุมชนที่ผลิตและจำหน่ายหมูหัน

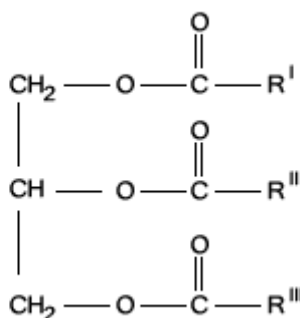
## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. กรดไขมัน (Fatty acids, FA)

ลิพิด (Lipid) เป็นกลุ่มของชีวโมเลกุลผสม (Heteromolecules) ที่มีคุณสมบัติเป็น amphiphilic molecule คือ ประกอบด้วยสายของไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) เป็นโครงสร้างส่วนใหญ่ของโมเลกุล และมีหมู่ที่มีขั้ว (Polar headgroups) ซึ่งมีคุณสมบัติความชอบน้ำ (Hydrophilicity) ให้ลิพิดละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น แอลกอฮอล์ อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม และ อะซีโตน แต่ไม่ละลายในน้ำ ลิพิดที่พบในธรรมชาติจะหมายถึง ลิพิดเชิงเดี่ยว (Simple lipid) ลิพิดเชิงซ้อน (Compound lipids) อนุพันธ์ของลิพิด (Derived lipid) และ ลิพิดเบ็ดเตล็ด (Miscellaneous lipid) ลิพิดเป็นสารที่ให้พลังงานสูงถึง 9 กิโลแคลอรี ต่อ 1 กรัมของลิพิด จึงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญมากต่อสิ่งมีชีวิต พบในสิ่งมีชีวิตในรูปของแหล่งสะสมพลังงาน หรือไขมันสะสม (Storage lipid) มากที่สุด ในรูปของลิพิดหรือไขมันโครงสร้าง (มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, 2557) และนอกจากนี้ไขมันยังทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึมของเซลล์เล็กอีกด้วย (คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล, 2536)

ในปฏิบัติการนี้จะทำการสกัดลิพิดเชิงเดี่ยว ได้แก่ ไขมันสะสม หรือ neutral fats ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา สร้างพันธะเอสเทอร์ระหว่างกรดไขมัน (Fatty acid) ที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 14 อะตอมขึ้นไป กับ แอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ โดยถ้าแอลกอฮอล์เป็นกลีเซอรอล (Glycerol) ลิพิดนั้นจะเป็นกลีเซอไรด์ เรียกว่า เอซิลกลีเซอรอล (Acyl glycerol) ซึ่งที่ภาวะอุณหภูมิห้อง กลีเซอไรด์ที่มีสถานะเป็นของแข็งจะเรียกว่า “ไขมัน” (Fats) ส่วนลิพิดที่มีสถานะเป็นของเหลวจะเรียกว่า “น้ำมัน” (Oils) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2010) ที่พบในพืชได้แก่ ไตรเอซิล กลีเซอรอล (Triacylglycerol) หรือ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งเกิดจากการที่หมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของกลีเซอรอล (Glycerol) ทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลของกรดไขมัน (Fatty acid) 3 โมเลกุล ซึ่งเป็นลิพิดที่พบมาก ที่สุดในธรรมชาติ (อนุสรณ์ เขตทอง, 2557)

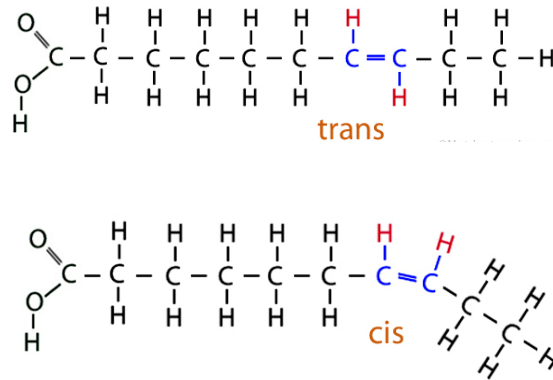


ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ ( $R^I$ ,  $R^{II}$  และ  $R^{III}$  แทนหมู่ของ ไฮโดรคาร์บอน)

ที่มา: <http://www.vcharkarn.com/lesson/1469>



ตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีโครงสร้าง 2 แบบ คือ แบบ *cis* และ *trans* ส่วนใหญ่กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีพันธะคู่อยู่ในรูปแบบ *cis*

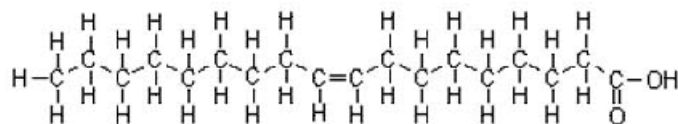


ภาพที่ 2.4 กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีโครงสร้างแบบ *trans* และแบบ *cis*  
ที่มา: <http://www.nutrientsreview.com/lipids/trans-fats.html>

กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีสูตรทั่วไปคือ  $C_nH_{2n+1}COOH$  โดยจำนวนของไฮโดรเจนจะถูกลดลงตามจำนวนพันธะคู่ที่อยู่ในโมเลกุล ถ้ามีพันธะคู่ 1 คู่ ไฮโดรเจนจะลดลง 2 โมเลกุล พันธะคู่ 2 คู่ ไฮโดรเจนจะลดลง 4 โมเลกุล และ ถ้าพันธะคู่ 3 คู่ ไฮโดรเจนจะลดลง 6 โมเลกุล (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2010)

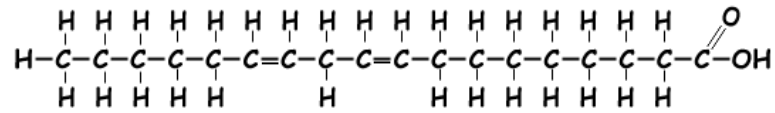
กรดไขมันไม่อิ่มตัวแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

2.1 Monounsaturated fatty acid หรือ Monoenoic fatty acid หรือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 คู่ เช่น กรดโอเลอิก (oleic acid) มีจำนวน C 18 อะตอม มีพันธะคู่ 1 คู่ เป็นกรดไขมันที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ

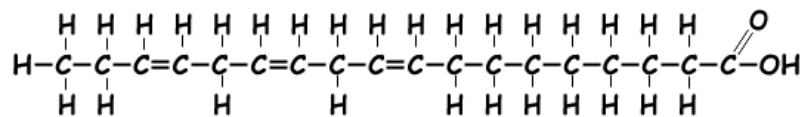


ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของกรดโอเลอิก  
ที่มา: [www.public.iastate.edu/~cfford/101Lipids.htm](http://www.public.iastate.edu/~cfford/101Lipids.htm)

2.2 Polyunsaturated fatty acid หรือ Polyenoic fatty acid หรือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มี พันธะคู่ตั้งแต่ 2 คู่ ขึ้นไป พันธะคู่ที่อยู่ในกรดไขมันต้องอยู่ห่างกัน 3 คาร์บอน ตัวอย่างเช่น กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) เป็นต้น



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างกรดลิโนเลอิก มีพันธะคู่ 2 คู่  
ที่มา: www.nap.edu



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างกรดลิโนเลนิก มีพันธะคู่ 3 คู่  
ที่มา: www.nap.edu

2.3 Ecosanoids เป็นอนุพันธ์ที่ได้จากกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มี C 20 อะตอม (eicosa =20) มีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ และ เป็นสารต้นตอ (Precursors) ของสารที่สำคัญต่าง ๆ ได้แก่ พรอสตาแกลนดิน พรอสตาซัยคลิน และธรอมบอกเซน

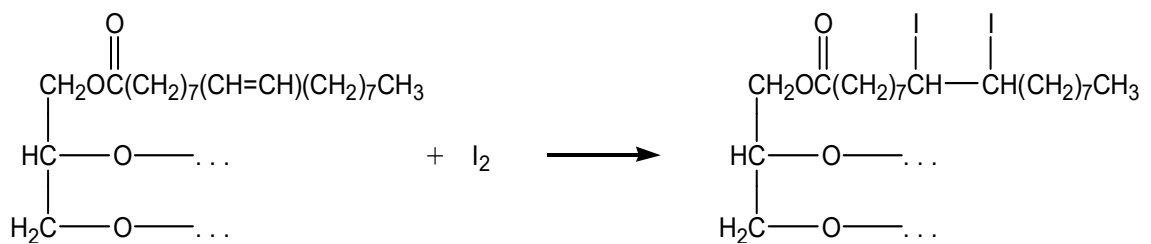
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบทั่วไป

โครงสร้าง	ชื่อสามัญ	แหล่งที่พบ
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Oleic acid	-น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ (เป็นกรดไขมันที่พบมากที่สุด ในสิ่งมีชีวิต)
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Linoleic acid	-น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	Arachidonic acid	-น้ำมันถั่วลิสง

### การเกิดฮาโลจีเนชัน (Halogenation)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวสามารถทำปฏิกิริยากับธาตุฮาโลเจนได้ โดยการเติมฮาโลเจนเข้าไปในพันธะคู่ ผลของปฏิกิริยาจะทำให้เกิดการพอกจากสีของสารละลายฮาโลเจน เรียกกระบวนการนี้ว่าฮาโลจีเนชัน สารที่เกิดขึ้นมีความสำคัญไม่มากนัก แต่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนำไปใช้วิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อหาว่าไขมันหรือน้ำมันนั้น ๆ มีความอิ่มตัวมากน้อยเพียงใด ปกติจะให้ทำปฏิกิริยากับไอโอดีน ( $\text{I}_2$ )

โดยนำไอโอดีนที่ทราบปริมาณแน่นอน และมีปริมาณมากเกินไปที่จะทำปฏิกิริยากับไขมันหรือน้ำมัน นั้น ๆ มาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม นำมาเติมลงในไขมันหรือน้ำมันที่ต้องการวิเคราะห์ แล้วปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ จากนั้นหาปริมาณไอโอดีนที่เหลือจากปฏิกิริยา จากข้อมูลที่ได้ และน้ำหนักของไขมันหรือน้ำมันที่ทราบ ทำให้สามารถคำนวณหาผลเป็นกรัมของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยากับไขมันหรือน้ำมันปริมาณ 100 กรัมได้ ค่าที่ได้เรียกว่า ไอโอดีนนัมเบอร์ (Iodine number) ยกตัวอย่าง เช่น ถ้าไขมันหรือน้ำมันที่นำมาทดสอบมีความไม่อิ่มตัวสูง จะทำปฏิกิริยากับไอโอดีนได้มาก ดังนั้นค่าไอโอดีน นัมเบอร์ก็จะมีค่าจะสูงด้วย นอกจากนี้ยังอาจใช้สารละลายโบรมีน (Br<sub>2</sub>) หยดลงในไขมันหรือน้ำมันเพื่อหาจำนวนหยดของสารละลายโบรมีนที่ใช้ ถ้าไขมันหรือน้ำมันสามารถพอกจากสีสารละลายโบรมีนได้มาก แสดงว่าไขมันหรือน้ำมันนั้นมีความไม่อิ่มตัวสูง



ภาพที่ 2.8 ปฏิกิริยาการเติมเฮโลเจน

## 2. มันหมู (Lard)

Lard คือ Pig fat ซึ่งคือ น้ำมันหมู ซึ่งมีระดับไขมันแตกต่างกัน ขึ้นกับว่านำมาจากส่วนใดของหมู และผ่านกระบวนการใดหรือไม่ ในความเป็นจริงปริมาณไขมันในน้ำมันหมูใกล้เคียงกับในน้ำมันพืช ดังแสดงในตารางด้านล่าง และไม่มีไขมันแบบทรานส์ (Trans fat) แต่ น้ำมันหมูไม่เป็นที่นิยมเนื่องจาก

1. มีระดับไขมันแบบอิ่มตัวที่สูงมาก คือสูงกว่าน้ำมันพืชจากทานตะวัน, ถั่วเหลือง, มะกอก, ข้าวโพด แต่มีระดับไขมันแบบอิ่มตัวน้อยกว่าน้ำมันปาล์ม;
2. มีระดับ cholesterol สูง
3. ผู้บริโภคระดับความพึงพอใจต่ำ เพราะเป็นผลิตภัณฑ์จากสัตว์

ดังนั้นหากบริโภคน้ำมันหมูในปริมาณมาก จะมีโอกาสเป็นไปได้ว่าผู้บริโภคจะมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากมี Cholesterol สูง และทำให้มีโอกาสป่วยเป็นโรคหลอดเลือดและหัวใจ (cardiovascular disease) ได้มากกว่าการบริโภคน้ำมันพืชจากการประกอบอาหาร

นอกจากนี้ได้มีบทความแนะนำด้านอาหารของ WHO Europe ได้สรุปว่า อาหารที่มี ไขมันอิ่มตัวสูง เช่น น้ำมันหมู หรือน้ำมันพืชที่ผ่านการ hydrogenation ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีไขมันสูง เช่น เนย, ครีม, ชีสบางชนิด และเนื้อที่มีไขมันสูง เช่น เนื้อวัว, หมู, แกะ มีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดโรคหลอดเลือดและหัวใจ มะเร็งบางชนิด และโรคอ้วน



ปริมาณเปอร์ออกไซด์ (Buege และคณะ, 1978) ที่เกิดขึ้นในน้ำมันนั้น มีค่ามาตรฐานที่ องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) กับองค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดไว้ว่าไม่ควรเกิน 10 mill equivalent oxygen ต่อ น้ำมัน 1 กิโลกรัม (meq oxygen / kg oil) โดยน้ำมันที่มีค่าเปอร์ออกไซด์เกินค่าที่กำหนด ไม่ควรใช้ในการบริโภค

โดยปริมาณเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) สามารถหาได้ตามวิธีของ American Oil Chemistry Society (AOAC, 1971) คือ Iodometric titration method โดยให้เปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไอโอไดด์ จะได้ไอโอดีน (I<sub>2</sub>) ซึ่งเป็นสารละลายที่มีสีน้ำตาล เมื่อมีน้ำแบ่งอยู่ในสารละลายไอโอดีน ซึ่งน้ำแบ่งนี้จะทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์ จะแทรกเข้าไปในโมเลกุลแบ่งจะให้สีน้ำเงิน โดยเมื่อเติมโซเดียมไธโอซัลเฟตในสารละลายนี้ จะเกิดปฏิกิริยากับไอโอดีน ได้เป็นโซเดียมไอโอไดด์ (NaI<sub>2</sub>) จุดที่ปริมาณของไอโอดีนทำปฏิกิริยาพอดีกับปริมาณของโซเดียมไธโอซัลเฟต สังเกตได้จากสารละลายสีน้ำเงินเปลี่ยนเป็นไม่มีสี

ปริมาณของเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นนั้น สามารถคำนวณได้จากสมการของ Heldrich (Heldrich, 1990) ดังนี้

$$\begin{aligned} PV &= \frac{\text{meq. thio}}{\text{kg sample}} \\ &= \frac{N \text{ thio} \times V \text{ thio}}{\text{kg sample}} \\ &= \frac{(0.005 \times ) \times (V_S - V_B) \times 1000 \text{ meq.}}{\text{Ml g sample}} \\ &= \frac{5 \times (V_S - V_B)}{\text{g sample}} \end{aligned}$$

กำหนดให้  $V_S$  = ปริมาตร  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้ในการไทเทรตสารตัวอย่าง

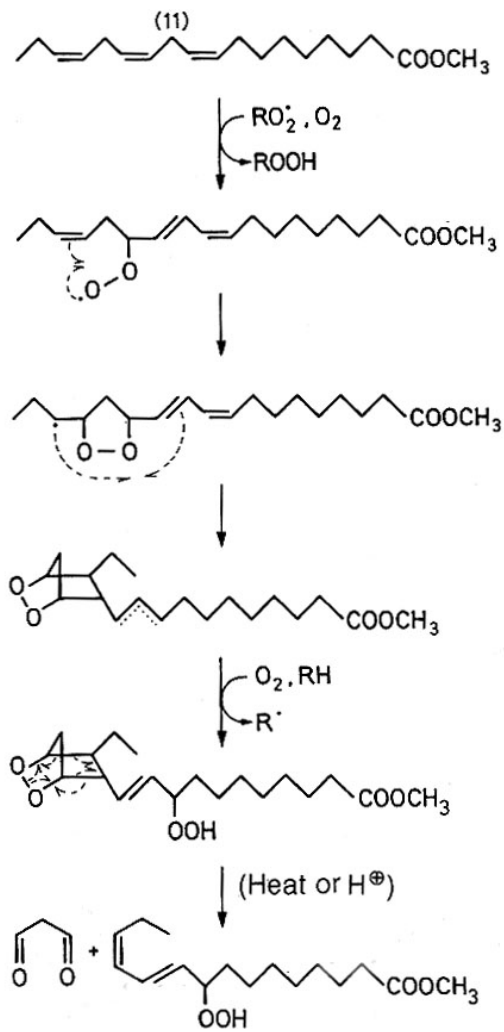
$V_B$  = ปริมาตร  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้ในการไทเทรต blank

$$\text{หรือ } \text{Peroxide Value} = \frac{\text{Normality ของ } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times \text{ปริมาณ } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ ที่ใช้}}{\text{น้ำหนักของน้ำมัน (g)}} \times 1000$$

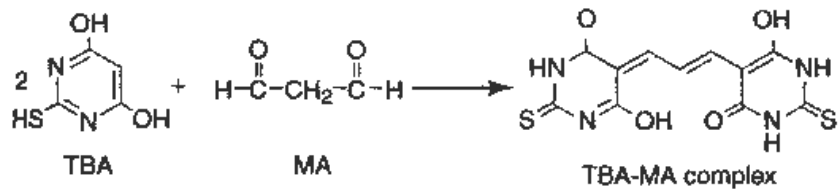
เนื่องจากเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาจึงมีปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีปริมาณและที่เวลานานขึ้นเปอร์ออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้สารต่างๆ เกิดขึ้นหลายชนิดดังได้กล่าวมาแล้วในกลไกการเกิดออกซิเดชัน จึงมีปริมาณเปอร์ออกไซด์ลดลง ดังนั้นการตรวจหาปริมาณเปอร์ออกไซด์เพียงชนิดเดียวจึงไม่สามารถนำมาใช้ในการสรุประดับการเกิดออกซิเดชันของลิพิดได้จึงต้องมีการตรวจสอบหาปริมาณสารที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจากเปอร์ออกไซด์ซึ่งส่วนใหญ่ คือแอลดีไฮด์ ซึ่งการประเมินหาปริมาณแอลดีไฮด์ อาจหาโดยวิธีหาค่าแอนนิซิดีน (Anisidine value) หรือหาค่า Thiobabituric acid reactive

substances (TBARS) หรืออาจหาปริมาณสารคาร์บอนิลซึ่งเป็นปริมาณโดยรวมของสารแอลดีไฮด์ คีโตน และกรดอินทรีย์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิธีโครมาโตกราฟีในการหาปริมาณสาร แอลดีไฮด์ได้อีกด้วย

การหาค่า TBARS เป็นวิธีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในการตรวจวัดสารที่เกิดขึ้น จากการแตกตัวของเปอร์ออกไซด์ โดยเน้นแอลดีไฮด์ที่ได้จากกรดไขมันที่มีคาร์บอนไม่อิ่มตัวมากกว่า 2 ตำแหน่ง คือ มาลอนแอลดีไฮด์ (MA) เป็นหลัก ปฏิกิริยาการเกิดมาลอนแอลดีไฮด์ดังภาพที่ 2.10 การตรวจวัดเป็นการตรวจวัดสารมีสีชมพูถึงสีแดงที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างมาลอนแอลดีไฮด์ จำนวน 1 โมล กับ 2-thiobabutaric acid (TBA) จำนวน 2 โมล ดังภาพที่ 2.11 โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารที่เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นแสง 532 นาโนเมตร และสามารถทำได้หลายวิธีคือ วิธีที่ 1 เป็นการทำให้ปฏิกิริยาระหว่าง TBA กับแอลดีไฮด์ที่ได้จากอาหาร โดยการใส่กรดไตรคลอโรอะซิติกหรือกรด ออโทพอสฟอริกเป็นสารสกัด วิธีที่ 2 เป็นการทำให้ปฏิกิริยาระหว่างแอลดีไฮด์ที่ได้จากส่วนหนึ่งของสาร ที่สกัดจากตัวอย่างโดยการกลั่นด้วยน้ำภายใต้สภาวะที่เป็นกรดกับ TBA วิธีที่ 3 เป็นการวิเคราะห์โดยใช้ไขมันหรือน้ำมันที่สกัดจากตัวอย่างอาหาร สำหรับการเตรียมสารละลาย TBA ในอดีตเตรียมในกรด น้ำส้มเข้มข้น (glacial acetic acid) แต่ปัจจุบันใช้วิธีละลายในน้ำ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในอดีต เรียกว่า thiobabutaric acid number (TBA) โดยระบุเป็นจำนวนมิลลิกรัมหรือไมโครโมล ของมา ลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมของตัวอย่างหรือต่อ 1 กรัมของน้ำมันหรือไขมัน แต่เนื่องจากแอลดีไฮด์ที่ เกิดขึ้นและสกัดได้ไม่ใช่เฉพาะมาลอนแอลดีไฮด์ชนิดเดียว ยังมีแอลดีไฮด์ชนิดอื่นที่ทำปฏิกิริยากับ TBA แล้วให้สีเช่นเดียวกับมาลอนแอลดีไฮด์ นักวิทยาศาสตร์จึงระบุเป็นค่า TBARS และมีหน่วยเป็น เทียบเท่ามิลลิกรัมของมาลอนแอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง แต่ละวิธีใช้ตรวจสอบอาจจะได้ค่า TBA ที่ แตกต่างกัน รวมทั้งอาจจะมีสารอื่นที่ไม่เกี่ยวกับปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิปิดเกิดปฏิกิริยา เช่นเดียวกัน จึงควรวิเคราะห์และทำกราฟมาตรฐานและทำ Recovery ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ด้วย



ภาพที่ 2.10 การเกิดมาลอนแอลดีไฮด์



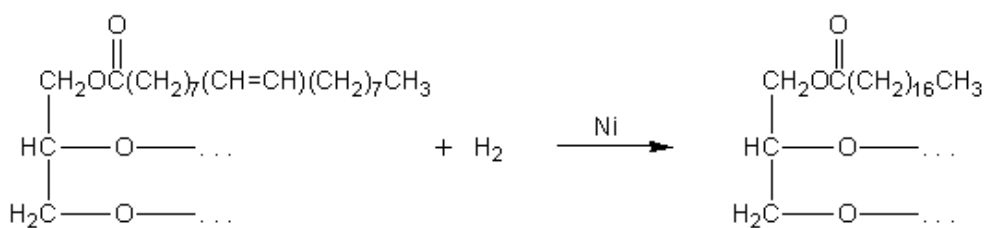
ภาพที่ 2.11 ปฏิกริยาระหว่างมาลอนแอลดีไฮด์กับ TBA

### การป้องกันการเหม็นหืน

1. การเก็บไขมันหรือน้ำมันโดยไม่ให้เกิดการเหม็นหืน หรือชะลอการเหม็นหืนให้ช้าที่สุด จะต้องเก็บในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ต้องปิดฝาภาชนะให้สนิท ไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจนและไอน้ำในอากาศเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส
2. ในธรรมชาติจะมีวิตามินอี ช่วยป้องกันการเหม็นหืนได้
3. น้ำมันพืชมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าไขมันสัตว์ จึงน่าจะเหม็นหืนง่ายกว่าไขมันสัตว์ แต่มีการเติมสารเคมีบางชนิดลงไป เช่น BHT, BHA เพื่อป้องกันการเหม็นหืน สารทั้งสองชนิดเป็นสารประกอบประเภทฟีนอล

### 4. ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation)

เป็นการเติมไฮโดรเจนเข้าไปยังคาร์บอน ณ ตำแหน่งที่ไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน ทำให้กรดไขมันเปลี่ยนจากชนิดที่ไม่อิ่มตัวมาเป็นชนิดที่อิ่มตัว ทำให้เปลี่ยนจากน้ำมันมาเป็นไขมันเนื่องจากเมื่อกรดไขมันอิ่มตัวมากขึ้นจุดหลอมเหลวจะเพิ่มขึ้น จึงทำให้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง ซึ่งนิยมใช้ในการทำเนยขาวและเนยเทียม อย่างไรก็ตามระหว่างกระบวนการทำไฮโดรจีเนชันจะทำให้กรดไขมันจำนวนหนึ่งถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปทรานส์ไอโซเมอร์ การผลิตเนยขาวหรือเนยเทียมในระดับอุตสาหกรรมมีการผ่านก๊าซไฮโดรเจนที่ความดันสูงลงน้ำมันโดยใช้ไอออนของโลหะหนัก เช่น นิกเกิล หรือแพลตตินัมเป็นสารเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน ใช้บอกว่า Fatty Acid /Oil ตัวนี้มี พันธะคู่หรือไม่เป็นการเพิ่มความอิ่มตัวของน้ำมันโดยให้ทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจน โดย 1 พันธะคู่ของคาร์บอน จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนได้ 2 อะตอม แต่ไฮโดรเจนเป็น Inert gas ซึ่งวัดยาก จึงไม่ใช้เป็นฐานในการวัดความไม่อิ่มตัว (พันธะคู่) (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2010)



ภาพที่ 2.12 แสดงสมการปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว

### 5. วิตามินอี (Vitamin E)

วิตามินอี หรือ โทโคเฟอรอล (Tocopherol) เป็นวิตามินชนิดหนึ่งที่ร่างกายจำเป็นต้องได้รับเป็นประจำทุกวัน โดยวิตามินอีละลายได้ดีในไขมันเช่นเดียวกับวิตามินเอ วิตามินดี และวิตามินเค วิตามินอี มีหลายชนิด ได้แก่ แอลฟา เบตา แกมมา และซิกมา โทโคเฟอรอล โดยชนิดที่ออกฤทธิ์ได้ดีที่สุด คือ แอลฟาโทโคเฟอรอล (Alpha-Tocopherol) (ทศพล จันทรดี, 2013)

## ประโยชน์ของวิตามินอี

1. วิตามินอี เป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพ (Potent Antioxidant) ซึ่งมีผลในการป้องกันการทำลายเซลล์ หรือลดความเสี่ยงของอวัยวะต่างๆ ที่มีสาเหตุมาจากอนุมูลอิสระได้ จึงช่วยชะลอความแก่ได้

2. วิตามินอี ช่วยปกป้องการเสื่อมสลายของเยื่อหุ้มเซลล์ (Stabilize) ที่บุอยู่ตามอวัยวะต่างๆ เช่น ผิวหนัง ตา ตับ เต้านม หลอดเลือด และเม็ดเลือดแดง ทำให้อวัยวะดังกล่าวทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและมีความคงทนมากขึ้นด้วย เพราะวิตามินอีทำให้ผนังเซลล์ทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดี

3. วิตามินอี ช่วยป้องกันการเกิดสารไนโตรซามีน (Nitrosamines) ยังเป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง โดยเกิดจากการทำปฏิกิริยาของสารจำพวกไนโตรที่ที่มีในอาหารที่รับประทานเข้าไปภายในกระเพาะอาหาร นอกจากนี้มีผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าวิตามินอียังมีผลช่วยยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งได้

4. วิตามินอี มีคุณสมบัติช่วยลดการเกิดกระบวนการออกซิเดชันของไขมันชนิด LDL (Low Density Lipoprotein) ซึ่งเป็นไขมันชนิดเลวในเลือด ที่จะส่งผลทำให้เส้นเลือดเกิดความเสียหายอย่างมาก และช่วยลดการเกาะตัวกันของเกล็ดเลือด (Platelet Aggregation) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจดีขึ้น และยังช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคระบบหลอดเลือดหัวใจรวมถึงหลอดเลือดสมองด้วย

5. วิตามินอี ช่วยลดระดับของอนุมูลอิสระในน้ำอสุจิ จึงทำให้ผนังเซลล์อสุจิแข็งแรงขึ้น และส่งผลให้มีอัตราการตั้งครรภ์เพิ่มขึ้นถึง 30% แต่ก็อาจไม่ปรากฏผลหากคนนั้นเป็นคนสูบบุหรี่ เนื่องจากการสูบบุหรี่เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งจะทำลายความแข็งแรงของอสุจิ และอาจทำให้อวัยวะต่างๆ ในร่างกายเสื่อมโทรมลง

6. มีสถาบันโรคผิวหนังหลายแห่งมีการวิจัยพบว่า วิตามินอีช่วยป้องกันผิวจากการไหม้เกรียม ริ้วรอยเหี่ยวย่นและรอยแผลได้ดี วิตามินอีจะทำหน้าที่เหมือนฟองน้ำที่ดูดซับสารอนุมูลอิสระก่อนที่จะทำให้ เนื้อเยื่อต่างๆ เสียหาย จึงช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของผนังเซลล์ทำให้เซลล์ผิวแข็งแรงขึ้น และช่วยให้ทนต่อรังสี UV ในแสงแดดได้ดีขึ้น ดังนั้นผู้ผลิตเครื่องสำอางจึงนิยมนำวิตามินอีมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์

ร่างกายคนเราต้องการวิตามินอีอยู่ทุกวันละ 10-15 IU (Vitamin E: alpha-tocopherol 1 mg จะเท่ากับ 1.49 I.U.) เป็นวิตามินที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อยมาก แต่ก็ขาดไม่ได้ ในทางกลับกัน หากได้รับมากเกินไป 30- 200 เท่าของปริมาณที่แนะนำ และกินติดต่อกันเป็นเวลานานๆ จะทำให้มีอาการเริ่มตั้งแต่ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย คลื่นไส้ ซึม จนกระทั่งริมฝีปากอักเสบ และกล้ามเนื้อไม่มีแรง ไม่ควรรับประทานอาหารเสริมประเภทวิตามินอีมากกว่า 1,500 IU ต่อวัน

## น้ำมันและไขมันที่มีคุณภาพดี

นอกจากนี้ น้ำมันและไขมันที่สามารถบริโภคได้ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานขององค์การอาหารและยา (อย.) (กระทรวงสาธารณสุข, 2543) ได้แก่

(1) มีค่าของกรด (Acid Value) คิดเป็นมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อ น้ำมันหรือไขมัน 1 กรัม

- (1.1) ได้ไม่เกิน 4.0 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ
  - (1.2) ได้ไม่เกิน 0.6 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี
  - (1.3) ได้ไม่เกิน 4.0 สำหรับน้ำมันและไขมันผสมซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ
  - (1.4) ได้ไม่เกิน 0.6 สำหรับน้ำมันและไขมันผสมซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี
  - (1.5) ได้ไม่เกิน 1.0 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธีผสมกับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ
- (2) มีค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value) คิดเป็นมิลลิกรัมสมมูลต่อน้ำมันและไขมัน 1 กิโลกรัม ได้ไม่เกิน 10
- (3) มีน้ำและสิ่งที่ระเหยได้ (Water and Volatile Matter) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของน้ำหนัก
- (4) มีปริมาณสบู่ (Soap Content) ได้ไม่เกินร้อยละ 0.005 ของน้ำหนัก
- (5) มีสิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (Insoluble Impurities) ได้ไม่เกินร้อยละ 0.05 ของน้ำหนัก
- (6) มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของน้ำมันและไขมัน ยกเว้นน้ำมันและไขมันผสม
- (7) ไม่มีกลิ่นหืน
- (8) ตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินที่กำหนด ดังต่อไปนี้
- (8.1) ไม่พบน้ำมันแร่ (Mineral oil)
  - (8.2) เหล็ก
    - ในน้ำมันหรือไขมันธรรมชาติและในน้ำมันหรือไขมันผสมไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม
    - ในน้ำมันหรือไขมันผ่านกรรมวิธีไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม
  - (8.3) ทองแดง
    - ในน้ำมันหรือไขมันธรรมชาติและในน้ำมันหรือไขมันผสมไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม
    - ในน้ำมันหรือไขมันผ่านกรรมวิธีไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม
  - (8.4) ตะกั่ว ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม
  - (8.5) สารหนู ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม
  - (8.6) อฟลาท็อกซิน (Aflatoxin) ไม่เกิน 20 ไมโครกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน
  - (8.7) ไฮโคลโพรพีนอยด์ แพตตีแอซิด (Cyclopropenoid Fatty Acid) ไม่เกินร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก

## เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Channona และคณะ (2002) ศึกษาการป้องกันการเหม็นหืนของผลิตภัณฑ์จากเนื้อหมู โดยการเติมวิตามินอี (Tocopherol) ที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 0-1000 mg/kg ทดลองเป็นระยะเวลา 37 สัปดาห์ โดยจะวัดค่า TBARS และดมกลิ่น ใช้เวลาในการทดลอง 7, 14, 27 และ 37 สัปดาห์ โดยตัวอย่างจะถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $-18^{\circ}\text{C}$  จากการศึกษาพบว่า วิตามินอีส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

Ortiz และคณะ (2009) ศึกษาการการต้านทานการเหม็นหืนของปลาแซลมอนโดยใช้สารต้านทานการเกิดอนุมูลอิสระทั้งแบบสังเคราะห์ คือ BHT-Ethoxyquin Mixture และแบบธรรมชาติ คือ Tocopherol Isomers-Rich Mixture และ Tocopherol Isomers-Rosemary Extract Mixture ตัวอย่างจะถูกเก็บแช่แข็งที่อุณหภูมิ  $-18^{\circ}\text{C}$  จากการศึกษาพบว่าสารต้านทานการเกิดอนุมูลอิสระทั้งแบบสังเคราะห์จะให้ผลการต้านทานการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าแบบธรรมชาติ และพบว่าเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสลดลงในการใช้สารต้านทานการเกิดอนุมูลอิสระทั้งสองแบบ

Gallardo และคณะ (2015) ทำการศึกษาผลของการเติมวิตามินอีทั้งแบบธรรมชาติและแบบสังเคราะห์ในอาหารที่ใช้เลี้ยงแม่แกะ และศึกษาคุณภาพของเนื้อแกะ พบว่าการเติมวิตามินอีธรรมชาติและวิตามินอีสังเคราะห์  $400\text{ mg Kg}^{-1}$  ในอาหารเลี้ยงแกะไม่มีผลต่อปริมาณกรดไขมันในน้ำมันแกะ แต่พบว่าวิตามินอีที่เป็นแบบธรรมชาติจะมีการดูดซึมมากกว่าวิตามินอีแบบสังเคราะห์ 2.73 เท่า แต่ปริมาณวิตามินอีทั้งสองแบบที่เติมลงไปส่งผลให้การเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อแกะมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานต่ำสุดที่สามารถเกิดความเหม็นหืนได้

Telegdy และคณะ (1968) ได้ศึกษากลไกในการต้านอนุมูลอิสระของ  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, และ  $\delta$ -Tocopherol ในน้ำมันหมู การศึกษาอุณหภูมิในการต้านอนุมูลอิสระของ 0.2 % Tocopherols พบว่า ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระอุณหภูมิระหว่าง 20 และ 60  $^{\circ}\text{C}$  เรียงลำดับได้ดังนี้  $\alpha$ -T >  $\gamma$ -T >  $\beta$ -T >  $\delta$ -Tocopherol และที่อุณหภูมิระหว่าง 80 และ 120  $^{\circ}\text{C}$  ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ เรียงลำดับได้ดังนี้  $\delta$ -T >  $\gamma$ -T >  $\alpha$ -T >  $\beta$ -Tocopherol

Parkhurst และคณะ (1968) ศึกษาความเสถียรของการออกซิไดส์ (ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา) ของวิตามินอีในน้ำมันหมูที่กลั่นภายใต้ภาวะสุญญากาศ น้ำมันหมูจะถูกเติมด้วยวิตามินอีในเอทานอล ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่  $\alpha$ -tocopherol เข้มข้น 0, 50, 200, 300 และ 650 ppm  $\gamma$ -tocopherol เข้มข้น 0, 50, 100, 400, 450 และ 600 ppm  $\delta$ -tocopherol เข้มข้น 0, 25, 100, 250, 300 และ 500 ppm จากนั้นระเหยเอทานอลออกจากสารตัวอย่างด้วยสุญญากาศ ให้ความร้อนที่  $97 \pm 0.25^{\circ}\text{C}$  สังเกตความดันที่เปลี่ยนแปลงและปริมาณออกซิเจนที่ใช้ พบว่าประสิทธิภาพในเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเรียงลำดับได้ดังนี้  $\gamma$ -Tocopherol >  $\delta$ -Tocopherol >  $\alpha$ -Tocopherol

Cort และคณะ (1974) ศึกษาการใช้วิตามินอีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า 0.02, 0.05 และ 0.2%, DL- $\gamma$ -Tocopherol เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในไขมันไก่และหมูที่ดีกว่า DL หรือ D- $\alpha$ -tocopherol และ พบว่า DL- $\gamma$ -Tocopherol เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในไขมันวัวที่ความเข้มข้น 0.02 % ดีกว่า DL หรือ D- $\alpha$ -Tocopherol อีกการทดลองหนึ่งได้ใช้ไขมันไก่ หมู และวัว 2.0 กรัม

จากนั้นหา Tocopherols เป็นชั้นบางๆ เก็บไว้ที่ 45 °C ทำการวัดค่า Peroxide Value (PV) ทุกวัน จนกระทั่งค่า PV เป็น 20 mequiv/kg animal fat จากการศึกษาพบว่า  $\gamma$ -Tocopherol แสดงความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า  $\alpha$ -Tocopherol ในการป้องกันไขมันสัตว์จากการถูกออกซิไดซ์

Kanno และคณะ (1970) ศึกษาการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของ Tocopherols ในการป้องกันการออกซิไดซ์ของไขมันนม ที่ 50 °C ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ Tocopherol เมื่อค่า PV เท่ากับ 30 mequiv/kg พบว่าที่ 0.001%  $\gamma$ -T >  $\beta$ -T >  $\delta$ -T >  $\alpha$ -T, และที่ 0.003%  $\alpha$ -T >  $\gamma$ -T >  $\beta$ -T >  $\delta$ -T, ที่ 0.01%  $\gamma$ -T >  $\delta$ -T >  $\beta$ -T >  $\alpha$ -T และเมื่อความเข้มข้นมากกว่า 0.05%  $\delta$ -T >  $\gamma$ -T >  $\beta$ -T >  $\alpha$ -T. โดย  $\alpha$ -Tocopherol ที่ความเข้มข้น 0.003%, ต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่า tocopherols ชนิดอื่นที่ระดับเดียวกัน

Hou และคณะ (2013) ศึกษาการผลของวิตามินอีที่มีต่อนมถั่วเหลือง โดยการใช้วิตามินอีที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 0 (Control), 0.5, 1.0 และ 2.0 mg/80 ml. จากการศึกษาพบว่า ปริมาณ Acetate, Total Volatile Fatty Acid (VFA), และ Ratio of Acetate to Propionate เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของวิตามินอีเพิ่มขึ้น และพบว่าวิตามินอีไม่มีผลต่อค่า pH

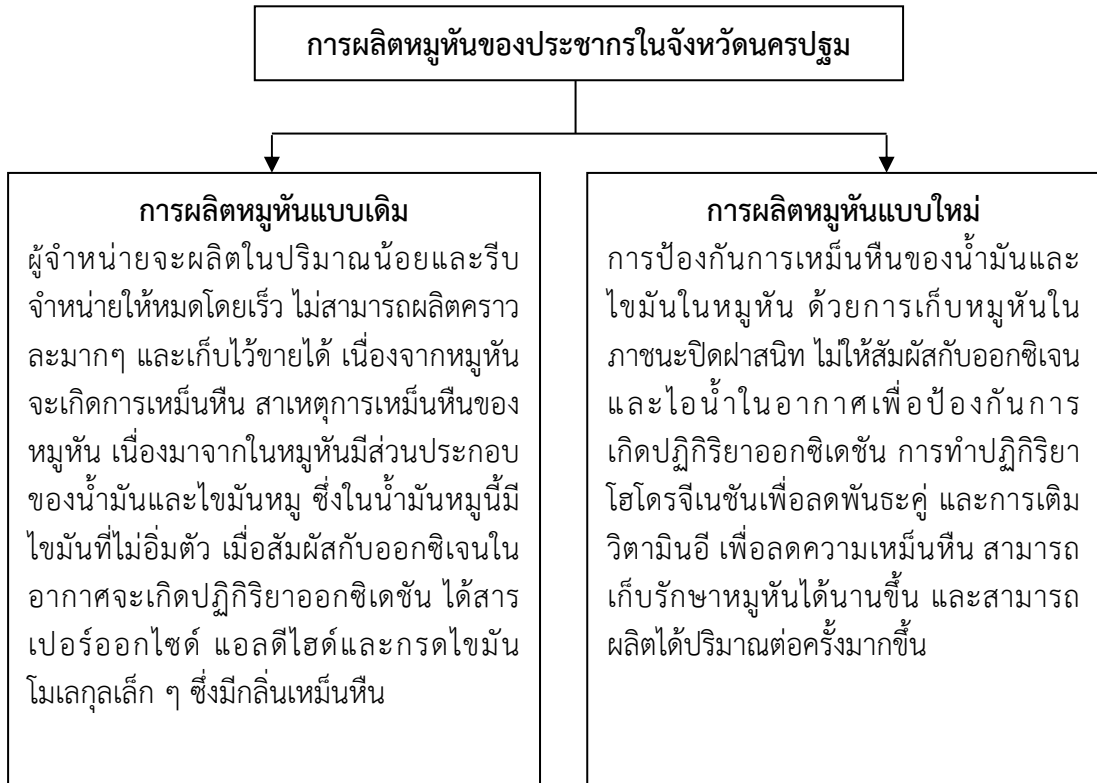
Silva และคณะ (2006) ศึกษาการป้องกันการเหม็นหืนของรำข้าวโดยการเติมแคลเซียม และการนึ่งบางส่วน ตัวอย่างข้าวจะถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 48 °C โดยทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของ Alcohol-Soluble และ Water-Soluble ของตัวอย่างทุกสัปดาห์ จากการศึกษาพบว่าวิธีการทั้งสองช่วยทำให้รำข้าวมีความเสถียรตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยวิธีหนึ่งบางส่วน ส่งผลดีต่อการเก็บรักษารำข้าวมากกว่า

Kardash-Strochkova และคณะ (2001) ศึกษาการหาค่าเปอร์ออกไซด์ด้วยเทคนิค Redox-Potentiometric Iodine Determination โดยไม่ทำการไทเทรต โดยให้ขั้นตอนการเกิดออกซิเจนของ KI รวมกับขั้นตอนการวัดค่า Redox-Potentiometric รวมกันอยู่ในเซลล์เดียว ค่าจำกัดของเทคนิคนี้อยู่ที่ 0.16 meq/kg เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่สามารถใช้วิเคราะห์น้ำมันที่กลิ่นใหม่ๆ ได้ ใช้เวลาและสารน้อย อีกทั้งสามารถพัฒนาให้เป็นระบบอัตโนมัติได้

Juitta และคณะ (2013) ได้ศึกษาทดลองเกี่ยวกับค่าเปอร์ออกไซด์และความไม่อิ่มตัวของน้ำมันละหุ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จากการทดลองพบว่า ค่าไอโอดีนจะลดลง เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เวลานานขึ้น

Fernandez และคณะ (2009) ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน ซึ่งพบว่าการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันจะเกิดได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และน้ำมันที่ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันจะเหม็นหืนช้ากว่าน้ำมันที่ไม่ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน

## กรอบแนวคิดในการวิจัย



## บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 สารเคมี และเครื่องมือวิเคราะห์

#### 3.1.1 สารเคมี

1. กรดแอซติกเข้มข้น ต่อ คลอโรฟอร์ม (Gacial Acetic Acid : Chloroform) อัตราส่วน 3 ต่อ 2
2. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) ความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล
3. น้ำกลั่น
4. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล
5. ไอโอดีน (I) ความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล
6. อินดิเคเตอร์น้ำแป้งสุก ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์
7. คลอโรฟอร์ม ต่อ เมทานอล (Chloroform : Methanol) อัตราส่วน 1 ต่อ 2
8. ไอโซโพรพานอล (Isopropanol)
9. กรดไทโอบาบิฟูริก (Thiobarbituric acid)
10. กรดไตรคลอโรอะซิติค (Trichloroacetic acid)
11. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)
12. มอลอนแอลดีไฮด์ บิส ไดมethyl อะเซทัล (Malonaldehyde bis dimethyl acetal: MDA)
13. วิตามินอี (Tocopherol)
14. แก๊สไฮโดรเจนเข้มข้น 10% (Hydrogen in Nitrogen)

#### 3.1.2 เครื่องมือ

1. ปีกเกอร์ (Beaker)
2. กระบอกตวง (Cylinder)
3. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
4. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร และ 1000 มิลลิลิตร
5. แหน่นยึดบิวเรตต์ (Burette Clamp)
6. บิวเรตต์ (Burette)
7. ปิเปตต์ (Pipette)
8. ลูกยาง (Rubber Bulb)
9. โกร่งและที่บด (Mortar, Pestle)
10. ถ้วยระเหยสาร (Evaporating Dish)
11. แท่งแก้ว (Stirring Rod)
12. พาราฟิล์ม (Parafilm)

13. หลอดเซนตริฟิวจ์ (Centrifuge Tube)
14. หลอดทดลอง (Test Tube)
15. หลอดทดลองพร้อมฝาเกลียว (Test Tube with Screw Cap)
16. หลอดหยด (Dropper)
17. เครื่องชั่ง (Balance)
18. เตาให้ความร้อน (Hotplate)
19. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
20. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)
21. เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)
22. รีแอกเตอร์ (Parr Reactor)
23. อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow Meter)

## 3.2 วิธีการทดลอง

### 3.2.1 การเติมวิตามินอี

นำตัวอย่างหมูหันที่หั่นเป็นรูปลูกเต๋า 5 กรัม ผสมกับวิตามินอี (Tocopherol) ในอัตราส่วนต่างๆ (0, 50, 100, และ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง) โดยให้วิตามินอีสัมผัสตัวอย่าง 1, 2 และ 3 ชั่วโมง จากนั้นเก็บในสภาวะต่างๆ เป็นระยะเวลา 1-5 วัน นำไปทดสอบปริมาณไขมันอิ่มตัวและไขมันไม่อิ่มตัว ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าความเป็นกรด และปริมาณน้ำ

### 3.2.2 กระบวนการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation)

ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ลงในภาชนะเซรามิกซ์แล้วบรรจุเข้าไปในรีแอกเตอร์แบบท่อปล่อยแก๊สไฮโดรเจนเข้มข้น 10% ที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 50, 100 และ 150 °C ด้วยอัตราการไหล 50, 100 และ 150 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้เวลาในการทดลอง 10, 20 และ 30 นาที หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำไฮโดรจีเนชัน

### 3.2.3 การสกัดน้ำมัน

ชั่งตัวอย่างหนัก 20 กรัม หั่นเป็นชิ้นเล็ก เติมคลอโรฟอร์ม ต่อ เมทานอล (อัตราส่วน 1 ต่อ 2) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร จากนั้นทิ้งไว้ให้ ตะกอนนอนกัน ดูดส่วนใสใส่หลอดทดลองเซนตริฟิวจ์ ทำซ้ำอีกครั้ง รวมส่วนใสทั้งหมด นำไปเซนตริฟิวจ์ ที่ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที เป็น เวลา 10 นาที นำส่วนใสที่ได้ใส่ในถ้วยระเหยสารที่ซึ่งทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว นำไประเหยเอาตัวทำละลายออก บนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนตัวทำละลายระเหย ออกจนหมด จากนั้น ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำถ้วยระเหยสารไปซึ่งหาน้ำหนักอีกครั้ง นำน้ำหนักที่ได้ลบด้วยน้ำหนักของถ้วยระเหย สารที่ ชั่งไว้ในตอนแรกแล้ว จะได้น้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ เติมไอโซโพรพานอลลงในถ้วยระเหยสาร เพื่อละลายน้ำมันที่สกัดได้ (ปริมาตรน้อยที่สุดเท่าที่ จะละลายน้ำมันที่ได้หมด) จากนั้นวัดปริมาตรที่ได้ เหน้มน้ำมันที่สกัดได้ใส่หลอดทดลองเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C

### 3.2.4 การวัดความเป็นกรด-ด่าง

ชั่งตัวอย่างหนัก 5 กรัม เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร ปั่นผสมตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียว วัดความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์

### 3.2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในอาหาร (AOAC Official Method 950.46)

อบถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา ซึ่งจนได้น้ำหนักคงที่ ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียม นำถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมตัวอย่างเข้าตู้อบความร้อนแห้ง เปิดฝาด้วยอะลูมิเนียมไว้เล็กน้อย อบที่อุณหภูมิ 100-102 °C ความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ปิดฝาด้วยอะลูมิเนียมให้สนิท ใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น (ประมาณ 1 ชั่วโมง) ชั่งน้ำหนักและอบจนได้น้ำหนักคงที่

### 3.2.6 การหาค่าเปอร์ออกไซด์

ชั่งน้ำมันตัวอย่างลงไปให้ได้ 5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมกรดแอสติคเข้มข้นต่อคลอโรฟอร์ม (อัตราส่วน 3 ต่อ 2) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ ให้เข้ากัน เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ ให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 30 มิลลิลิตร และเติมอินดิเคเตอร์น้ำแป้งสุก ความเข้มข้น 0.5 % ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ ให้เข้ากัน นำไปเก็บในที่มืดนาน 5 - 10 นาที จากนั้นนำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล จนกระทั่งสีน้ำเงิน จางหายไป จุดปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไป เพื่อนำไปใช้คำนวณต่อไป

ในส่วนของการทดลองเปรียบเทียบ (blank) ทำการทดลองโดยเติมกรดแอสติคเข้มข้น ต่อคลอโรฟอร์ม (อัตราส่วน 3 ต่อ 2) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ ให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ ให้เข้ากัน หลังจากนั้นเติม อินดิเคเตอร์น้ำแป้งสุก ความเข้มข้น 0.5 % ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ ให้เข้ากัน นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล จนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป จุดปริมาตรของ สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ เพื่อนำไปใช้คำนวณต่อไปตามสมการของ Helderich (Helderich, 1990) ดังนี้

$$\begin{aligned} PV &= \frac{\text{meq. thio}}{\text{kg sample}} \\ &= \frac{N \text{ thio} \times V \text{ thio}}{\text{kg sample}} \\ &= \frac{(0.005) \times (V_S - V_B) \times 1000 \text{ meq.}}{\text{Ml g sample}} \\ &= \frac{5 \times (V_S - V_B)}{\text{g sample}} \end{aligned}$$

กำหนดให้  $V_S$  = ปริมาตร  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้ในการไทเทรตสารตัวอย่าง

$V_B$  = ปริมาตร  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้ในการไทเทรต blank

หรือ Peroxide Value = 
$$\frac{\text{Normality ของ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times \text{ปริมาตร Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ที่ใช้}}{\text{น้ำหนักของน้ำมัน (g)}} \times 1000$$

### 3.2.7 การวิเคราะห์ค่าไอโอดีนตามวิธี AOAS, AOAC and IUPAC Wijs (Cyclohexane - Acetic acid Solvent) Method

การเตรียมสารเคมี: 15% KI solution: KI 15 กรัมในน้ำกลั่น 100 ml

Starch: นำแป้ง 1 กรัม ละลายในน้ำร้อน 200 ml

วิธีทดสอบคุณสมบัติน้ำแป้ง: นำน้ำแป้ง 5 ml ใส่ในน้ำกลั่น 100 ml แล้วเติม 0.1 M สารละลายไอโอดีน 0.05 ml สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินแล้วเมื่อไตเตรทด้วย 0.1M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ปริมาณ 0.05 ml สีน้ำเงินก็จะเปลี่ยนแปลงไป

วิธีทดสอบ 0.1M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : ชั่ง K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0.16 - 0.22 กรัม ใส่ลงใน Flask 500 ml เติมน้ำกลั่น 25 ml และ HCl 5 ml แล้วเติม 15%KI solution หมุนให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่นอีก 100 ml เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปไตเตรทด้วย Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่เตรียมไว้เขย่าให้เข้ากันแล้วไตเตรทจนได้สารละลายมีสีเหลืองอ่อน จากนั้นหยดน้ำแป้ง 1-2 หยดจากนั้นไตเตรทต่อจนสารละลายสีน้ำเงินหายไป คำนวณหาโมลาริตีของ Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

$$\text{โมลาริตีของสารละลาย Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{20.394 * \text{น้ำหนัก K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}{(\text{ปริมาตร Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ ที่ไตเตรท})}$$

3. Cyclohexane - Acetic Acid Solution: ผสม Cyclohexane กับ Acetic Acid อัตราส่วน 1:1

วิธีทดสอบคุณสมบัติ Cyclohexane - Acetic Acid Solution: นำสารละลาย Cyclohexane - Acetic Acid มา 10 ml ใส่ สารละลาย K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1.0 ml และ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เข้มข้น ปริมาตร 1.0 ml เมื่อผสมเข้ากันแล้วจะต้องไม่มีสีเขียว

วิธีทดสอบไอโอดีน

ละลายตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ทิ้งตัวอย่างไว้ให้เย็น ประมาณ 68 - 71 °C และทดสอบด้วยน้ำกลั่นตามวิธีเดียวกัน 2 ซ้ำ ชั่งตัวอย่าง ใส่สารละลาย Cyclohexane - acetic acid 15 ml เขย่าให้เข้ากันแล้วใส่สารละลาย Wijs 25 ml เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำสารละลายไปไว้ในห้องมืดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่เก็บไว้ขึ้นอยู่กับ การประมาณค่า IV ถ้าต่ำกว่า 150 ให้ไว้ในที่มืด 1 ชั่วโมง แต่ถ้าประมาณ 150 หรือมากกว่า 150 ให้ทิ้งไว้ในที่มืดนาน 2 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วนำสารละลายมาไตเตรทกับ 0.1M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ระหว่างไตเตรทควรเขย่าให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ ไตเตรทจนได้สารละลายสีเหลือง หยดน้ำแป้ง 1-2 หยด จากนั้นไตเตรทจนสีน้ำเงินของสารละลายจางหายไป นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณ ไอโอดีน ตามสูตร

$$IV = \{(B - S) * M * 1269\} / W$$

B = ml ของ 0.1M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่ไตเตรทน้ำกลั่น

S = ml ของ 0.1M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่ไตเตรทตัวอย่าง

M = น้ำหนักตัวอย่าง

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 ลักษณะทางกายภาพของหมูหัน

หมูหันตัวอย่างเป็นผลิตภัณฑ์หมูหันของ ต.ท่าข้าม อ.สามพราน จ.นครปฐม ซึ่งผลิตจากสุกรขนาดประมาณ 25 กิโลกรัม ทำการฆ่าสุกรและนำเครื่องในออกแล้วแทนที่ด้วยมัดสมุนไพร นำไปเสียบเหล็กหมุนด้วยมอเตอร์อย่างบนกองถ่านร้อนประมาณ 3 ชั่วโมง โดยหมุนตลอดเวลา ระหว่างย่างทาด้วยน้ำผสมสีผสมอาหารเพื่อความสวยงาม เมื่อสุกหนึ่งจะกรอบ ในการทดลองจะใช้หมูหันตัวอย่างส่วนลำตัว นำมาหั่นเป็นชิ้นลูกเต๋าขนาด 1x1 เซนติเมตร ตัวอย่างหมูหันแสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างหมูหันของ ต.ท่าข้าม อ.สามพราน จ.นครปฐม

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของตัวอย่างหมูหัน ได้แก่ ความชื้น ความเป็นกรดต่าง ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าไอโอดีน ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของหมูหันตัวอย่าง

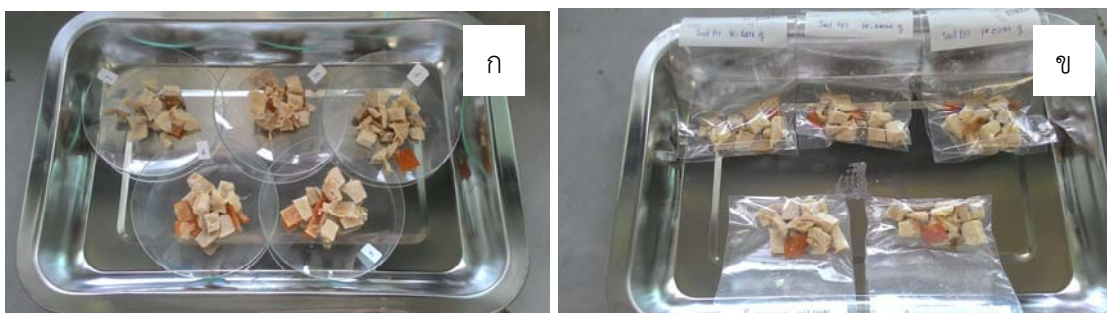
สมบัติ	ค่าแสดงสมบัติ
ความชื้น (%)	35.06
ค่าเปอร์ออกไซด์	2.00
ความเป็นกรด-ต่าง (pH)	6.48
เลขไอโอดีน	72

ค่าต่างๆ ที่แสดงในตารางที่ 4.1 สามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณความชื้น คือ ปริมาณของน้ำที่อยู่ในตัวอย่างหมูหัน ความชื้นจากตัวอย่างและความชื้นในอากาศจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส ระหว่าง

ไขมันกับน้ำ โดยมีเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในอากาศเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันโมเลกุลเล็กที่ระเหยง่ายและมีกลิ่นเหม็น ค่าเปอร์ออกไซด์ แสดงถึงการถูกออกซิไดซ์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ในโมเลกุล ด้วยออกซิเจนในอากาศ (auto-oxidation) ทำให้กรดไขมันเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ขนาดเล็ก สารเปอร์ออกไซด์ (peroxide) ที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอัลดีไฮด์ (fatty aldehydes) ซึ่งทำให้มีกลิ่นเหม็นหืน ส่วนเลขไอโอดีน (Iodine Number) แสดงถึงความไม่อิ่มตัวของไขมัน ถ้าน้ำมันมีเลขไอโอดีนมากแสดงว่าเป็นไขมันไม่อิ่มตัวมาก ค่าสมบัติเบื้องต้นนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหมูหันที่สภาวะการทดลองต่างๆ

#### 4.2 ผลของการภาวะการเก็บรักษาที่มีต่อคุณภาพของหมูหัน

ในการทดสอบผลของภาวะการเก็บรักษาที่มีต่อคุณภาพของหมูหันนี้สามารถศึกษาได้จากการเก็บรักษาตัวอย่างหมูหันในภาชนะเปิด (Opened System) ซึ่งตัวอย่างสัมผัสกับอากาศ สามารถเกิดการออกซิไดซ์ได้ โดยแบ่งเป็นการสัมผัสอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Opened System 25°C) และการสัมผัสอากาศที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Opened System 4°C) และการเก็บรักษาตัวอย่างหมูหันในสภาวะในภาชนะปิด (Closed System) ที่ไม่สัมผัสกับอากาศและไม่สามารถเกิดการออกซิไดซ์กับอากาศ โดยเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Closed System 25°C) และที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Closed System 4°C) ดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 การเก็บรักษาตัวอย่างหมูหันในสภาวะ ก) เกิดการออกซิไดซ์กับอากาศ ข) ไม่เกิดการออกซิไดซ์กับอากาศ

ตัวอย่างหมูหันจะถูกวัดความชื้น ค่าเปอร์ออกไซด์ ความเป็นกรด และไอโอดีน ทุก 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 120 ชั่วโมง ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.2

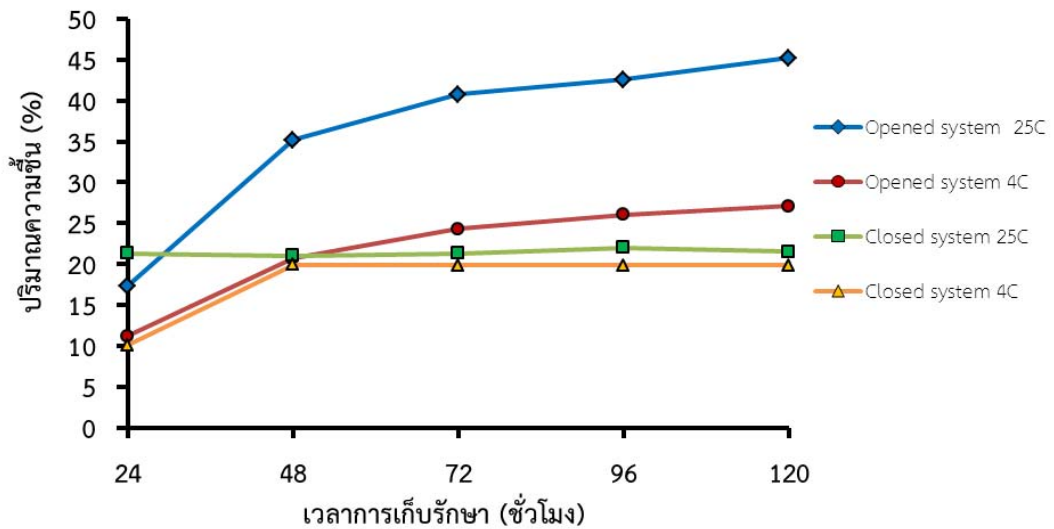
ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีและกายภาพของหมูหันตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการออกซิเดชัน

Sample	Moisture Content (%)	Peroxide value (Meq/Kg oil)	(pH)	Iodine Number (g Iodien/ 100g oil)
Opened System 25°C (24 h)	17.15 ± 0.98	2.00 ± 0.02	6.66 ± 0.01	39.0 ± 0.01
Opened System 25°C (48 h)	35.65 ± 0.52	2.50 ± 0.03	6.41 ± 0.01	43.0 ± 0.01
Opened System 25°C (72 h)	40.11 ± 0.54	2.89 ± 0.02	6.28 ± 0.01	41.0 ± 0.01
Opened System 25°C (96 h)	42.62 ± 1.80	2.95 ± 0.02	5.82 ± 0.01	38.0 ± 0.01
Opened System 25°C (120 h)	45.14 ± 0.58	3.34 ± 0.03	5.48 ± 0.01	42.0 ± 0.01
Opened System 4°C (24 h)	11.01 ± 0.37	1.45 ± 0.02	6.57 ± 0.01	47.0 ± 0.01
Opened System 4°C (48 h)	20.22 ± 0.64	1.92 ± 0.02	6.53 ± 0.01	45.0 ± 0.01
Opened System 4°C (72 h)	24.64 ± 0.75	1.96 ± 0.02	6.56 ± 0.01	48.0 ± 0.01
Opened System 4°C (96 h)	26.33 ± 0.65	1.95 ± 0.02	6.49 ± 0.01	45.0 ± 0.01
Opened System 4°C (120 h)	27.28 ± 0.23	2.43 ± 0.02	6.52 ± 0.01	46.0 ± 0.01
Closed System 25°C (24 h)	21.59 ± 0.67	0.96 ± 0.03	6.40 ± 0.01	56.0 ± 0.01
Closed System 25°C (48 h)	21.03 ± 0.47	1.00 ± 0.03	6.36 ± 0.01	54.0 ± 0.01
Closed System 25°C (72 h)	21.79 ± 0.44	1.98 ± 0.02	6.23 ± 0.01	51.0 ± 0.01
Closed System 25°C (96 h)	21.57 ± 0.46	2.45 ± 0.03	5.92 ± 0.01	53.0 ± 0.01
Closed System 25°C (120 h)	21.60 ± 0.13	2.44 ± 0.02	5.84 ± 0.01	55.0 ± 0.01
Closed System 4°C (24 h)	10.58 ± 0.62	0.47 ± 0.03	6.53 ± 0.01	72.0 ± 0.01
Closed System 4°C (48 h)	19.71 ± 0.70	1.00 ± 0.02	6.41 ± 0.01	69.0 ± 0.01
Closed System 4°C (72 h)	19.76 ± 0.21	0.97 ± 0.02	6.33 ± 0.01	74.0 ± 0.01
Closed System 4°C (96 h)	19.86 ± 0.14	0.99 ± 0.02	6.38 ± 0.01	73.0 ± 0.01
Closed System 4°C (120 h)	19.78 ± 0.08	0.97 ± 0.02	6.45 ± 0.01	70.0 ± 0.01

จากตารางที่ 4.2 เป็นผลการทดสอบสมบัติของตัวอย่างหมูหันที่เก็บรักษาในสภาวะที่สามารถเกิดการออกซิไดซ์และไม่เกิดการออกซิไดซ์กับอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถพิจารณาสภาวะในการเก็บรักษาที่มีผลต่อความชื้น ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าความเป็นกรด และค่าไอโอดีนของตัวอย่างหมูหันได้ดังภาพที่ 4.3-4.6

#### 4.2.1 ผลของการภาวะการเก็บรักษาที่มีต่อการสูญเสียความชื้นของหมูหัน

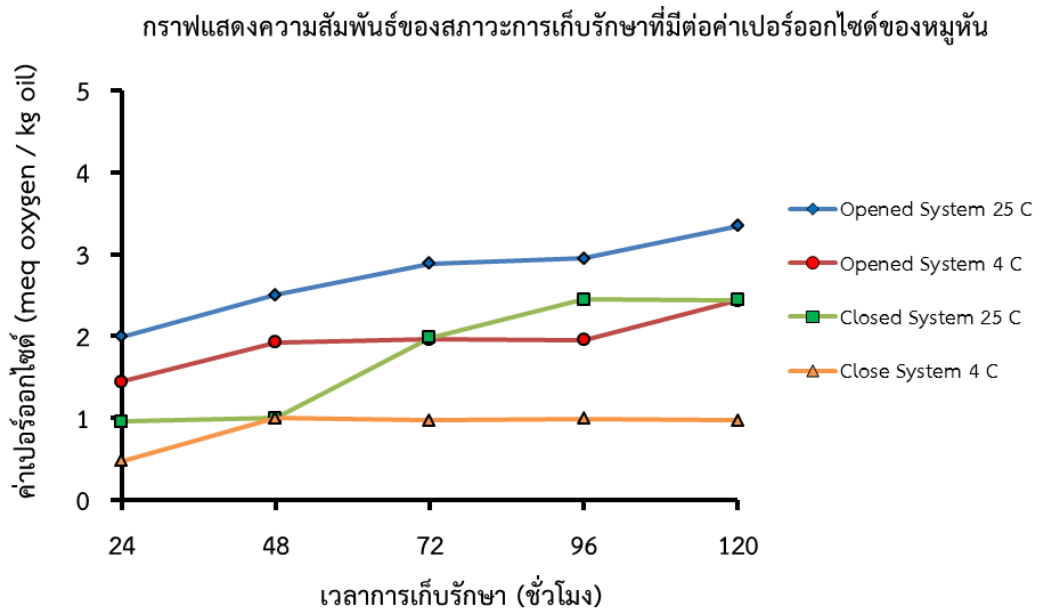
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสภาวะการเก็บรักษาที่มีต่อการสูญเสียความชื้นของหมูหัน



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสภาวะการเก็บรักษาที่มีต่อการสูญเสียความชื้นของหมูหัน

จากภาพที่ 4.3 แสดงผลของภาวะการเก็บรักษาตัวอย่างที่มีต่อการสูญเสียความชื้นของหมูหัน พบว่า หมูหันที่เก็บโดยสัมผัสกับอากาศโดยตรงจะมีค่าร้อยละความชื้นที่สูญเสียไปสูงกว่าหมูหันที่เก็บในภาชนะปิดผนึก และการเก็บรักษาหมูหันที่เก็บโดยสัมผัสกับอากาศโดยตรงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะมีการสูญเสียความชื้นสูงกว่าหมูหันที่เก็บโดยสัมผัสกับอากาศโดยตรงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเก็บรักษาในภาชนะเปิดที่อุณหภูมิสูงกว่า ความชื้นในหมูหันสามารถเกิดการระเหยบริเวณผิวของหมูหันได้ง่าย ส่งผลเนื้อสัมผัสของหมูหันแข็งและแห้งไม่น่ารับประทาน ซึ่งผลการทดลองมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาอื่น ซึ่งกล่าวว่าในกระบวนการทำแห้งนั้น น้ำที่ผิวหน้าของเนื้อสัตว์จะถูกระเหยออกไปก่อน และน้ำในชั้นถัดไปจะค่อยๆ ระเหยออกมาแทนที่ที่ผิวหน้า การระเหยแห้งส่งผลให้การเคี้ยวและการท่อนเนื้อง่ายขึ้น แต่ถ้าวการระเหยที่อุณหภูมิสูงและระเหยอย่างรวดเร็วจะส่งผลให้เนื้อสัตว์เปลี่ยนรูปร่างอย่างรวดเร็ว แข็งและหยาบกระด้าง (Zuk และคณะ, 2010)

#### 4.2.2 ผลของการภาวะการเก็บรักษาที่มีต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน

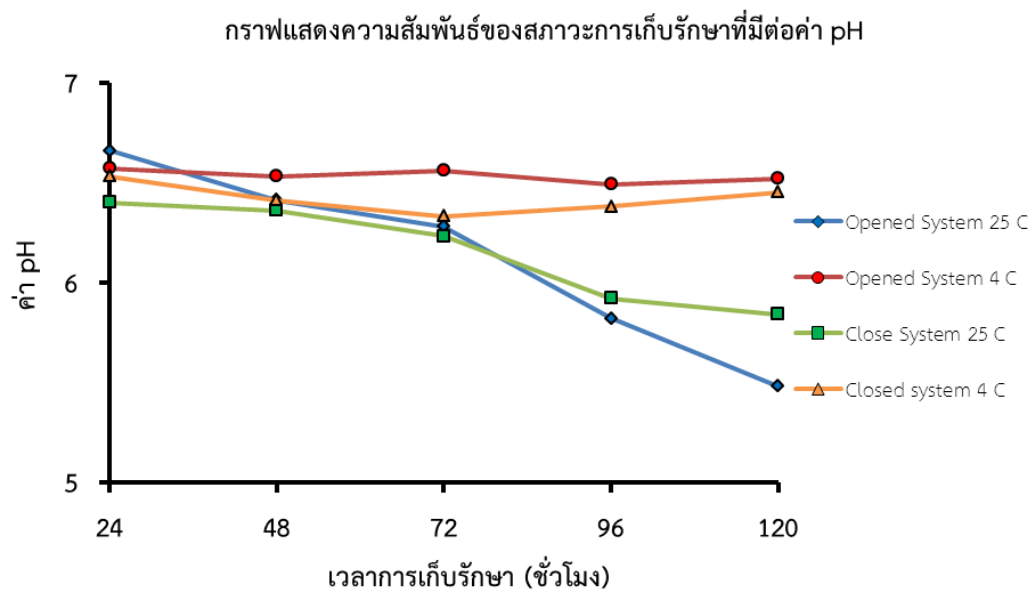


ภาพที่ 4.4 ผลของสภาวะการเก็บรักษาที่มีต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน

จากภาพที่ 4.4 แสดงผลของการออกซิเดชันที่มีต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน พบว่า หมูหันที่เก็บโดยสัมผัสกับอากาศโดยตรงจะมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าหมูหันที่เก็บในภาชนะปิดผนึก และการเก็บรักษาหมูหันที่เก็บโดยสัมผัสกับอากาศโดยตรงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าหมูหันที่เก็บโดยสัมผัสกับอากาศโดยตรงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เนื่องจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีพันธะคู่นิวโมเลกุล สามารถถูกออกซิไดส์ได้เองด้วยออกซิเจนในอากาศ ทำให้กรดไขมันเปลี่ยนเป็นเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) และเปลี่ยนต่อไปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอัลดีไฮด์ (Fatty Aldehydes) ซึ่งทำให้มีกลิ่นเหม็นหืน การเก็บรักษาในภาชนะเปิด หมูหันมีโอกาสสัมผัสออกซิเจนและไอน้ำในอากาศมากกว่าการเก็บในภาชนะปิด และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ อัตราการแพร่ของก๊าซออกซิเจนจะต่ำกว่าที่อุณหภูมิสูง ทำให้มีโอกาสสัมผัสออกซิเจนและไอน้ำในอากาศได้น้อยจึงมีโอกาสเกิดสารเปอร์ออกไซด์น้อยกว่า ผลการทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องกับงานของนักวิจัยบางกลุ่ม ซึ่งได้ศึกษาทดลองเกี่ยวกับค่าเปอร์ออกไซด์และความไม่อิ่มตัวของน้ำมันละหุ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยพบว่า เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เวลานานขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้น (Juita และคณะ, 2013) และการศึกษาเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์สำหรับเนื้อสัตว์ ได้กล่าวถึงการเก็บรักษาเนื้อสัตว์ในบรรจุภัณฑ์ที่สัมผัสกับออกซิเจนความเข้มข้นสูงจะช่วยรักษาและคงสภาพสีของอาหารไว้ ทำให้มีสีแดง แต่ปริมาณออกซิเจนที่มากเกินไปจะส่งผลให้เกิดความไม่เสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนสี มีกลิ่นเหม็นหืนและรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ นอกจากนี้ออกซิเจนยัง

สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโปรตีนในเนื้อสัตว์ ทำให้เนื้อสัตว์มีลักษณะหยาบกระด้างไม่น่ารับประทาน ส่วนการเก็บในภาชนะปิด และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เนื้อสัตว์จะสัมผัสกับออกซิเจนต่ำ ช่วยรักษากลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัสของอาหารได้นานกว่าแบบสัมผัสออกซิเจน (Sullivan และคณะ, 2010)

#### 4.2.3 ผลของการภาวะการเก็บรักษาที่มีต่อค่าความเป็นกรดของหมูหัน

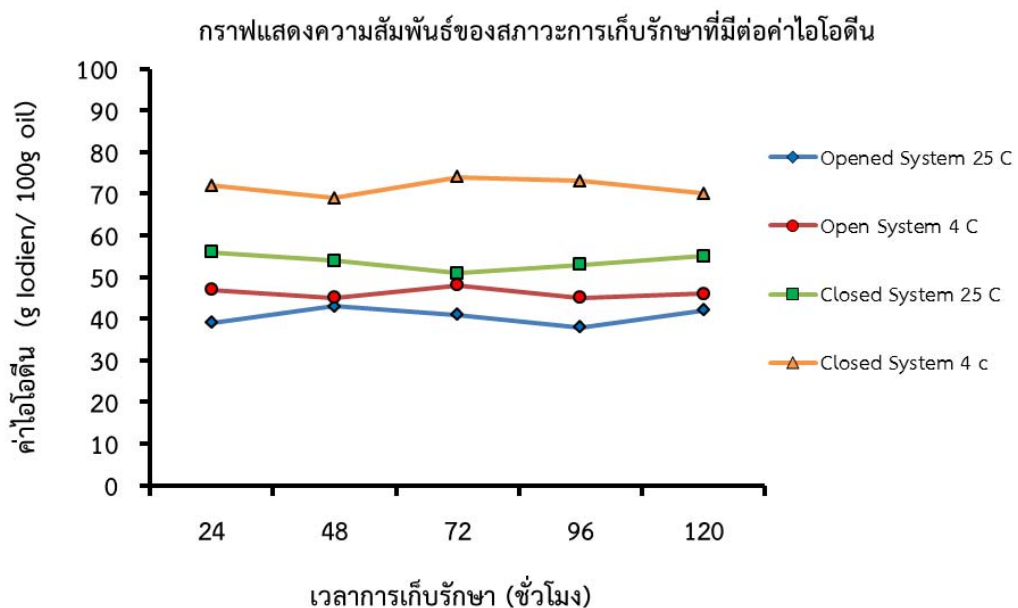


#### ภาพที่ 4.5 ผลของการออกซิเดชันที่มีต่อค่าความเป็นกรดของหมูหัน

จากภาพที่ 4.5 แสดงผลของการออกซิเดชันที่มีต่อค่าความเป็นกรดของหมูหัน พบว่า หมูหันที่เก็บโดยสัมผัสกับอากาศโดยตรงจะมีค่าความเป็นกรดน้อยกว่าหมูหันที่เก็บในภาชนะปิดผนึก และการเก็บรักษาหมูหันที่เก็บโดยสัมผัสกับอากาศโดยตรงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะมีค่าความเป็นกรดมากกว่าหมูหันที่เก็บโดยสัมผัสกับอากาศโดยตรงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เนื่องจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีพันธะคูในโมเลกุล สามารถถูกออกซิไดซ์ได้เองด้วยออกซิเจนในอากาศ ทำให้กรดไขมันเปลี่ยนแปลงเป็นกรดอินทรีย์ตัวเล็กๆ สารเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) การเก็บรักษาในภาชนะเปิด หมูหันมีโอกาสสัมผัสออกซิเจนและไอน้ำในอากาศมากกว่าการเก็บในภาชนะปิด และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ อัตราการแพร่ของก๊าซออกซิเจนจะต่ำกว่าที่อุณหภูมิสูง ทำให้มีโอกาสสัมผัสออกซิเจนและไอน้ำในอากาศได้น้อยจึงมีโอกาสเกิดสารเปอร์ออกไซด์และกรดอินทรีย์น้อยกว่า จึงมีค่าความเป็นกรดน้อยกว่า

จากตารางที่ 4.2 พบว่าการเก็บเนื้อหมูหันแบบไม่สัมผัสกับอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดจะเพิ่มขึ้น ทำให้หมูหันมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว และเกิดการเน่าเสีย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาซึ่งกล่าวว่าการเก็บเนื้อสัตว์ที่ปริมาณออกซิเจนต่ำ จะส่งผลให้แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถเติบโตได้ดี จึงเกิดการเน่าเสียได้ (Tokarsky และคณะ, 2010) จากการเก็บรักษาหมูหันที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) พบว่าหมูหันมีการเปลี่ยนแปลงกลิ่น และเนื้อสัมผัสน้อยกว่าการเก็บในภาวะอื่นๆ ซึ่งผลการทดสอบสอดคล้องกับการศึกษาการเก็บรักษาเนื้อสัตว์ที่อุณหภูมิ  $-1^{\circ}\text{C}$  ถึง  $5^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเรียกว่า Dry aging จะสามารถยืดอายุของเนื้อสัตว์ออกไปได้ (James และคณะ, 2010)

#### 4.2.4 ผลของการภาวะการเก็บรักษาที่มีต่อค่าไอโอดีนของหมูหัน



ภาพที่ 4.6 ผลของการออกซิเดชันที่มีต่อค่าไอโอดีน

จากภาพที่ 4.6 แสดงผลของการเก็บรักษาที่ภาวะที่มีการเกิดออกซิเดชันต่างๆ ที่มีต่อค่าไอโอดีนของหมูหัน เนื่องจากค่าไอโอดีนแสดงถึงปริมาณไขมันไม่อิ่มตัว ถ้าค่าไอโอดีนมากแสดงว่าความไม่อิ่มตัวมาก (มีพันธะคู่ในโมเลกุลมาก) พบว่า หมูหันที่เก็บโดยสัมผัสกับอากาศโดยตรงมีโอกาสในการเกิดออกซิเดชันมากกว่า พันธะคู่ถูกใช้ในการออกซิเดชัน ทำให้มีค่าไอโอดีนน้อยกว่าหมูหันที่

เก็บในภาชนะปิดผนึก และการเก็บรักษาหมูหันที่เก็บโดยสัมผัสกับอากาศโดยตรงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสจะมีเลขไอโอดีนน้อยกว่าหมูหันที่เก็บโดยสัมผัสกับอากาศโดยตรงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพราะอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลการทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยซึ่งได้ศึกษาทดลองเกี่ยวกับค่าเปอร์ออกไซด์และความไม่อิ่มตัวของน้ำมันละหุ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ผลการทดลองพบว่า เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เวลานานขึ้น ค่าไอโอดีนจะลดลง (Juita และคณะ, 2013)

จากการทดสอบผลของภาวะในการเก็บรักษาที่มีต่อคุณภาพของหมูหันนี้สามารถสรุปได้ว่าการเก็บรักษาตัวอย่างหมูหันในสภาวะที่สามารถเกิดการออกซิไดซ์กับอากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 4 องศาเซลเซียส ตัวอย่างหมูหันจะสัมผัสกับอากาศได้มาก จึงมีค่าความชื้น ค่าเปอร์ออกไซด์ และมีความเป็นกรดมาก แต่มีค่าไอโอดีนหรือความไม่อิ่มตัวน้อย ในขณะที่การเก็บรักษาตัวอย่างหมูหันในสภาวะที่ไม่สามารถเกิดการออกซิไดซ์กับอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตัวอย่างหมูหันจะสัมผัสกับอากาศได้น้อย จึงมีค่าความชื้น เปอร์ออกไซด์ และมีความเป็นกรดน้อย แต่มีเลขไอโอดีนมากขึ้น จึงมีโอกาสในการเกิดการเหม็นหืนน้อยกว่า

จากการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า การเก็บอาหารประเภทไขมันหรือน้ำมันโดยไม่ให้เกิดการเหม็นหืน หรือชะลอการเหม็นหืนให้ช้าที่สุดจะต้องเก็บในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ต้องปิดฝาภาชนะให้สนิท ไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจนและไอน้ำในอากาศเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส

#### 4.3 ผลของวิตามินอีที่มีต่อคุณภาพของหมูหัน

จากผลการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะในการเก็บรักษาหมูหันที่เกิดการออกซิไดซ์และไม่เกิดการออกซิไดซ์ พบว่าการเก็บในภาชนะปิดและมีอุณหภูมิต่ำ หมูหันจะมีคุณภาพดีกว่าเนื่องจากมีโอกาสในการเกิดการเหม็นหืนน้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามการเกิดกรดอินทรีย์ และสารเปอร์ออกไซด์ จะยังสามารถเกิดขึ้นได้ถ้าไขมันยังมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในโมเลกุล ดังนั้น การเติมวิตามินอีเพื่อลดปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลของไขมัน จึงอาจช่วยลดความเหม็นหืนได้

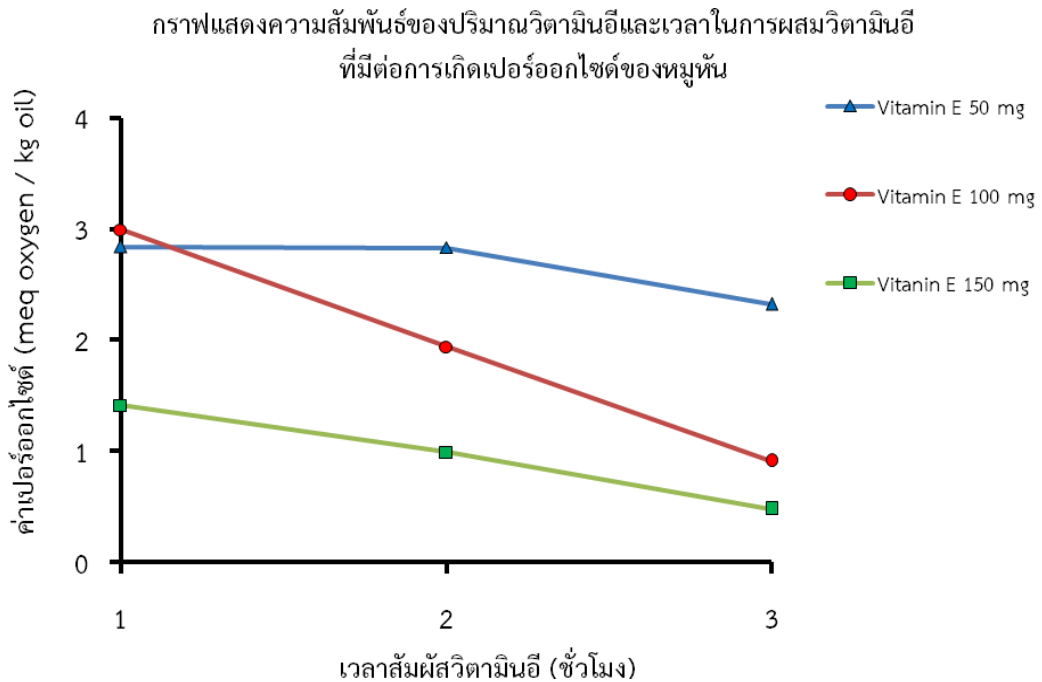
ในการทดสอบผลของวิตามินอีต่อคุณภาพของหมูหัน จะทำการผสมวิตามินอี 50, 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ลงในเนื้อหมูหันตัวอย่าง คลุกเคล้าให้เข้ากันอย่างทั่วถึง ปล่อยให้วิตามินอีสัมผัสกับเนื้อหมูเป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง

ตัวอย่างหมูหันจะถูกวัดความชื้น ค่าเปอร์ออกไซด์ ความเป็นกรด และเลขไอโอดีน ทุก 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 120 ชั่วโมง ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของวิตามินอีที่มีต่อคุณภาพของหมูหัน

ปริมาณ วิตามินอี (มิลลิกรัม/ กิโลกรัม ตัวอย่าง)	ชั่วโมงการ สัมผัส วิตามินอี (ชั่วโมง)	ความชื้น (%)	ค่า pH	ค่าเปอร์ ออกไซด์ (Meq/Kg oil)	ค่าไอโอดีน (g Iodien/ 100g oil)
50	1	20.09 ± 0.15	6.33 ± 0.01	2.84 ± 0.02	54.0 ± 0.01
50	2	21.68 ± 0.26	6.40 ± 0.01	2.83 ± 0.02	53.0 ± 0.01
50	3	22.30 ± 0.25	6.39 ± 0.01	2.32 ± 0.02	51.0 ± 0.01
100	1	24.19 ± 0.18	6.54 ± 0.01	3.00 ± 0.02	66.0 ± 0.01
100	2	25.74 ± 0.22	6.61 ± 0.01	1.94 ± 0.02	59.0 ± 0.01
100	3	28.41 ± 0.38	6.67 ± 0.01	0.91 ± 0.02	56.0 ± 0.01
150	1	30.37 ± 0.25	6.53 ± 0.01	1.42 ± 0.02	72.0 ± 0.01
150	2	33.54 ± 0.46	6.67 ± 0.01	0.99 ± 0.02	71.0 ± 0.01
150	3	35.22 ± 0.10	6.72 ± 0.01	0.48 ± 0.02	70.0 ± 0.01

จากตารางที่ 4.3 เป็นผลการทดสอบสมบัติของตัวอย่างหมูหันที่ผสมวิตามินอี ซึ่งสามารถพิจารณาที่ปริมาณและเวลาในการสัมผัสต่างๆ กับแต่ละสมบัติของตัวอย่างหมูหันได้ดังภาพที่ 4.7 - 4.8



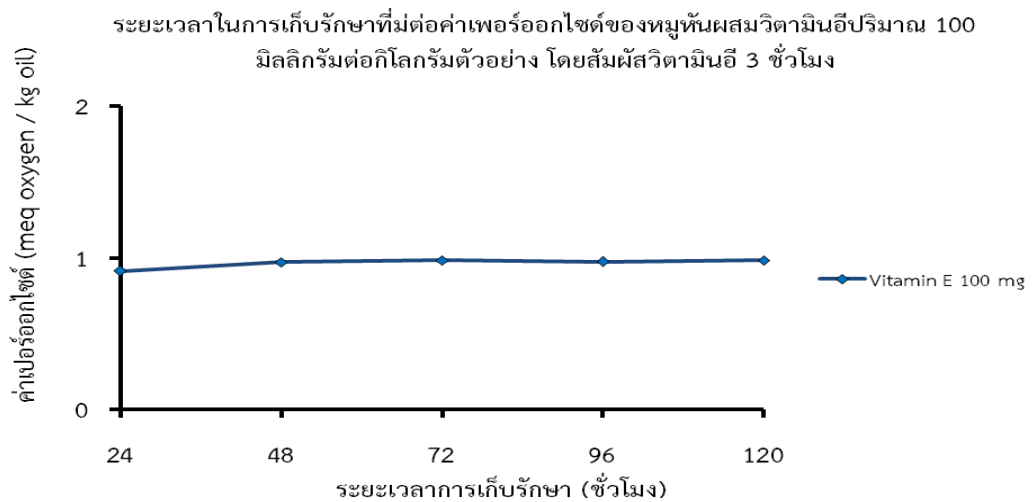
ภาพที่ 4.7 ปริมาณและเวลาในการสัมผัสวิตามินอีกับค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน

จากภาพที่ 4.7 ปริมาณและเวลาในการสัมผัสวิตามินอีกับค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน พบว่าการเติมวิตามินอี 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ที่เวลาการสัมผัส 1, 2 และ 3 ชั่วโมงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ไม่มากเมื่อเทียบกับการเติมวิตามินอี 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ โดยการเติมวิตามินอี 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง จะช่วยป้องกันไม่ให้พันธะคู่ของไขมันไม่อิ่มตัวในโมเลกุลของไขมันเกิดการออกซิเดชัน ทำให้เกิดการเกิดการออกซิไดซ์เป็นสารเปอร์ออกไซด์ลดลง โดยถ้าต้องการใช้วิตามินในปริมาณ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง ให้มีค่าเปอร์ออกไซด์ประมาณ 1 meq oxygen / kg oil จะต้องใช้เวลา 3 ชั่วโมง ในขณะที่ถ้าเติมวิตามินในปริมาณ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง จะให้ค่าเปอร์ออกไซด์ประมาณ 1 meq oxygen / kg oil ที่เวลาการสัมผัสวิตามินอี 2 ชั่วโมง แต่เนื่องจากวิตามินอีมีกลิ่นเฉพาะตัวที่อาจไปรบกวนกลิ่นของอาหารได้ การเติมวิตามินในปริมาณ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่างจึงเป็นภาวะที่นำมาใช้ในการศึกษาต่อไป

จากผลการทดสอบการเติมวิตามินอีในปริมาณต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของหมูหัน การนำหมูหันที่ผสมวิตามินอี 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง เก็บรักษาไว้ในภาชนะปิดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน และตัวอย่างหมูหันจะถูกวัดความชื้น ค่าเปอร์ออกไซด์ ความเป็นกรด และเลขไอโอดีน ทุก 24 ชั่วโมง ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ ภาพที่ 4.8

ตารางที่ 4.4 ระยะเวลาในการเก็บรักษากับค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหันที่ผสมวิตามินอี

ปริมาณ วิตามินอี (มิลลิกรัม)	ชั่วโมง การ สัมผัส วิตามินอี (ชั่วโมง)	วันที่	ความชื้น (%)	ค่า pH	ค่าเปอร์ ออกไซด์ (Meq/Kg oil)	ค่าไอโอดีน (g Iodien/ 100g oil)
100	3	1	28.41 ± 0.38	6.67 ± 0.01	0.91 ± 0.02	56.0 ± 0.01
100	3	2	30.02 ± 0.28	6.48 ± 0.01	0.97 ± 0.02	52.0 ± 0.01
100	3	3	32.55 ± 0.55	6.26 ± 0.01	0.98 ± 0.03	53.0 ± 0.01
100	3	4	33.09 ± 0.47	6.58 ± 0.01	0.97 ± 0.03	53.0 ± 0.01
100	3	5	33.51 ± 0.56	6.32 ± 0.01	0.98 ± 0.02	54.0 ± 0.01



ภาพที่ 4.8 ระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหันผสมวิตามินอีปริมาณ 100

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง โดยสัมผัสวิตามินอี 3 ชั่วโมง

จากภาพที่ 4.8 จากผลการทดสอบการเติมวิตามินอีในปริมาณต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของ หมูหัน การนำหมูหันที่ผสมวิตามินอี 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง เก็บรักษาไว้ในภาชนะปิดที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 ชั่วโมง ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อค่า เปอร์ออกไซด์ของหมูหันผสมวิตามินอีปริมาณ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง โดยสัมผัสวิตามินอี 3 ชั่วโมง พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ เนื่องจาก การเก็บรักษาระยะเวลา 120 ชั่วโมง อาจสั้นเกินไป การยืดระยะเวลาการเก็บรักษาอาจทำให้เห็น การเปลี่ยนแปลงได้

จากผลการศึกษาการป้องกันการเหม็นหืนของหมูหันด้วยการเติมวิตามินอี สามารถสรุปได้ว่า การเติมวิตามินอี ซึ่งเป็นสารต้านทานการเกิดออกซิเดชันธรรมชาติ สามารถป้องกันการเหม็นหืนได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาผลของการเติมวิตามินอีเพื่อลดการเหม็นหืนในเนื้อหมู โดยใช้วิตามิน อี 0-1000 mg Kg<sup>-1</sup> โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าวิตามินอีที่ เติมลงไปนั้นมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันเล็กน้อยเท่านั้น (Heather และคณะ, 2002) อย่างไรก็ตาม การเกิดออกซิเดชันของไขมันที่เกิดขึ้นของเนื้อหมูทั้งที่เติมวิตามินอีและไม่เติมวิตามินอี มีปริมาณมากพอที่จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนในผลิตภัณฑ์ได้

จากงานวิจัยที่ได้ทำการสารสังเคราะห์ Ethoxyquin และ BHT, เติมของผสมไอโซเมอร์ของ วิตามินอี พบว่า ของผสมไอโซเมอร์ของวิตามินอีที่มีวิตามินอี 101 mg Kg<sup>-1</sup> ของเนื้อปลาแซลมอน สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ โดยมีค่า Polyene Index (PI) ในช่วง 1.99–2.14 ซึ่ง สามารถหน่วงการเกิดสารประกอบที่เกิดจากการออกซิเดชัน ทั้งแบบ Primary, Secondary และ Tertiary ได้ จึงเกิดการเหม็นหืนน้อย และเมื่อทดสอบด้วย Oxidised taste analysis พบว่าสามารถ รักษารสชาติของปลาหลังการปรุงอาหารได้ดี โดยมีค่า Oxidised Taste Scores เท่ากับ 0.0–0.6 ซึ่ง จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ค่า 0 หมายถึง ไม่เกิดการเหม็นหืน และค่า 0-5 เป็นค่าความเหม็นหืนที่ยอมรับ ได้ แสดงให้เห็นว่าการเติมวิตามินอีสามารถป้องกันการเหม็นหืนได้ (Ortiz และคณะ, 2009)

นอกจากนี้ผลการวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัย ที่ทำการศึกษาผลของการเติมวิตามินอีทั้ง แบบธรรมชาติและแบบสังเคราะห์ในอาหารที่ใช้เลี้ยงแม่แกะ และศึกษาคุณภาพของเนื้อแกะ พบว่า การเติมวิตามินอีธรรมชาติและวิตามินอีสังเคราะห์ 400 mg Kg<sup>-1</sup> ในอาหารเลี้ยงแกะไม่มีผลต่อ ปริมาณกรดไขมันในน้ำมันแกะ แต่พบว่าวิตามินอีที่เป็นแบบธรรมชาติจะมีการดูดซึมมากกว่าวิตามินอี แบบสังเคราะห์ 2.73 เท่า แต่ปริมาณวิตามินอีทั้งสองแบบที่เติมลงไปส่งผลให้เกิดออกซิเดชัน ของไขมันในเนื้อแกะมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานต่ำสุดที่สามารถเกิดความเหม็นหืนได้ จึงสรุปว่าวิตามินอี สามารถป้องกันการเกิดการเหม็นหืนได้ (Gallardo และคณะ, 2014)

#### 4.4 ผลของกระบวนการไฮโดรจีเนชันที่มีต่อคุณภาพของหมูหัน

เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) เป็นการเพิ่มความอิ่มตัวของน้ำมันโดยให้ทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจน ในการช่วยเพิ่มไฮโดรเจน โดย 1 พันธะคู่ของคาร์บอน (C) ไฮโดรเจนจะเข้า 2 อะตอม แต่ไฮโดรเจนเป็น inert gas ซึ่งวัดยาก จึงไม่ใช้เป็นฐานในการวัดความไม่อิ่มตัว ในการทดสอบผลของกระบวนการไฮโดรจีเนชันที่มีต่อคุณภาพของหมูหันนี้ทำโดยการให้พันธะคู่ในโมเลกุลของตัวอย่างหมูหันเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันกับก๊าซไฮโดรเจนร้อยละ 10 ในก๊าซไนโตรเจน โดยใช้อัตราการไหลของไฮโดรเจนที่ 50, 100 และ 150 มิลลิลิตรต่อนาที และให้ความร้อนที่ 50-150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-30 นาที เก็บรักษาตัวอย่างไว้ในภาชนะปิดผนึก ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 ชั่วโมง และตัวอย่างหมูหันจะถูกวัดความชื้น ค่าเปอร์ออกไซด์ ความเป็นกรด และค่าไอโอดีน ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.9-4.11

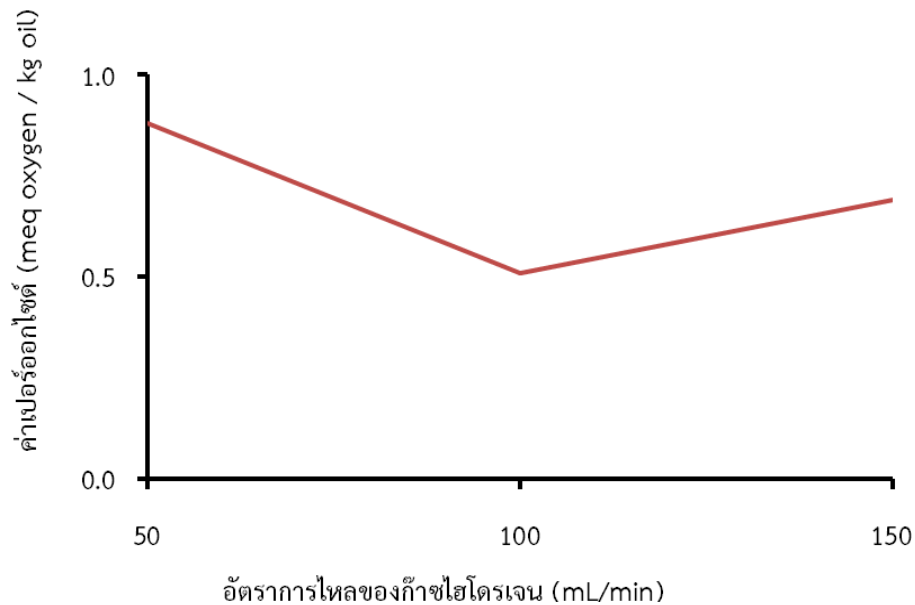
##### 4.4.1 ผลของอัตราการไหลของไฮโดรเจนที่มีต่อคุณภาพของหมูหัน

ในการศึกษาผลของปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของหมูหัน เริ่มจากการทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันด้วยก๊าซไฮโดรเจนเข้มข้นร้อยละ 10 ในก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของไฮโดรเจนที่ 50, 100 และ 150 มิลลิลิตรต่อนาที ตัวอย่างหมูหันจะถูกวัดความชื้น ค่าเปอร์ออกไซด์ ความเป็นกรด และค่าไอโอดีน ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.9

**ตารางที่ 4.5** ผลของอัตราการไหลของไฮโดรเจนในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันต่อคุณภาพของหมูหัน

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (Meq/Kg oil)	ค่า pH	ค่าไอโอดีน (g Iodien/ 100g oil)
อัตราการไหล 50 mL/min	34.39 ± 0.48	0.88 ± 0.02	6.69 ± 0.01	48.00 ± 0.01
อัตราการไหล 100 mL/min	57.90 ± 0.89	0.51 ± 0.02	6.48 ± 0.01	59.00 ± 0.01
อัตราการไหล 150 mL/min	62.00 ± 0.50	0.69 ± 0.02	6.24 ± 0.01	52.00 ± 0.01

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของไฮโดรเจนที่มีต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน



ภาพที่ 4.9 ผลของอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนในการเกิดไฮโดรจีเนชันต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน

จากตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.9 พบว่าอัตราการไหลของไฮโดรเจนที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหันต่ำที่สุด เนื่องจากที่อัตราการไหลที่เหมาะสมจะทำให้ไฮโดรเจนสามารถทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันได้มากขึ้น ความอึดตัวเพิ่มขึ้นจึงเกิดการออกซิเดชันน้อยลง ค่าเปอร์ออกไซด์จึงน้อยลง ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราการไหลของไฮโดรเจนที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ในการศึกษาผลของตัวแปรเวลา และอุณหภูมิต่อไป

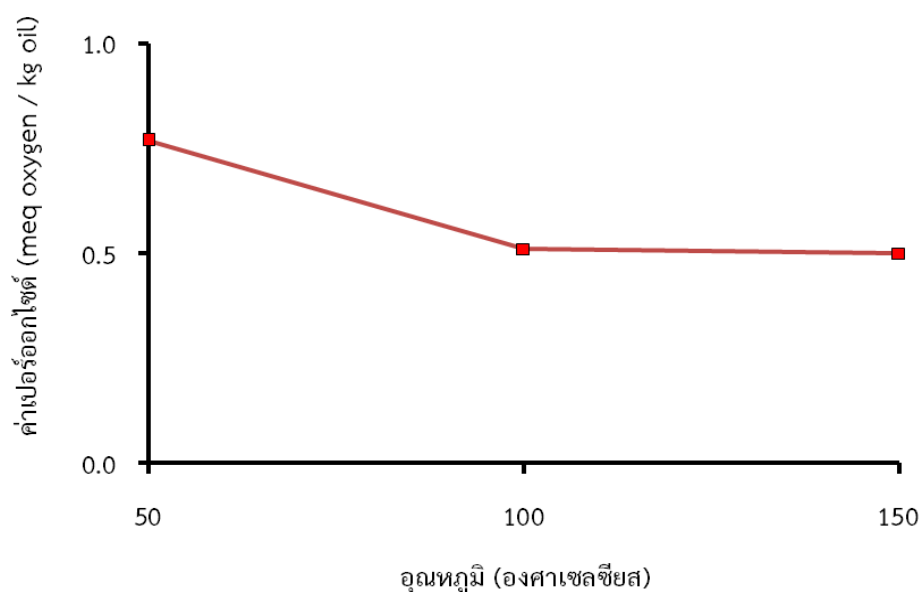
#### 4.4.2 ผลของอุณหภูมิของปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันที่มีต่อคุณภาพของหมูหัน

ในการศึกษาผลของอุณหภูมิในการเกิดไฮโดรจีเนชันจะแปรอุณหภูมิที่ 50-150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ใช้อัตราการไหลของไฮโดรเจนที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ตัวอย่างหมูหันจะถูกวัดความชื้น ค่าเปอร์ออกไซด์ ความเป็นกรด และค่าไอโอดีน ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.10

ตารางที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันต่อคุณภาพของหมูหัน

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (Meq/Kg oil)	ค่า pH	ค่าไอโอดีน (g Iodien/ 100g oil)
อุณหภูมิ 50 °C	37.56 ± 0.65	0.77 ± 0.02	6.55 ± 0.01	68.00 ± 0.01
อุณหภูมิ 100 °C	57.90 ± 0.89	0.51 ± 0.02	6.48 ± 0.01	59.00 ± 0.01
อุณหภูมิ 150 °C	70.00 ± 0.53	0.50 ± 0.02	6.39 ± 0.01	56.00 ± 0.01

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่มีต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน



ภาพที่ 4.10 ผลของอุณหภูมิในการเกิดไฮโดรจีเนชันต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน

จากตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.10 พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การที่สารเปอร์ออกไซด์มีค่าน้อยเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเกิดขึ้นได้ดี โดยที่อุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหันต่ำที่สุด ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลอง ซึ่งศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน ซึ่งพบว่าการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันจะเกิดได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และน้ำมันที่ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันจะเหม็นหืนช้ากว่า

น้ำมันที่ไม่ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Fernandez และคณะ, 2007) และสอดคล้องกับผลการวิจัย ซึ่งศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน โดยใช้อุณหภูมิในการเกิดไฮโดรจีเนชัน 2 ช่วง คือ 99-130 องศาเซลเซียส และ 137-149 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันจะเกิดได้ดีที่ 137-149 องศาเซลเซียส (Alsobaai และคณะ, 2012) แต่เมื่อพิจารณาค่าเปอร์ ออกไซด์จากการทดลองนี้ พบว่าเมื่อทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์ ออกไซด์แตกต่างจากการทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เพียงเล็กน้อย เท่านั้น ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมิ การทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันที่ 100 องศาเซลเซียส ใน การศึกษาผลของตัวแปรเวลาต่อไป

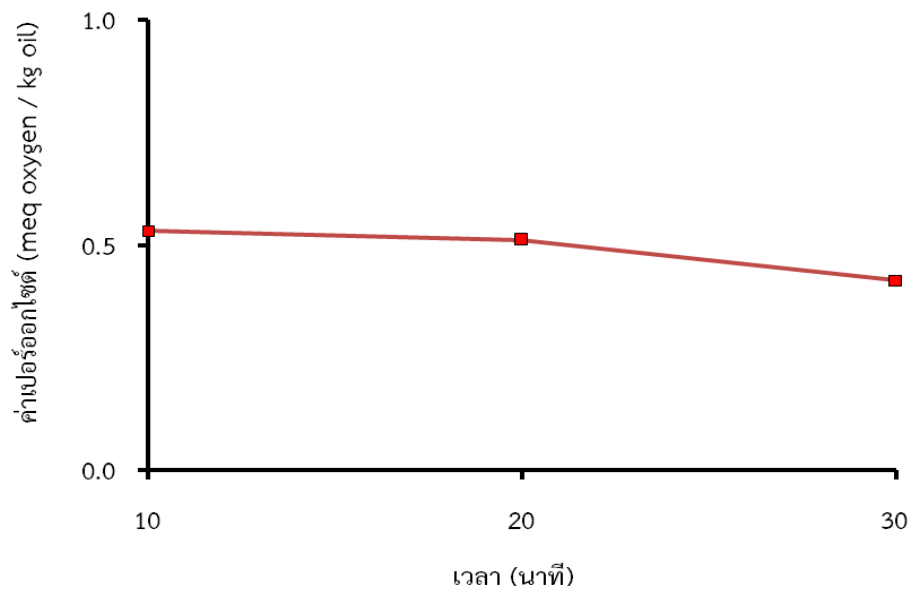
#### 4.4.3 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันที่มีต่อคุณภาพของหมูหัน

ในการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันจะแปรเวลาที่ 10-30 นาที โดยใช้อัตราการไหลของไฮโดรเจนที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ตัวอย่างหมู หันจะถูกวัดความชื้น ค่าเปอร์ออกไซด์ ความเป็นกรด และค่าไอโอดีน ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.11

ตารางที่ 4.7 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันต่อคุณภาพของหมูหัน

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (Meq/Kg oil)	ค่า pH	ค่าไอโอดีน (g Iodien/ 100g oil)
เวลา 10 นาที	53.69 ± 0.24	0.53 ± 0.02	6.43 ± 0.01	54.00 ± 0.01
เวลา 20 นาที	57.90 ± 0.89	0.51 ± 0.02	6.48 ± 0.01	59.00 ± 0.01
เวลา 30 นาที	65.51 ± 0.62	0.42 ± 0.02	6.52 ± 0.01	63.00 ± 0.01

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลาที่มีต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน



ภาพที่ 4.11 ผลของเวลาในการเกิดไฮโดรจีเนชันต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหัน

จากตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.11 พบว่าที่เวลา 30 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหันต่ำที่สุด เนื่องจากระยะเวลาการทำปฏิกิริยานาน พันธะคู่มิโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาได้มากกว่า

ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของหมูหัน คือที่อัตราการไหลของไฮโดรเจน 100 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ซึ่งที่ภาวะนี้จะให้ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูหันต่ำสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อการเกิดเปอร์ออกไซด์น้อยลง และการสลายตัวเปอร์ออกไซด์ไปเป็นสารอัลดีไฮด์ที่มีกลิ่นเหม็นหืนจึงน้อยลง

#### 4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการเหม็นหืนในหมูหันด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันและการเติมวิตามินอี

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการเหม็นหืนในหมูหันด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันและการเติมวิตามินอีแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการเหม็นหืนในหมูหันด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันและการเติมวิตามินอี

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	ค่า pH	ค่าเปอร์ออกไซด์ (Meq/Kg oil)	ค่าไอโอดีน (g Iodien/ 100g oil)
การเติมวิตามินอี วิตามินอี 10 mg สัมผัสวิตามินอี 3 ชั่วโมง	28.41 ± 0.38	6.67 ± 0.01	0.91 ± 0.02	56.0 ± 0.01
กระบวนการไฮโดรจีเนชัน อัตราการไหล 100 mL/min อุณหภูมิ 100 °C เวลา 30 นาที	65.51 ± 0.62	6.52 ± 0.01	0.42 ± 0.02	63.00 ± 0.01

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการเหม็นหืนในหมูหันด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันและการเติมวิตามินอี พบว่า หมูหันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันจะมีค่าค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำเมื่อเทียบกับการเติมวิตามินอี จึงสามารถป้องกันการเหม็นหืนได้ดีกว่า เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนมีโมเลกุลขนาดเล็กสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้ดีกว่า ปฏิกิริยาเกิดได้ง่ายและรวดเร็วกว่าการเติมวิตามินอี

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการหมื่นหื่นในหมูหั้นด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันและการเติมวิตามินอี โดยเริ่มจากการศึกษาผลของการออกซิเดชันที่เกิดจากภาวะในการเก็บรักษาตัวอย่างในภาชนะเปิดและภาชนะปิดผนึก ที่อุณหภูมิ 25 และ 4 องศาเซลเซียส การเติมวิตามินอี ใช้วิตามินอีปริมาณ 50, 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่างผสมและให้ตัวอย่างสัมผัสวิตามินอีเป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในภาชนะปิด ส่วนกระบวนการไฮโดรจีเนชันจะใช้อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจน 50, 100 และ 150 มิลลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 50, 100 และ 150 องศาเซลเซียส และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 10, 20 และ 30 นาที จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ภาวะในการเก็บรักษาตัวอย่างในภาชนะปิดผนึก ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไขมันจะเกิดการออกซิไดซ์กับอากาศน้อยกว่าการเก็บในภาชนะเปิดและการเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
2. ภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเติมวิตามินอีเพื่อป้องกันการหมื่นหื่นของหมูหั้น คือ การเติมวิตามินอี 100 มิลลิกรัม และให้วิตามินอีสัมผัสตัวอย่างนาน 3 ชั่วโมง
3. ภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันหมูหั้นเพื่อป้องกันการหมื่นหื่น คือ ที่อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจน 100 มิลลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที
4. การป้องกันการหมื่นหื่นในหมูหั้นด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการเติมวิตามินอี

#### 5.2 อภิปรายผล

1. ปริมาณของวิตามินอีที่ 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง สามารถป้องกันการหมื่นหื่นในหมูหั้นได้ อาจมีผลต่อกลิ่นและรสชาติของหมูหั้นในกรณี que เติมมากเกินไป และเป็นการสิ้นเปลืองเวลาในการปล่อยให้หมูหั้นสัมผัสวิตามินอีในกรณีที่ใช้วิตามินอีน้อยกว่า
2. แม้ว่าการป้องกันการหมื่นหื่นในหมูหั้นด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการเติมวิตามินอี แต่การป้องกันการหมื่นหื่นด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชัน มีต้นทุนที่ราคาแพงกว่า และมีอุปกรณ์เครื่องมือที่ยากและซับซ้อนการเติมวิตามินอี

### 5.3 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ผลงานวิจัยที่ได้นี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อการผลิตหมูหันที่มีคุณภาพ สามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานานขึ้นโดยไม่เกิดความเหม็นหืน จึงเป็นการส่งเสริมการผลิตเพื่อการส่งออกในอนาคต

### 5.4 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. เลือกชิ้นส่วนอื่นๆ ของหมูหัน เช่น คอ หัว ซึ่งมีปริมาณไขมันแตกต่างกันออกไปมาทดสอบ
2. เพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาตัวอย่างให้นานขึ้น เพื่อติดตามอายุของผลิตภัณฑ์กับการเกิดการเหม็นหืน
3. เพิ่มการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคในกลุ่มและรสชาติของหมูหันที่ผ่านกระบวนการป้องกันการเหม็นหืน

## บรรณานุกรม

### บรรณานุกรมภาษาไทย

- กระทรวงสาธารณสุข. (2543). *ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) พ.ศ.2543 เรื่อง น้ำมัน และไขมัน*. 10 มิถุนายน 2557. <http://elib.fda.moph.go.th/fulltext2>
- คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล. (2536). *ชีวเคมี เล่ม ๑*. กรุงเทพมหานคร. บริษัทพรประเสริฐพรินติ้ง จำกัด.
- ทศพล จันทรดี. (2013 ). *วิตามินอี (Vitamin E) ดี โทษ อย่างไร? บทความนี้มีคำตอบ*. 10 มิถุนายน 2557. [http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/dic/knowledge\\_full.php?id=33](http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/dic/knowledge_full.php?id=33)
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2010). *Monounsaturated fatty acid / กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 อัน* . 10 มิถุนายน 2557. <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1219/monounsaturated-fatty-acid>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2010). *Hydrogenation/ ปฏิกริยาการเติมไฮโดรเจน*. 10 มิถุนายน 2557. <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1030/hydrogenation>
- มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์. (2557). *ชีวเคมี บทที่ 4 ลิพิด*. 10 มิถุนายน 2557. [http://www.m-culture.go.th/culture01/highlight/highlightdetail.php?highlight\\_id=114&lang=th](http://www.m-culture.go.th/culture01/highlight/highlightdetail.php?highlight_id=114&lang=th)
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2010). *ไขมันและน้ำมัน (Fat and Oil)*. 10 มิถุนายน 2557. <http://www.vcharkarn.com/lesson/1469>
- อนุสรณ์ เชิดทอง. (2557) . *ลิพิดและกรดไขมัน*. 10 มิถุนายน 2557. <http://ag2.kku.ac.th/eLearning/137748/Doc%5CChapter%204%20Lipid%20and%20fatty%20acid.pdf>

### บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

- Alsobaai, A.M., Shaibani, A.M., Moustafa, T.& Derhem, A. (2012). Effect of hydrogenation temperature on the palm mid-fraction fatty acids composition and conversion. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 24, 45–51.
- Buege J. A., Aust, S. D. (1978). Microsomal lipid, Peroxidation. In: Flesicher, S., Packer, L. (Eds.), *Methods in Enzymology*, 52. Academic Press, New-York, 302–310.

- Channona, H. A., & Trout, G. R. (2002). Effect of tocopherol concentration on rancidity development during frozen storage of a cured and an uncured processed pork product. *Meat Science*, 62, 9–17.
- Cort, W.M. (1974). Antioxidant activity of tocopherols, ascorbyl palmitate, and ascorbic acid and their mode of action. *Journal of American Oil Chemist's Society*, 51, 321–325.
- Fernandez, M. B., Snchez, J. F., Tonetto, G. M., & Damiani, D. E. (2009). Hydrogenation of sunflower oil over different palladium supported catalysts: Activity and selectivity. *Chemical Engineering Journal*, 155, 941–949.
- Gallardo, B., Manca, M. G., Mantecón, A. R., Nudda, A., & Manso, T. (2015). Effects of linseed oil and natural or synthetic vitamin E supplementation in lactating ewes' diets on meat fatty acid profile and lipid oxidation from their milk fed lambs. *Meat Science*, 102, 79–89.
- Hou, J., Wang, F., Wang, Y., & Liu, F. (2013). Effects of vitamin E on the concentration of conjugated linoleic acids and accumulation of intermediates of ruminal biohydrogenation in vitro. *Small Ruminant Research*, 111, 63–70.
- James, C., & James, S. J. (2010). *Handbook of Meat Processing: Chapter 5 Freezing/Thawing*, (p.105-124). Iowa: John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- Juita, J., Dlugogorski, B. Z., Kennedy, E., & Mackie, J. C. (2013). Roles of peroxides and unsaturation in spontaneous heating of linseed oil. *Fire Safety Journal*, 61, 108–115.
- Kanno C., Hayashi M., Yamauchi K., & Tsugo T. (1970). Antioxidant effect of tocopherols on autoxidation of milk fat. I. Antioxidant activity of tocopherols in fatty acid methyl esters of milk fat. *Agricultural and Biological Chemistry*, 34, 878–88.
- Kardash-Strochkova, E., Tur'yan, Y. I., & Kuselman, I. (2001). Redox-potentiometric determination of peroxide value in edible oils without titration. *Talanta*, 54, 411–416.
- Modric, J. (2014). Trans Fatty Acids. December 20, 2014. <http://www.nutrientsreview.com/lipids/trans-fats.html>

- Ortiz, J. M., Larran, A., Vivanco, J. P., & Aubourg, S. P. (2009). Rancidity development during the frozen storage of farmed coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*): Effect of antioxidant composition supplied in the diet. *Food Chemistry*, 115, 143–148.
- Parkhurst, R. M., Skinner, W. A., & Sturm, P. A. (1968). The effect of various concentrations of tocopherols and tocopherol mixtures on the oxidative stability of a sample of Lard. *Journal of American Oil Chemist's Society*, 45, 641–642.
- Silva, M. A., Sanches, C., & Amante, E. R. (2006). Prevention of hydrolytic rancidity in rice bran. *Journal of Food Engineering*, 75, 487–491.
- Sullivan, M. G. O., & Kerry, J. P. (2010). *Handbook of Meat Processing: Chapter 13 Meat Packaging*, (p.245-261). Iowa: John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- Telegdy, K. L., Berndorfer, K. E. (1968). On the antioxidative mechanism of tocopherols ( $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -, $\delta$ -) in Lard. *Nahrung*, 12:407,414.
- Tokarsky, O., & Marshall, D. L. (2010). *Handbook of Meat Processing: Chapter 14 Novel Technologies for Microbial Spoilage Prevention*, (p.263-286). Iowa: John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- Woteki, C. E., & Thomas, P. R. (1992). [Eat for Life: The Food and Nutrition Board's Guide to Reducing Your Risk of Chronic Disease](#). 10 มิถุนายน 2557. <http://www.nap.edu/catalog/1365/eat-for-life-the-food-and-nutrition-boards-guide-to>
- Zuk, E., & Incze, K. (2010). *Handbook of Meat Processing: Chapter 11 Drying*. Iowa: John Wiley & Sons, Inc., Publication.

ภาคผนวก

## 1. การวิเคราะห์ความชื้นในตัวอย่างหมูหัน

ตาราง ก-1 ความชื้นในตัวอย่างหมูหันก่อนการทดลอง

การทดลองครั้งที่	น้ำหนักภาชนะ	น้ำหนักภาชนะและตัวอย่างหมูหันก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหมูหันก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักภาชนะและตัวอย่างหมูหันหลังอบ (กรัม)	น้ำหนักหมูหันหลังอบ (กรัม)	ร้อยละความชื้น (%)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	37.2628	39.4112	2.1484	37.9795	1.4317	33.3597	
2	37.2067	39.2644	2.0577	37.8809	1.3835	32.7647	
3	36.9133	39.1418	2.2885	37.7472	1.3946	39.0605	
เฉลี่ย						35.0617	3.48

ตาราง ก-2 ความชื้นในตัวอย่างหมูหันที่ภาวะการทดลองต่างๆ

ภาวะการเก็บรักษา	น้ำหนักหมูหันก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหมูหันหลังอบ (กรัม)	น้ำหนักที่หายไป (กรัม)	ร้อยละความชื้น	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Opened System 25°C (24 h)	10.1223	8.364	1.7583	17.37	
	10.2512	8.6024	1.6488	16.08	
	10.1536	8.3257	1.8279	18.00	
	เฉลี่ย			17.15	0.98
Opened System 25°C (48 h)	10.1369	6.5733	3.5636	35.15	
	10.1288	6.4622	3.6666	36.20	
	10.1435	6.5316	3.6119	35.61	
	เฉลี่ย			35.65	0.52
Opened System 25°C (72 h)	10.2183	6.0558	4.1625	40.74	
	10.2355	6.1548	4.0807	39.87	
	10.2247	6.162	4.0627	39.73	
	เฉลี่ย			40.11	0.54

ภาวะการเก็บรักษา	น้ำหนักหมูหันก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหมูหันหลังอบ (กรัม)	น้ำหนักที่หายไป (กรัม)	ร้อยละความชื้น	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Opened System 25°C (96 h)	10.152	5.832	4.32	42.55	
	10.2588	5.698	4.5608	44.46	
	10.3657	6.13	4.2357	40.86	
	เฉลี่ย			42.62	1.80
Opened System 25°C (120 h)	10.1207	5.5426	4.5781	45.24	
	10.3346	5.7344	4.6002	44.51	
	10.2278	5.5575	4.6703	45.66	
	เฉลี่ย			45.14	0.58
Opened System 4°C (24 h)	10.2248	9.0766	1.1482	11.23	
	10.3844	9.2187	1.1657	11.23	
	10.2843	9.1953	1.089	10.59	
	เฉลี่ย			11.01	0.37
Opened System 4°C (48 h)	10.2066	8.0987	2.1079	20.65	
	10.0944	8.1283	1.9661	19.48	
	10.2523	8.1484	2.1039	20.52	
	เฉลี่ย			20.22	0.64
Opened System 4°C (72 h)	10.1547	7.6835	2.4712	24.34	
	10.2011	7.6002	2.6009	25.50	
	10.1566	7.7087	2.4479	24.10	
	เฉลี่ย			24.64	0.75
Opened System 4°C (96 h)	10.0993	7.465	2.6343	26.08	
	10.2017	7.5656	2.6361	25.84	
	10.164	7.4124	2.7516	27.07	
	เฉลี่ย			26.33	0.65
Opened System 4°C (120 h)	10.1312	7.387	2.7442	27.09	
	10.1488	7.386	2.7628	27.22	
	10.3345	7.489	2.8455	27.53	
	เฉลี่ย			27.28	0.23

ภาวะการเก็บรักษา	น้ำหนักหมูหันก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหมูหันหลังอบ (กรัม)	น้ำหนักที่หายไป (กรัม)	ร้อยละความชื้น	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Closed System 25°C (24 h)	10.1416	7.9772	2.2476	21.34	
	10.2809	8.1134	2.1675	21.08	
	10.1673	7.8944	2.2729	22.36	
	เฉลี่ย			21.59	0.67
Closed System 25°C (48 h)	10.144	8.008	2.1986	21.06	
	10.0892	8.0164	2.0728	20.54	
	10.22	8.0236	2.1964	21.49	
	เฉลี่ย			21.03	0.47
Closed System 25°C (72 h)	10.1349	7.9763	2.1784	21.30	
	10.2059	7.9452	2.2607	22.15	
	10.1875	7.9544	2.2331	21.92	
	เฉลี่ย			21.79	0.44
Closed System 25°C (96 h)	10.1558	7.9237	2.1756	21.98	
	10.2331	8.0167	2.2164	21.66	
	10.3204	8.1455	2.1749	21.07	
	เฉลี่ย			21.57	0.46
Closed System 25°C (120 h)	10.1447	7.9614	2.1698	21.52	
	10.0879	7.8938	2.1941	21.75	
	10.1572	7.9699	2.1873	21.53	
	เฉลี่ย			21.60	0.13
Closed System 25°C (24 h)	10.1523	9.1287	1.0236	10.08	
	10.2408	9.0865	1.1543	11.27	
	10.2055	9.1457	1.0598	10.38	
	เฉลี่ย			10.58	0.62
Closed System 4°C (48 h)	10.1187	8.102	2.0167	19.93	
	10.2356	8.2987	1.9369	18.92	
	10.1323	8.0782	2.0541	20.27	
	เฉลี่ย			19.71	0.70

ภาวะการเก็บรักษา	น้ำหนักหมูหันก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหมูหันหลังอบ (กรัม)	น้ำหนักที่หายไป (กรัม)	ร้อยละความชื้น	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Closed System 4°C (72 h)	10.0894	8.0835	2.0059	19.88	
	10.1464	8.1278	2.0186	19.89	
	10.0672	8.1023	1.9649	19.52	
	เฉลี่ย			19.76	0.21
Closed System 4°C (96 h)	10.0923	8.0881	2.0042	19.86	
	10.1466	8.1456	2.001	19.72	
	10.129	8.1032	2.0258	20.00	
	เฉลี่ย			19.86	0.14
Closed System 4°C (120 h)	10.0928	8.0873	2.0055	19.87	
	10.1564	8.1255	2.0309	20.00	
	10.229	8.234	1.995	19.50	
	เฉลี่ย			19.79	0.26

## 2. การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดขดต่างในตัวอย่างหมูหัน

ตาราง ก-3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างหมูหันก่อนการทดลอง

การทดลองครั้งที่	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	6.66	
2	6.42	
3	6.37	
เฉลี่ย	6.48	0.16

ตาราง ก-4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของหมูหันที่ภาวะการทดลองต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
Opened System 25°C (24 h)	6.66 ± 0.01
Opened System 25°C (48 h)	6.41 ± 0.01
Opened System 25°C (72 h)	6.28 ± 0.01
Opened System 25°C (96 h)	5.82 ± 0.01
Opened System 25°C (120 h)	5.48 ± 0.01
Opened System 4°C (24 h)	6.57 ± 0.01
Opened System 4°C (48 h)	6.53 ± 0.01
Opened System 4°C (72 h)	6.56 ± 0.01
Opened System 4°C (96 h)	6.49 ± 0.01
Opened System 4°C (120 h)	6.52 ± 0.01
Closed System 25°C (24 h)	6.40 ± 0.01
Closed System 25°C (48 h)	6.36 ± 0.01
Closed System 25°C (72 h)	6.23 ± 0.01
Closed System 25°C (96 h)	5.92 ± 0.01
Closed System 25°C (120 h)	5.84 ± 0.01
Closed System 4°C (24 h)	6.53 ± 0.01
Closed System 4°C (48 h)	6.41 ± 0.01
Closed System 25°C (72 h)	6.33 ± 0.01
Closed System 25°C (96 h)	6.38 ± 0.01
Closed System 25°C (120 h)	6.45 ± 0.01

### 3. การหาค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างหมูหัน

ปริมาณของ เปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นนั้น สามารถคำนวณได้จากสมการของ Heldrich (Heldrich, 1990) ดังนี้

$$\begin{aligned}
 PV &= \frac{\text{meq. thio}}{\text{kg sample}} \\
 &= \frac{N \text{ thio} \times V \text{ thio}}{\text{kg sample}} \\
 &= \frac{(0.005 \times ) \times (VS - VB) \times 1000 \text{ meq.}}{\text{Ml g sample}} \\
 &= \frac{5 \times (VS - VB)}{\text{g sample}}
 \end{aligned}$$

กำหนดให้ Vs = ปริมาตร Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่ใช้ในการไทเทรตสารตัวอย่าง

VB = ปริมาตร Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่ใช้ในการไทเทรต blank

หรือ Peroxide Value =  $\frac{\text{Normality ของ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times \text{ปริมาตร Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ที่ใช้}}{\text{น้ำหนักของน้ำมัน (g)}} \times 1000$

ตาราง ก-5 ค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างหมูหัน

ตัวอย่าง	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาณ Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ในการไทเทรตสารตัวอย่าง (mL)	ปริมาณ Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ในการไทเทรต Blank (mL)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (Meq/Kg oil)
Opened System 25°C (24 h)	5.0125	0.3	0.10	2.00 ± 0.02
Opened System 25°C (48 h)	5.0007	0.35	0.10	2.50 ± 0.03
Opened System 25°C (72 h)	5.1940	0.40	0.10	2.89 ± 0.02
Opened System 25°C (96 h)	5.0897	0.40	0.10	2.95 ± 0.02
Opened System 25°C (120 h)	5.2340	0.45	0.10	3.34 ± 0.03
Opened System 4°C (24 h)	5.1882	0.25	0.10	1.45 ± 0.02
Opened System 4°C (48 h)	5.2010	0.30	0.10	1.92 ± 0.02
Opened System 4°C (72 h)	5.0978	0.30	0.10	1.96 ± 0.02
Opened System 4°C (96 h)	5.1213	0.30	0.10	1.95 ± 0.02

ตัวอย่าง	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาณ Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ในการ ไทเทรตสาร ตัวอย่าง (mL)	ปริมาณ Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ในการ ไทเทรต Blank (mL)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (Meq/Kg oil)
Opened System 4°C (120 h)	5.1443	0.35	0.10	2.43 ± 0.02
Closed System 25°C (24 h)	5.2138	0.20	0.10	0.96 ± 0.03
Closed System 25°C (48 h)	5.0208	0.20	0.10	1.00 ± 0.03
Closed System 25°C (72 h)	5.0459	0.30	0.10	1.98 ± 0.02
Closed System 25°C (96 h)	5.1076	0.35	0.10	2.45 ± 0.03
Closed System 25°C (120 h)	5.1247	0.35	0.10	2.44 ± 0.02
Closed System 4°C (24 h)	5.2638	0.15	0.10	0.47 ± 0.03
Closed System 4°C (48 h)	5.0140	0.20	0.10	1.00 ± 0.02
Closed System 25°C (72 h)	5.0459	0.30	0.10	0.97 ± 0.02
Closed System 25°C (96 h)	5.1076	0.35	0.10	0.99 ± 0.02
Closed System 25°C (120 h)	5.1247	0.35	0.10	0.97 ± 0.02

4. การวิเคราะห์ค่าไอโอดีนตามวิธี AOAS, AOAC and IUPAC Wijs (Cyclohexane - Acetic acid Solvent) Method

คำนวณหาปริมาณ ไอโอดีน ตามสูตร

$$IV = \{(B - S) * M * 1269\} / W$$

B = ml ของ 0.1M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่ไตเตรทน้ำกลั่น

S = ml ของ 0.1M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่ไตเตรทตัวอย่าง

M = น้ำหนักตัวอย่าง

ตาราง ก-6 ค่าไอโอดีนของตัวอย่างหมูหัน

ตัวอย่าง	น้ำหนัก ตัวอย่าง	ปริมาณ Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ใน การไทเทรตสาร ตัวอย่าง	ปริมาณ Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ใน การไทเทรต Blank	ค่าไอโอดีน (g Iodien/ 100g oil)
Opened System 25°C (24 h)	5.2638	0.15	0.10	39.0 ± 0.01
Opened System 25°C (48 h)	5.0140	0.20	0.10	43.0 ± 0.01
Opened System 25°C (72 h)	5.1506	0.20	0.10	41.0 ± 0.01
Opened System 25°C (96 h)	5.0578	0.20	0.10	38.0 ± 0.01
Opened System 25°C (120 h)	5.1431	0.20	0.10	42.0 ± 0.01
Opened System 4°C (24 h)	5.2138	0.20	0.10	47.0 ± 0.01
Opened System 4°C (48 h)	5.0208	0.20	0.10	45.0 ± 0.01
Opened System 4°C (72 h)	5.0459	0.30	0.10	48.0 ± 0.01
Opened System 4°C (96 h)	5.1076	0.35	0.10	45.0 ± 0.01
Opened System 4°C (120 h)	5.1247	0.35	0.10	46.0 ± 0.01
Closed System 25°C (24 h)	5.1882	0.25	0.10	56.0 ± 0.01
Closed System 25°C (48 h)	5.2010	0.30	0.10	54.0 ± 0.01
Closed System 25°C (72 h)	5.0978	0.30	0.10	51.0 ± 0.01
Closed System 25°C (96 h)	5.1213	0.30	0.10	53.0 ± 0.01
Closed System 25°C (120 h)	5.1443	0.35	0.10	55.0 ± 0.01
Closed System 4°C (24 h)	5.0125	0.3	0.10	72.0 ± 0.01
Closed System 4°C (48 h)	5.0007	0.35	0.10	69.0 ± 0.01
Closed System 25°C (72 h)	5.1940	0.40	0.10	74.0 ± 0.01
Closed System 25°C (96 h)	5.0897	0.40	0.10	73.0 ± 0.01
Closed System 25°C (120 h)	5.2340	0.45	0.10	70.0 ± 0.01

## ประวัติผู้วิจัย

นางฐิตินาถ สุคนตร์ เกิดเมื่อวันที่ 19 กันยายน 2518 ที่จังหวัดระนอง สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรี สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2540 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2543 และสำเร็จปริญญาเอก สาขาปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2553 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ หลักสูตร อาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต