

การใช้สารสกัดจากดอกกระเจียบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน  
เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

UTILIZATION OF THE EXTRACTS FROM RED SORREL (*HIBISCUS  
SABDARIFFA* LINN) PEEL AND SEED OF TANGERINE (*CITRUS  
RETICULATA* BLANCO) AS NATURAL ANTIOXIDANTS  
IN MEAT PRODUCTS

สุริยญา โฟดิษฐศิริ  
SURINYA PHODITSIRI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974-9708-06-7

การใช้สารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน  
เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

UTILIZATION OF THE EXTRACTS FROM RED SORREL(*HIBISCUS  
SABDARIFFA* LINN) PEEL AND SEED OF TANGERINE(*CITRUS  
RETICULATA* BLANCO) AS NATURAL ANTIOXIDANTS  
IN MEAT PRODUCTS



สุริยญา โพธิษฐศิริ

SURINYA PHODITSIRI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

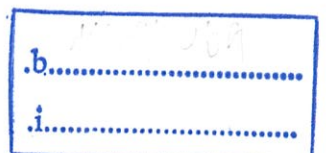
เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 51653

วัน,เดือน,ปี 26 ก.ค. 2547

พ.ศ.2547

ISBN 974-970-806-7



UTILIZATION OF THE EXTRACTS FROM RED SORREL(*HIBISCUS  
SABDARIFFA* LINN) PEEL AND SEED OF TANGERINE(*CITRUS  
RETICULATA* BLANCO) AS NATURAL ANTIOXIDANTS  
IN MEAT PRODUCTS

SURINYA PHODITSIRI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

ISBN 974-970-806-7

**COPYRIGHT 2004**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**บัณฑิตวิทยาลัย**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

-----

**หัวข้อวิทยานิพนธ์**      การใช้สารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์  
UTILIZATION OF THE EXTRACTS FROM RED SORREL (*HIBISCUS SABDARIFFA* LINN), PEEL AND SEED OF TANGERINE (*CITRUS RETICULATA* BLANCO) AS NATURAL ANTIOXIDANTS IN MEAT PRODUCTS

**ชื่อนักศึกษา**                      นางสาวสุริยญา โปษิติชญศิริ

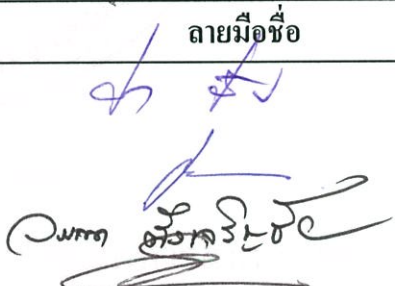
**รหัสประจำตัว**                      44066012

**ปริญญา**                              วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา**                            วิทยาศาสตร์การอาหาร

**อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์**      ผศ.ดร.ประพันธ์              ปิ่นศิริโรดม

**อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม**    ผศ.เขवालักษณ์              สุรพันธ์พิศิษฐ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ประพันธ์	ปิ่นศิริโรดม	
ผศ.เขवालักษณ์	สุรพันธ์พิศิษฐ์	
รศ.ดร.วรรณ	ตั้งเจริญชัย	
ผศ.ดร.ระติพร	หาเรือนกิจ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 21 พฤษภาคม 2547 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป  
สถานที่สอบ ณ ห้องสัมมนา D 213 อาคารเจ้าคุณทหาร

  
บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว  
(ผศ.ดร.จางูวัตร เจริญสุข)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้สารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ด เขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์
นักศึกษา	นางสาวสุริยญา โพรดิษฐ์ศิริ
รหัสประจำตัว	44066012
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิชัย

## บทคัดย่อ

จากการศึกษาการใช้สารสกัดกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานเติมลงในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ 2 ชนิดคือ หมูแผ่นและกุนเชียงที่ระดับ 0.05, 0.1, 0.2 และ 0.3% โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันของสารสกัดดังกล่าวกับสารบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก โดยการวิเคราะห์ค่า PV และ TBARS ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ดิบบรรจุแบบสุญญากาศในถุงพลาสติกชนิด nylon/LLDPE เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ( $30 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) และ  $4^{\circ}\text{C}$  และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์สุกบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 28 วัน พบว่าการใช้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก เติมลงในส่วนผสมทั้งของหมูแผ่นดิบและสุกจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม แต่การใช้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงเติมลงในส่วนผสมทั้งของกุนเชียงดิบและสุกไม่มีผลในการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชัน ส่วนการใช้สารสกัดเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1% และ 0.2% โดยน้ำหนัก เติมลงในส่วนผสมทั้งของหมูแผ่นและกุนเชียงทั้งดิบและสุกจะให้ผลในการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามการใช้สารสกัดทั้ง 3 ชนิดที่ระดับดังกล่าวยังคงมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันต่ำกว่าการใช้สารบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก และแม้ว่าสารสกัดทั้ง 3 ชนิดจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันได้ดีเมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ทั้งสองชนิด แต่ก็ยังมีปัญหาในด้านสีและรสชาติซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

<b>Thesis Title</b>	Utilization of the Extracts from Red Sorrel( <i>Hibiscus sabdariffa</i> Linn), Peel and Seed of Tangerine( <i>Citrus reticulata</i> Blanco) as Natural Antioxidants in Meat Products.
<b>Student</b>	Miss Surinya Phoditsiri
<b>Student ID.</b>	44066012
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Programme</b>	Food Science
<b>Year</b>	2004
<b>Thesis advisor</b>	Assistant Professor Dr.Praphan Pinsirodom
<b>Thesis coadvisor</b>	Assistant Professor Yaowalak Surapuntaphisit

## ABSTRACT

Antiliperoxidant capacities of red sorrel, tangerine peel, and tangerine seed extracts in raw and cooked pork chips or Chinese sausages at the concentration of 0.05, 0.1, 0.2 and 0.3% w/w were evaluated by measuring changes in PV and TBARS values during storage. The raw pork chips and Chinese sausages were vacuum-packed in laminated nylon/LLDPE bags and stored at room temperature ( $30\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) or at  $4^{\circ}\text{C}$ , while the cooked products were packed in PP bags and stored at room temperature ( $30\pm 3^{\circ}\text{C}$ ). During 28-day storage, red sorrel extract at 0.3% w/w showed antiliperoxidant property only in pork chip for both raw and cooked products, while addition of tangerine peel and seed extracts at 0.1% and 0.2% w/w, respectively was effective in all products studied. However, the three extracts at all concentrations evaluated exhibited less effective antiliperoxidant property compared to BHT at 0.01% w/w. Moreover, the use of these extracts as natural antioxidants influenced sensory qualities in terms of color and taste of the products.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จากอาจารย์ ผศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม และ ผศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมทั้งกรุณาให้ความรู้ในการทดลองและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ และ รศ.ดร.วรรณมา ตังเจริญชัย ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนคณาจารย์ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร ทุกท่านที่ได้แนะแนวทางในการศึกษา รวมทั้งความรู้และคำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ขอขอบคุณผู้จัดการบริษัท F.A. Flavor ที่ให้ความอนุเคราะห์สารกันหืนบีเอชที

ขอขอบคุณคุณเยาวลักษณ์ สิงหา และคุณภิรมย์ ตาเรือนสอน ที่อำนวยความสะดวกในการติดต่อกับบริษัท F.A. Flavor และช่วยจัดหาวัสดุและอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกท่านที่ให้ความร่วมมือตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ ผู้เป็นที่เคารพรักยิ่ง รวมทั้งน้าชาย ที่ให้ความรักให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนและช่วยเหลือทุกด้านตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอบพระคุณผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุริยญา โพรดิษฐ์ศิริ

14 พฤษภาคม 2547

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ปฏิกริยาไลโปคเปอร์ออกซิเดชัน.....	3
2.2 ผลกระทบต่ออาหารกึ่งแห้ง.....	15
2.3 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	17
2.4 กระจับแดง.....	18
2.5 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบในกระจับแดง.....	20
2.6 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดกระจับแดง.....	24
2.7 เปลือกและเมล็ดพีชตระกูลส้ม.....	25
2.8 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบในพีชตระกูลส้ม.....	27
2.9 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดเปลือกและเมล็ดพีชตระกูลส้ม.....	36
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	39
3.1 วัตถุประสงค์.....	39
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	40
3.3 สถานที่ดำเนินงาน.....	41
3.4 วิธีดำเนินงาน.....	41

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....</b>	<b>47</b>
4.1 สมบัติทางเคมีบางประการของหมูแผ่นและกุนเชียง.....	47
4.2 การใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ ในหมูแผ่นและกุนเชียง.....	47
4.3 การใช้สารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ ในหมูแผ่นและกุนเชียง.....	68
4.4 การใช้สารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ ในหมูแผ่นและกุนเชียง.....	87
4.5 ผลของการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานใน หมูแผ่นและกุนเชียงต่อการยอมรับด้านประสาทสัมผัส.....	106
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....</b>	<b>110</b>
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>111</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>117</b>
ภาคผนวก ก.....	118
ภาคผนวก ข.....	123
ภาคผนวก ค.....	125
ภาคผนวก ง.....	131
ภาคผนวก จ.....	137
<b>ประวัติผู้เขียน.....</b>	<b>143</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณไขมันที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อสัตว์ชนิดต่าง.....	7
2.2 โครงสร้างทางเคมีที่สำคัญและลักษณะการแทนที่ด้วยหมู่ต่างๆ บน โมเลกุล ของเฟลโวนอยด์ที่พบในพืชตระกูลส้ม.....	31
2.3 หมู่ฟังก์ชันของเฟลโวนอยด์ชนิดต่างๆ ที่พบในพืชตระกูลส้มซึ่งมีผลต่อสมบัติ การต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	33
4.1 สมบัติทางเคมีบางประการของหมูแผ่นและกุนเชียง.....	45
4.2 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เดิมสารสกัด จากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	65
4.3 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เดิมสารสกัด จากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C.....	65
4.4 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุกที่เดิมสารสกัด จากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	66
4.5 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุนเชียงดิบที่เดิมสารสกัด จากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	67
4.6 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุนเชียงดิบที่เดิมสารสกัด จากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C.....	67
4.7 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุนเชียงสุกที่เดิมสารสกัด จากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	68
4.8 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เดิมสารสกัด จากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	83
4.9 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เดิมสารสกัด จากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C.....	84
4.10 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุกที่เดิมสารสกัด จากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	84
4.11 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุนเชียงดิบที่เดิมสารสกัด จากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	86

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุนเชียงดิบที่เดิมสารสกัด จากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 <sup>o</sup> ซ.....	86
4.13 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุนเชียงสุกที่เดิมสารสกัด จากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	87
4.14 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เดิมสารสกัด จากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	102
4.15 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เดิมสารสกัด จากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 <sup>o</sup> ซ.....	103
4.16 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุกที่เดิมสารสกัด จากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	103
4.17 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุนเชียงดิบที่เดิมสารสกัด จากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	105
4.18 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุนเชียงดิบที่เดิมสารสกัด จากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 <sup>o</sup> ซ.....	105
4.19 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุนเชียงสุกที่เดิมสารสกัด จากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	106
4.20 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมูแผ่น.....	107
4.21 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กุนเชียง.....	108
ค1 ค่า L* ของหมูแผ่นดิบที่เดิมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง และ 4 <sup>o</sup> ซ.....	125
ค2 ค่า b* ของหมูแผ่นดิบที่เดิมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง และ 4 <sup>o</sup> ซ.....	126
ค3 ค่า L* ของหมูแผ่นสุกที่เดิมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง.....	127
ค4 ค่า b* ของหมูแผ่นสุกที่เดิมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง.....	127

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค5 คำ L* ของกุนเชียงดิบที่เดิมสารสกัดจากกระเจียบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°C.....	128
ค6 คำ b* ของกุนเชียงดิบที่เดิมสารสกัดจากกระเจียบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°C.....	129
ค7 คำ L* ของกุนเชียงสุกที่เดิมสารสกัดจากกระเจียบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	130
ค8 คำ b* ของกุนเชียงสุกที่เดิมสารสกัดจากกระเจียบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	130
ง1 คำ L* ของหมูแผ่นดิบที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°C.....	131
ง2 คำ b* ของหมูแผ่นดิบที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°C.....	132
ง3 คำ L* ของหมูแผ่นสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	133
ง4 คำ b* ของหมูแผ่นสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	133
ง5 คำ L* ของกุนเชียงดิบที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°C.....	134
ง6 คำ b* ของกุนเชียงดิบที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°C.....	135
ง7 คำ L* ของกุนเชียงสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	136
ง8 คำ b* ของกุนเชียงสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	136
จ1 คำ L* ของหมูแผ่นดิบที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°C.....	137

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ2 คำ b* ของหมูแผ่นคิบที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 <sup>o</sup> ซ.....	138
จ3 คำ L* ของหมูแผ่นสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	139
จ4 คำ b* ของหมูแผ่นสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	139
จ5 คำ L* ของกุนเชียงคิบที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 <sup>o</sup> ซ.....	140
จ6 คำ b* ของกุนเชียงคิบที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4 <sup>o</sup> ซ.....	141
จ7 คำ L* ของกุนเชียงสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	142
จ8 คำ b* ของกุนเชียงสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	142

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกติวิตีกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	8
2.2 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เกี่ยวข้องกับการเร่งปฏิกิริยาของสารประกอบฮีมาติน.....	9
2.3 อัตราการเกิดออกซิเดชันของเอทิลลิโนเลอิกที่ 55°C ความดัน 46 มิลลิเมตรปรอท.....	10
2.4 โครงสร้างของแอนโรไซยานิน.....	21
2.5 โครงสร้างของแอนโรไซยานินที่พบในกระเจี๊ยบแดง.....	22
2.6 โครงสร้างของไฮบิสซีทินและไฮบิสซีทริน.....	23
2.7 โครงสร้างของไฮบิสคัสและกรดโปรโตแคทีชีวอิก.....	23
2.8 โครงสร้างของเฟลโวนอยด์.....	28
2.9 โครงสร้างของเฟลวาโนน.....	29
2.10 โครงสร้างของเฟลโวน.....	29
2.11 โครงสร้างของเฟลโวนอล.....	30
2.12 หมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างของเฟลโวนอยด์ในลักษณะต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	32
4.1 ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมู่ม้วนดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	49
4.2 ค่า TBARS ของหมู่ม้วนดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	50
4.3 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของหมู่ม้วนสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	50
4.4 ค่าเปอร์ออกไซด์ของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	51
4.5 ค่า TBARS ของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	52
4.6 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	52
4.7 ค่า TBARS ของกุนเชียงดิบที่เติมน้ำตาลทรายที่ระดับ 0%(ก.) และ 7.23%(ข.).....	53

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.8 ค่า TBARS ของกุนเชียงดิบที่เติมน้ำตาลทรายที่ระดับต่างๆ.....	54
4.9 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	56
4.10 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	57
4.11 ค่า a* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	60
4.12 ค่า a* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	60
4.13 ค่า a* ของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	61
4.14 ค่า a* ของกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	61
4.15 ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	70
4.16 ค่า TBARS ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	71
4.17 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	71
4.18 ค่าเปอร์ออกไซด์ของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	73
4.19 ค่า TBARS ของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	74
4.20 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	74
4.21 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	76

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.22 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	77
4.23 ค่า a* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	80
4.24 ค่า a* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	80
4.25 ค่า a* ของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	81
4.26 ค่า a* ของกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	81
4.27 ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	89
4.28 ค่า TBARS ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	90
4.29 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	90
4.30 ค่าเปอร์ออกไซด์ของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	92
4.31 ค่า TBARS ของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	93
4.32 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	93
4.33 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	95
4.34 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	96

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.35 คำ a* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	99
4.36 คำ a* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	99
4.37 คำ a* ของกุ้งแช่แข็งดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.).....	100
4.38 คำ a* ของกุ้งแช่แข็งสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	100

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เป็นอาหารที่มีโปรตีนคุณภาพสูงและมีไขมันเป็นองค์ประกอบปริมาณมาก จึงมักประสบปัญหาการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันและรงควัตถุไมโอโกลบิน(myoglobin) ทำให้เกิดกลิ่นหืน กลิ่นรสที่ผิดปกติ และสีเปลี่ยนไปจากเดิม ส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการลดลง และทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค หมูแผ่นและกุนเชียงเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กึ่งแห้งที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี(water activity)ประมาณ 0.75(Huang and Nip, 2001)สามารถเก็บรักษาและวางจำหน่ายภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้อง ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นได้เป็นระยะเวลานาน โดยไม่เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์แต่ก็มักจะมีการเหม็นหืนเกิดขึ้น ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน ดังนั้นจึงนิยมใช้วัตถุเจือปนที่มีฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน(สารกันหืน) เช่น บีเอชเอ บีเอชที และโพรพิลแกลเลต เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารสังเคราะห์ที่มีราคาแพงและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ ถ้าได้รับในปริมาณมาก(Moure *et al.*, 2001) ด้วยเหตุผลดังกล่าวนักวิทยาศาสตร์การอาหารจึงให้ความสนใจสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ(natural antioxidant)มากขึ้น ตัวอย่างของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากธรรมชาติได้แก่ วิตามินอี และสารสกัดจากเครื่องเทศและสมุนไพรต่างๆ แต่การใช้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาตินักประสบปัญหาในเรื่องของประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันไม่ดีพอ ความสามารถในการละลายได้เฉพาะในไขมัน รวมทั้งกลิ่นรสเฉพาะของเครื่องเทศและสมุนไพรที่อาจมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารได้ ดังนั้นการวิจัยเพื่อหาแหล่งของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติจากพืชชนิดต่างๆ จึงเป็นการเพิ่มฐานข้อมูลและแนวทางในการประยุกต์ใช้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ได้มีรายงานว่าสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดพืชตระกูลส้ม(ประพันธ์ และวันทนี, 2545; Bocco *et al.*, 1998) รวมทั้งสารสกัดจากกระเจียบแดง(Tseng *et al.*, 1997; Tsai *et al.*, 2002; Tee *et al.*, 2002) มีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ นอกจากนี้ยังมีการทดลองนำสารสกัดจากพืชตระกูลส้มมาใช้เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น น้ำมันสำหรับทอด และมีทโลฟ(meat loaf) เป็นต้น(Jamilah *et al.*, 1998; Williams and Harris, 1985) ดังนั้นการนำสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำส้มคั้น และสารสกัดจากกระเจียบแดงมาใช้เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในผลิต-

ภัณฑ์เนื้อสัตว์จึงเป็นอีกหัวข้อที่น่าสนใจ และเป็นแนวทางในการนำมาใช้ทดแทนสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสังเคราะห์(synthetic antioxidants)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการของหมูแผ่นและกุนเชียง

1.2.2 ศึกษาการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่นและกุนเชียง

1.2.3 ศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานในหมูแผ่นและกุนเชียงต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่มีสารออกฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์สองชนิดคือ หมูแผ่นและกุนเชียง และศึกษาผลของการใช้สารสกัดดังกล่าวต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยจะเป็นแนวทางในการนำสารสกัดจากพืชมาใช้เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ เพื่อทดแทนการใช้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากการสังเคราะห์

## บทที่ 2

# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ปฏิกริยาไลปิดเปอร์ออกซิเดชัน(lipid peroxidation)

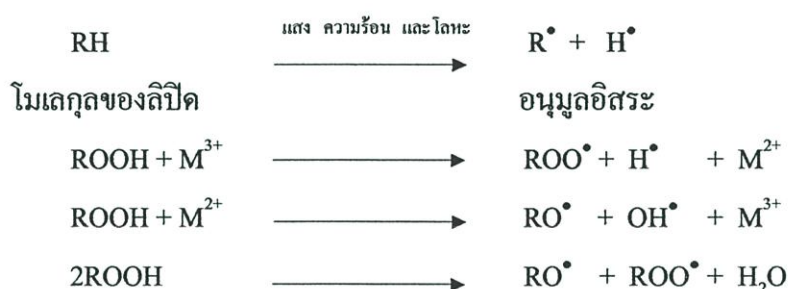
การเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันของกรดไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเสื่อมคุณภาพ(deterioration) นอกเหนือจากการเสื่อมคุณภาพจากจุลินทรีย์ การเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากปฏิกริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน มักจะเกิดกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวเช่น กรดลิโนลีนิก(linoleic acid) กรดลิโนลินิก(linolenic acid) และกรดอะราชิโดนิก(arachidonic acid) เป็นต้น ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้เป็นกรดไขมันที่มีจำนวนพันธะคู่มากกว่าหนึ่งพันธะในโครงสร้าง ซึ่งมีความว่องไวสูงจึงเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศ

ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ การเสื่อมคุณภาพเนื่องมาจากปฏิกริยาออกซิเดชันอาจเกิดจากกลไกที่เกี่ยวข้องหรือไม่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ก็ได้ การเสื่อมคุณภาพที่มีสาเหตุมาจากการทำงานของเอนไซม์เช่น การเกิดปฏิกริยาไฮโดรไลติก(hydrolytic)ในเนยเหลว(butter) โดยเอนไซม์ไลเปสจะไปย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ในไตรกลีเซอไรด์(triglyceride) แล้วให้กรดไขมันสายสั้นเช่น กรดบิวทีริก(butyric acid) กรดคาปริก(caprylic acid) และกรดคาพริก(capric acid) เป็นต้น ซึ่งผลผลิตที่ได้จะเข้าสู่วงจรของปฏิกริยาออกซิเดชันต่อไปทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ในเนยเหลว เอนไซม์อีกชนิดหนึ่งที่มีส่วนสำคัญในการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันคือ เอนไซม์ไลพอกซิเจนเนส(lipoxygenase)พบมากในพืชตระกูลถั่ว การทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิเจนเนสจะไปออกซิไดซ์กรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะที่หมู่เมทิลีน(methylene) ซึ่งอยู่ระหว่างพันธะคู่ที่มีโครงสร้างแบบซิส(cis) เช่น กรดลิโนลีนิก กรดลิโนลินิก และกรดอะราชิโดนิก ทำให้เกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว จนกระทั่งได้อนุมูลอิสระไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และเมื่อไฮโดรเปอร์ออกไซด์เกิดการแตกตัวจะให้อนุมูลอิสระในแบบต่างๆทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ การทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิเจนเนสไม่ขึ้นกับจำนวนพันธะคู่ของกรดไขมันแต่ขึ้นกับความจำเพาะของเอนไซม์ไลพอกซิเจนเนส โดยจะแปรตามปริมาณซิส(cis) และหน่วยของ 1,4-เพนตาไดเอิน(1,4 penta diene unit)เท่านั้น การควบคุมการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันที่มีสาเหตุมาจากเอนไซม์สามารถทำได้โดยทำลายเอนไซม์ให้หมดสภาพ เช่น การใช้ความร้อน การลดปริมาณความชื้นให้ต่ำหรือการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิต่ำ

การเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหารไม่ได้มีสาเหตุมาจากการทำงานของเอนไซม์เพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดจากปฏิกริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่-

อิมัลชันหรือที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่อยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบ ซึ่งก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างต่อเนื่องเมื่อไขมันหรือน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารสัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศ อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ (free radical chain reaction) ซึ่งมีกลไกการเกิดได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

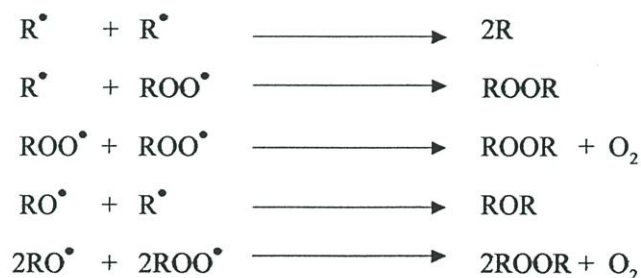
1) Initiation เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ



2) Propagation เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ



3) Termination เป็นปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้ผลผลิตที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระ (non-radical)



ขั้นตอนแรกของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเรียกว่า initiation เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิดการสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมตรงตำแหน่งพันธะคู่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระคือ อนุมูลไฮโดรคาร์บอน และไฮโดรเจนอะตอม ในขั้นตอนนี้อาจมี ความร้อน แสง และ โลหะเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น หลังจากนั้นก็จะเข้าสู่ขั้นตอน propagation คือ อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ได้เป็นอนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy

radical, ROO<sup>\*</sup>) ไฮโดรเปอร์ออกไซด์(hydroperoxide, ROOH) และอนุมูลไฮโดรคาร์บอน อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นใหม่นี้ก็จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนต่อไป เมื่ออัลคิลเรดิคัล(alkyl radical, R<sup>\*</sup>) ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซีซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่ไม่เสถียรสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยไปดึงไฮโดรเจนอะตอมที่บริเวณพันธะคู่จากโมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัวโมเลกุลใหม่ ทำให้ได้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์และมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นใหม่คืออัลคิลเรดิคัล ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนใหม่และปฏิกิริยาจะเกิดวนเวียนซ้ำๆเช่นนี้เรื่อยไป ไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นผลผลิตเริ่มต้นของปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน สารนี้เป็นสารไม่คงตัวจึงเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้โดยการสลายตัวหรือทำปฏิกิริยากับสารอื่น ทำให้เกิดสารประกอบชนิดใหม่ที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดต่างๆกัน ทำให้เกิดสารให้กลิ่นเช่น แอลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ ีโตน และไฮโดรคาร์บอน และเมื่อใดก็ตามที่อนุมูลอิสระมาทำปฏิกิริยากันเองจะเกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระปฏิกิริยาที่จะหยุดลงดังขั้นตอน termination

นอกจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารแล้ว ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์การอาหารยังให้ความสนใจกับการเกิดออกซิเดชันของคอเลสเตอรอลมากขึ้น เนื่องจากผลผลิตที่เกิดขึ้นเป็นพิษต่อเซลล์(cytotoxic) ต่อหลอดเลือด(angiotoxic) ก่อให้เกิดโรคหลอดเลือดแข็งตัว(atherogenesis) ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์(mutagenesis) และเป็นสารก่อมะเร็ง(carcinogenic effect) ผลผลิตที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคอเลสเตอรอลพบได้ในอาหารแปรรูปหลายชนิดที่มาจากสัตว์ เช่น ไข่แดง ไขมันที่ผ่านความร้อน ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์นม แต่จะไม่พบในน้ำมันที่มาจากพืช(นิธิยา, 2545) การเกิดออกซิเดชันของคอเลสเตอรอลนั้นจะเกิดเมื่อมีการสัมผัสกับออกซิเจน ความร้อน แสง และรังสีต่างๆ สำหรับในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์นั้นการเกิดออกซิเดชันของคอเลสเตอรอลจะเกิดในขั้นตอนของการให้ความร้อน การเก็บรักษาแบบแช่แข็ง และขั้นตอนต่างๆในระหว่างกระบวนการแปรรูป(Wong *et al.*, 1995)

### 2.1.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหาร

ไขมันและน้ำมันที่อยู่ในอาหารมีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันชนิดต่างๆ หลายชนิดซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี รวมทั้งความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้ส่วนประกอบอื่นๆในอาหารอาจทำหน้าที่ร่วมกันออกซิไดซ์(co-oxidize)หรือทำปฏิกิริยากับไขมันหรือน้ำมันที่ถูกออกซิไดซ์แล้ว หรือผลผลิตที่เกิดจากการออกซิเดชัน ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและค่อนข้างสลับซับซ้อน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันมีดังนี้

**2.1.1.1 ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ** เนื่องจากชนิดของกรดไขมันในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันมีผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งการเกิดออกซิเดชันสามารถเกิดได้ทั้งกับกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว แต่อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันและระดับความไม่อิ่มตัว โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากจะเกิดได้เร็วกว่าดังนี้ กรดอะราชิโดนิก(20:4) > กรดลิโนเลนิก(18:3) > กรดลิโนเลอิก(18:2) > กรดโอเลอิก(18:1) นอกจากนี้ตำแหน่งและโครงสร้างของพันธะคู่ยังมีผลด้วยคือ กรดไขมันที่มีโครงสร้างแบบซิสไอโซเมอร์(cis isomer) จะถูกออกซิไดส์ได้เร็วกว่าทรานไอโซเมอร์(trans isomer)และตำแหน่งที่เป็นพันธะคู่แบบคอนจูเกต(conjugated double bond) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วกว่าพันธะคู่ที่ไม่ใช่แบบคอนจูเกต(non conjugated double bond) การเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิห้องไม่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันอิ่มตัว แต่จะมีผลในการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว และเมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการแปรรูปอาหารเช่น การทอด กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวก็อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เช่นเดียวกัน

**2.1.1.2 ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเนื้อเยื่อสัตว์** ในสัตว์แต่ละชนิดจะมีการสะสมไขมันอยู่ตามส่วนต่างๆของร่างกายแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ เพศ อายุ และตำแหน่งเนื้อเยื่อ เมื่อนำเนื้อเยื่อจากสัตว์แต่ละชนิดมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จึงทำให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกัน จากการศึกษาของ Rhee และคณะ(1996) พบว่า เนื้อวัว และเนื้อหมูบด (เนื้อเยื่อส่วน longissimus dorsi และ semimembranosus) ที่เก็บรักษาในสภาวะแช่แข็งมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าเนื้อไก่(เนื้อเยื่อส่วน thigh) เนื่องจากในเนื้อวัวและเนื้อหมูมีรังควัตถุอื่นเป็นองค์ประกอบมากกว่าเนื้อไก่ แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อนำเนื้อสัตว์ดังกล่าวมาทำให้สุกเนื้อไก่จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากที่สุดเนื่องจากตำแหน่งของเนื้อไก่ที่นำมาใช้มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าเนื้อวัวและเนื้อหมู ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจำนวนกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบอยู่ตามเนื้อเยื่อต่างๆเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เนื้อสัตว์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกัน จากตารางที่ 2.1 เนื้อปลาทิลapia มีไขมันเป็นองค์ประกอบ 1.7-1.9% ซึ่งน้อยกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆแต่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากที่สุด(24.5-26.1%) จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่น และยังพบอีกว่าตำแหน่งของเนื้อเยื่อที่แตกต่างกันก็มีผลทำให้มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบที่แตกต่างกันจึงมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่างกันไป

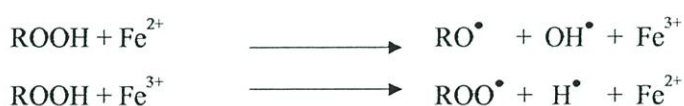
ตารางที่ 2.1 ปริมาณไขมันที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อสัตว์ชนิดต่างๆ

muscle	muscle/strain/variety	percent fat	percent PUFA
Channel catfish	aqua	3.7	24.4
	LSU	5.4	22.1
tilapia	red	1.7	26.1
	blue	1.9	24.5
beef	longissimus dori	4.4	4.9
	semimembranosus	3.5	6.6
pork	longissimus dori	4.5	5.3
	semimembranosus	3.3	9.2
chicken	breast	1.4	18.9
	thigh	6.0	15.5

PUFA, polyunsaturated fatty acid

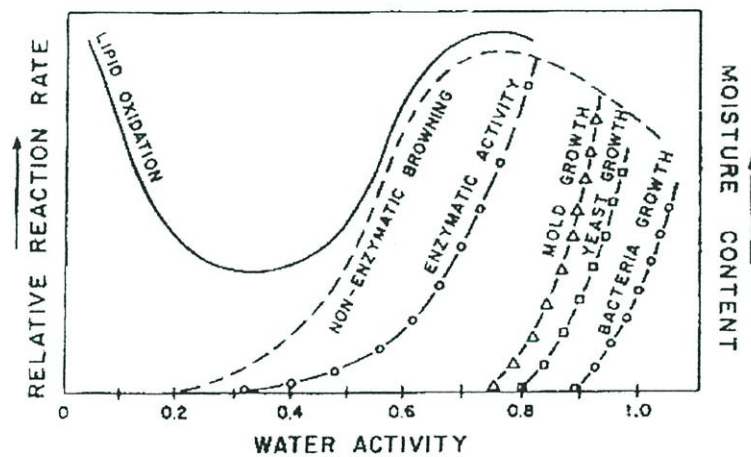
ที่มา : Erickson(1997)

**2.1.1.3 โลหะไอออน** โลหะไอออนที่สำคัญและมีผลในการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่น  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ , และ  $Co^{6+}$  (0.1 ppm) โลหะไอออนเหล่านี้เป็นองค์ประกอบอยู่ในอาหาร ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปอิสระหรือจับอยู่กับสารอื่นๆก็ได้ เมื่อได้รับการกระตุ้นจากความร้อนหรือแสง โลหะไอออนเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปอิสระซึ่งจะไปเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น โดยเฉพาะไปเร่งการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ทำให้เกิดอนุมูลอิสระต่างๆดังสมการ



โลหะไอออนเหล่านี้พบอยู่ใน ฮีโมโกลบิน(hemoglobin,Hb) ไมโอโกลบิน(myoglobin,Mb) ไซโตโครม(cytochrome) และโปรตีนที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นถ้าในน้ำมันหรือผลิตภัณฑ์อาหารมีสารกลุ่มนี้อยู่ก็จะมีโลหะไอออนเหล่านี้อยู่ด้วย สารประกอบดังกล่าวจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีในเนื้อสัตว์ เช่น เนื้อวัว หมู ปลา และไก่ โดยจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นตอน initiation และสายโซ่ของปฏิกิริยา(chain reaction)

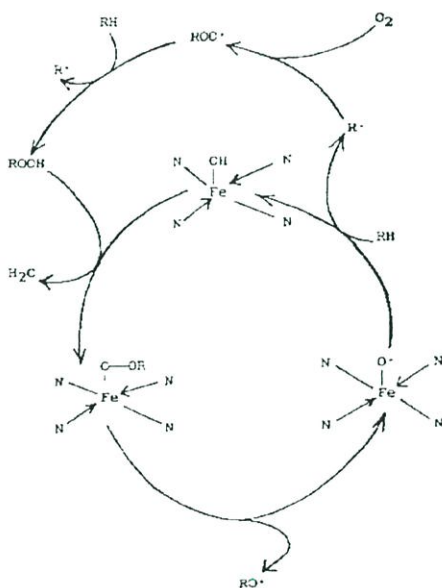
**2.1.1.4 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี(water activity,  $a_w$ )** การลดความชื้นมีผลทำให้อัตราความชื้นของปฏิกิริยาเคมีต่างๆเปลี่ยนแปลงไป สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันก็เช่นเดียวกัน(ภาพที่ 2.1) อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันยังขึ้นอยู่กับค่าวอเตอร์แอกติวิตีด้วยคือ อาหารที่มีความชื้นต่ำมาก(ค่าวอเตอร์แอกติวิตีประมาณ 0.1) ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากสารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะมีมากขึ้นเมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีลดลงต่ำกว่า 0.1 การหืนของไขมันหรือน้ำมันจะเกิดเร็วขึ้นมากเมื่ออาหารมีความชื้นต่ำกว่าจุดนี้ เมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีเพิ่มขึ้นถึง 0.3 จะยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมันให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด เนื่องจากน้ำจะไม่สามารถนำโลหะไปยังจุดที่เกิดปฏิกิริยาได้อีกต่อไปปฏิกิริยาจึงเกิดช้าที่สุด และที่ผิวของไขมันหรือน้ำมันจะมีน้ำเกาะอยู่โดยจับตัวกับสารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ปฏิกิริยาดำเนินช้าลง อีกทั้งน้ำยังเกาะและหุ้มผิวของโลหะที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไว้ทั้งหมดซึ่งก็ช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดช้าลงเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามเมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีเพิ่มมากขึ้นอยู่ในช่วง 0.55-0.85 อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งเนื่องจากมีปริมาณน้ำมากพอที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโลหะไอออนและออกซิเจนจึงมีผลไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้



ภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกติวิตีกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน  
ที่มา : Labuza และคณะ(1972)

**2.1.1.5 สารประกอบฮีมาติน(haematin compounds)** สารประกอบฮีมาตินพบได้ทั่วไปในอาหาร โดยเฉพาะรงควัตถุในเนื้อสัตว์ได้แก่ ฮีม(heam,  $Fe^{2+}$ ) และฮีมิน(heamin,  $Fe^{3+}$ ) สารประกอบฮีมาตินดังกล่าวมีสมบัติเป็น โปรออกซิแดนซ์(pro-oxidant) ที่ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้เอนไซม์แคทาเลสและเปอร์ออกซิเดสยังเป็นโปรตีนที่มีองค์ประกอบของฮีมในโมเลกุลพบได้ในพืชหลายชนิด สำหรับฮีมโกลบิน(haemoglobin) ไมโกลบิน(myo-

globin) และไซโตโครม C (cytochrome C) จะพบได้ในเนื้อเยื่อของสัตว์ โดยสารประกอบดังกล่าวจะมีผลเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน(lipid autoxidation)ให้เกิดเร็วขึ้น สารประกอบฮีมาตินจะมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกัน โดยความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฮีมาตินเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยดังนี้ ไซโตโครม C > ฮีมีน > ฮีโมโกลบิน > แคทาเลส ตามลำดับ การใช้ความร้อนกับเอนไซม์ที่มีฮีมีนเป็นองค์ประกอบจะทำให้โปรตีนของเอนไซม์เสียสภาพได้ แต่สภาวะดังกล่าวจะส่งผลให้องค์ประกอบของฮีมีนสมบัติเป็นโปรออกซิแดนซ์หลายเท่า ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการคลายตัวของสายโปรตีนทำให้ไอออนของธาตุเหล็กไม่ถูกคบบังและสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ง่ายขึ้น กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เกี่ยวข้องกับการเร่งปฏิกิริยาของสารประกอบฮีมาตินแสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เกี่ยวข้องกับการเร่งปฏิกิริยาของสารประกอบฮีมาติน

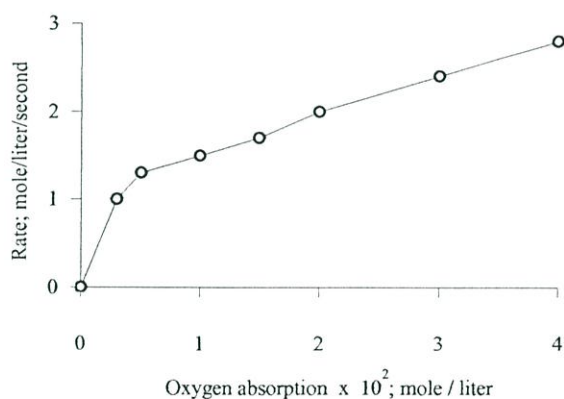
ที่มา : Kochhar(1996)

จากภาพสารประกอบฮีมาตินจะไปเร่งการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ได้ เป็นอนุมูลอิสระชนิดใหม่คือ  $FeOOR$  เมื่ออนุมูลอิสระนี้เกิดการแตกหักจะให้อนุมูลอิสระคือ  $FeO\cdot$  และอัลคอกซิล(alkoxy radical,  $RO\cdot$ ) ซึ่งอัลคอกซิลจะเข้าสู่ขั้นตอน initiator ของปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไป สำหรับ  $FeO\cdot$  เป็นอนุมูลอิสระที่ขาดไฮโดรเจนอะตอมก็จะไปดึงไฮโดรเจนอะตอมของกรดไขมัน(RH) เพื่อให้ตัวเองอยู่ในสภาวะที่เสถียรเมื่อโมเลกุลของไขมันขาด

ไฮโดรเจนอะตอมก็จะกลายเป็นอัลคิลเรดิคัล(alkyl radical,  $R^\bullet$ ) ซึ่งก็จะเข้าสู่ขั้นตอนของปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไป

**2.1.1.6 ความร้อนและแสงสว่าง** ความร้อนจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น  $10^\circ\text{C}$  การเพิ่มอุณหภูมิจะเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอน propagation และเร่งการสลายตัวของเปอร์ออกไซด์ซึ่งจะให้อนุมูลอิสระมากขึ้น เช่น ในกรรมวิธีการทอดอาหารด้วยน้ำมันท่วม(deep fat frying) ในทำนองเดียวกันแสงอุลตราไวโอเลตก็จะเร่งการสลายตัวของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์

**2.1.1.7 ปริมาณออกซิเจนที่ไขมันดูดซับไว้(oxygen absorption)** อัตราการเกิดออกซิเดชันมีความสัมพันธ์กับปัจจัยหลายประการเช่น ปริมาณออกซิเจนที่ไขมันดูดซับไว้ จากภาพที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเริ่มต้นอัตราการเกิดออกซิเดชันเท่ากับศูนย์ เพราะออกซิเจนยังไม่ได้ถูกดูดซับไว้เลย เมื่อไขมันดูดซับออกซิเจนในปริมาณที่สูงขึ้น อัตราการเกิดออกซิเดชันก็จะสูงขึ้นโดยมีความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง ซึ่งมักเกิดขึ้นกับอาหารแห้งหรือกึ่งแห้งที่มีปริมาณความชื้นต่ำเช่น แป้งมันฝรั่ง และเนื้อแห้ง



ภาพที่ 2.3 อัตราการเกิดออกซิเดชันของเอทิลลิโนลีเอท ที่  $55^\circ\text{C}$  ความดัน 46 มิลลิเมตรปรอท ที่มา : ไพโรจน์(2539)

ในกรณีที่มีออกซิเจนจำกัด เช่น การบรรจุแบบสุญญากาศ การเกิดเปอร์ออกไซด์จะค่อยๆ ลดต่ำลงเมื่อออกซิเจนอิสระ(free oxygen)ถูกใช้ไป แต่อย่างไรก็ตามการเกิดเปอร์ออกไซด์ยังคงดำเนินต่อไปเป็นระยะเวลานาน ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความคงตัวของเปอร์ออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้นแล้วการเกิดเปอร์ออกไซด์ก็จะหมดไป ไขมันหรือน้ำมันก็จะเกิดผลิตภัณฑ์ในขั้นที่สอง(secondary products)และเกิดกลิ่นเหม็นหืน การเกิดผลิตภัณฑ์ในขั้นที่สองจะดำเนินต่อไปในไขมันหรือน้ำมันที่เก็บไว้ในที่มีออกซิเจนจำกัด จนกระทั่งซับสเตรต(substance)และเปอร์ออกไซด์ของไขมัน ถูกใช้

หมดไป การสลายตัวในขั้นตอนนี้ propagation ก็จะลดลง ซึ่งปรากฏชัดเจนว่าเปอร์ออกไซด์อย่างน้อยที่สุดจะต้องถูกใช้อย่างจำกัดในกรณีที่ไขมันหรือน้ำมันอยู่ภายใต้ที่มีอากาศน้อย ไขมันหรือน้ำมันจะยังคงมีกลิ่นหืนภายหลังที่ออกซิเจนหมด ดังนั้นจึงเป็นการชี้ให้เห็นว่าสารแอลดีไฮด์(volatile aldehyde)และกรดชนิดต่างๆเป็นตัวสำคัญในการทำให้เกิดการเหม็นหืน ผลของออกซิเจนที่มีความดันต่ำต่ออัตราการเกิดออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เพราะว่าเป็นประโยชน์ต่อการเก็บรักษาอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบหลายชนิดทั้งในภาชนะที่ปิดสนิท ในสุญญากาศหรือในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย ในบางกรณีการไล่ออกซิเจนอาจทำได้หมด แต่ในผลิตภัณฑ์อีกหลายชนิดไม่สามารถทำได้เนื่องจากอาจทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายได้ อย่างไรก็ตามการใช้สารกันหืน(antioxidant)จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งสารกันหืนก็จะทำงานแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความดันของออกซิเจนด้วย โดยสารกันหืนที่ทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน(inhibitor)จะยั้งระยะเวลาในช่วงเริ่มต้น(induction period)ให้ยาวออกไป แต่จะไม่มีผลต่ออัตราการเกิดออกซิเดชันภายหลังระยะเริ่มต้น ส่วนสารกันหืนที่มีสมบัติเป็นสารชะลอ(retarder)จะไปลดอัตราการเกิดออกซิเดชันแต่จะไม่ทำให้ช่วงเริ่มต้นยาวออกไป

**2.1.1.8 พื้นที่ผิวและการเกิดอิมัลชัน(emulsification)** อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วน โดยตรงต่อพื้นที่ผิวของไขมันหรือน้ำมันที่สัมผัสกับอากาศ ดังนั้นถ้าหากอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้นการเกิดออกซิเดชันจะเกิดเร็วขึ้นสำหรับอาหารที่เป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ การเกิดออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจายของออกซิเจนเข้าไปยังส่วนที่เป็นน้ำมัน ซึ่งในอาหารประเภทนี้หยดนํ้ามันจะกระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ ออกซิเจนจะต้องแพร่กระจายผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำเข้าไปยังหยดนํ้ามันผ่านชั้นระหว่างผิวของน้ำกับน้ำมัน ดังนั้นอัตราการเกิดออกซิเดชันจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วยเช่น ชนิดและความเข้มข้นของสารที่ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์(emulsifier) ขนาดของอนุภาค หยดนํ้ามัน พื้นที่ผิวของหน้าสัมผัส(interface) ความหนืดของตัวกลางที่เป็นน้ำ ค่าพีเอช ส่วนประกอบและความพรุน(porosity)ของตัวกลาง

**2.1.1.9 เอนไซม์ไลพอกซิเจนเนส(lipoxygenase)** เอนไซม์ไลพอกซิเจนเนสสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมันในกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนพันธะคู่หลายพันธะ(polyunsaturated fatty acid) โดยมี cis,cis-1,4-pentadiene unit ดังนั้นกรดไขมันชนิด กรดลิโนลินิก และกรดอะราชิโคนิกหรือเอสเทอร์(ester) และไตรเอซิลกลีเซอรอลไรค์ของกรดไขมันเหล่านี้จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี นอกจากนี้เอนไซม์ไลพอกซิเจนเนสยังทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนพันธะคู่หลายพันธะดังกล่าวเกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์โดยใช้พลังงานกระตุ้น(activated energy)ค่าเพียง 4.3 กิโลแคลอรีโมลของสารตั้งต้นเท่านั้น จึงเป็นเหตุผลสนับสนุนที่แสดงว่ากรดไขมันเหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายมากที่อุณหภูมิต่ำ

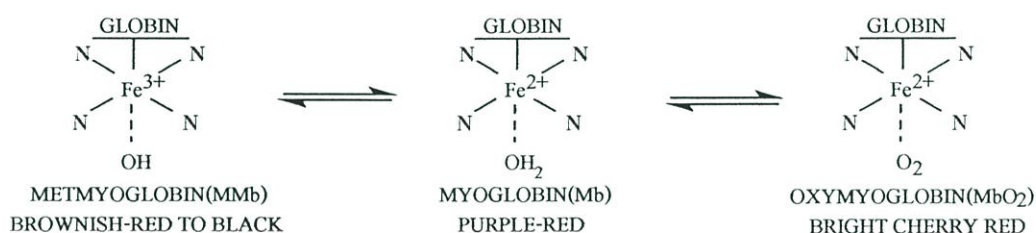
นอกจากนี้เอนไซม์ไลพอกซิเจนเนสยังสามารถเปลี่ยนกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดซิส(cis-unsaturated fatty acid) ให้เป็นชนิดทราน(trans-unsaturated fatty acid) ได้ อย่างไรก็ตามในการผลิตถั่วเมล็ดแห้งเอนไซม์ไลพอกซิเจนเนสจะถูกกระตุ้นด้วยน้ำที่มีอยู่ในถั่วเมล็ดแห้งได้ โดยเอนไซม์ดังกล่าวจะเพิ่มออกซิเจนให้แก่กรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันของถั่วเมล็ดแห้ง โดยเฉพาะกรดกลูตาอิกจะก่อให้เกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งสลายตัวต่อไปให้ถั่วเมล็ดแห้งมีกลิ่นรสเสียไป ดังนั้นการผลิตถั่วเมล็ดแห้งจึงจำเป็นต้องทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าวโดยการใช้ไอน้ำเดือดที่ 1 บรรยากาศนาน 15 นาที ปรากฏว่าวิธีนี้สามารถทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซิเจนเนสได้ถึง 95% จากนั้นจึงเก็บถั่วเมล็ดแห้งไว้ในภาชนะบรรจุภายใต้สุญญากาศได้นาน 8 เดือนที่อุณหภูมิห้องโดยถั่วเมล็ดแห้งจะไม่เกิดการเหม็นหืน

### 2.1.2 ผลที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

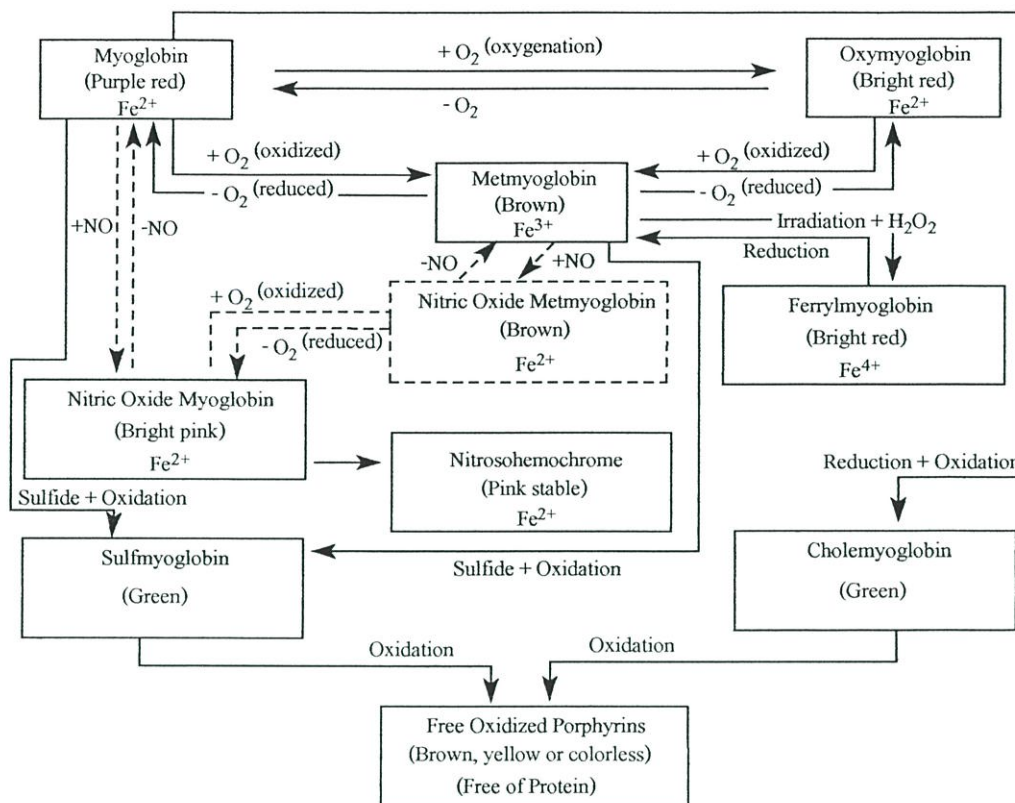
เมื่อไขมันและน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารเสื่อมคุณภาพเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้บริโภคและระบบชีวภาพของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในขั้นตอนแรกของการเกิดปฏิกิริยาจะได้สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีกลิ่นรส แต่เมื่อสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์สลายตัวจะให้สารประกอบในกลุ่มของแอลดีไฮด์ สารประกอบคาร์บอนิล กรดต่างๆเช่น กรดฟอร์มิก(formic acid) กรดอะซิติก(acetic acid) กรดโพรพิโอนิก(propionic acid) และกรดไอโซเลอริก(isovaleric acid) ซึ่งผลิตผลที่ได้ในขั้นตอนนี้ส่วนมากจะเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติได้ในผลิตภัณฑ์อาหาร สำหรับผลกระทบต่อระบบชีวภาพของสิ่งมีชีวิตเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันคือทำให้การเจริญเติบโตช้าลงเนื่องจากขาดโปรตีน และวิตามินที่เป็นสารอาหารสำคัญไป จากการศึกษาของนักวิจัยพบว่าเมื่อใช้น้ำมันข้าวโพดที่ถูกให้ความร้อนถึง 200°C นาน 24 ชั่วโมงมาเป็นอาหารของหนูทดลอง ปรากฏว่าหนูทดลองจะป่วยเป็นโรคท้องร่วงอย่างรุนแรง ขนฝ่อ และเมื่ออาหาร จากผลการทดลองนี้ได้ยืนยันว่าความเป็นพิษที่เกิดขึ้นในหนูทดลองเป็นสัดส่วน โดยตรงกับปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น ซึ่งการเลี้ยงหนูทดลองด้วยไขมันที่ถูกออกซิไดซ์แล้วจะทำให้หนูทดลองต้องการอาหารเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าหนูทดลองจะต้องการโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะมีผลไปทำลายกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในโปรตีนทำให้โปรตีนในอาหารเสื่อมคุณภาพ

สำหรับเนื้อสดและผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว การเปลี่ยนแปลงสีก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค นอกเหนือจากกลิ่นเหม็นหืนที่เกิดขึ้น โดยปกติสีของเนื้อสัตว์จะประกอบด้วยรงควัตถุไมโอโกลบินและฮีโมโกลบิน เมื่อรงควัตถุไมโอโกลบิน(myoglobin, Mb)เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างช้าๆ และต่อเนื่องได้เป็นเมทไมโอโกลบิน(metmyoglobin, MMb)ทำให้สีของเนื้อสดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลมากขึ้น ขั้นตอน

การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสดเริ่มต้นจากเนื้อสัตว์ที่อยู่ในภาวะที่มีออกซิเจน ไมโอโกลบินจะรวมตัวกับออกซิเจนด้วยพันธะโคเวเลนต์เป็นออกซีไมโอโกลบิน (oxymyoglobin, MbO<sub>2</sub>) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเจเนชัน (oxygenation) และย้อนกลับเปลี่ยนไปมาได้ ทั้งไมโอโกลบินและออกซีไมโอโกลบิน จะมีเหล็กไอออนอยู่ในโมเลกุลในรูปของเฟอร์รัสไอออน (Fe<sup>2+</sup>) ซึ่งทำให้เนื้อสัตว์มีสีแดง เมื่อไมโอโกลบินเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเฟอร์รัสไอออนจะเปลี่ยนรูปเป็นเฟอร์ริกไอออน (Fe<sup>3+</sup>) ทำให้เนื้อสัตว์มีสีน้ำตาล สารประกอบที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าเมทไมโอโกลบินทำให้เนื้อสัตว์มีสีเปลี่ยนไปดังขั้นตอนข้างล่าง



ปฏิกิริยานี้เป็น dynamic colour cycle ของเนื้อสดที่เปลี่ยนกลับไปมาได้ การที่เนื้อสดมีสีแดงเนื่องจากไมโอโกลบินอยู่ในรูปของออกซีไมโอโกลบิน หลังจากนั้นสีจะเปลี่ยนไปเป็นสีม่วงแดงและสีน้ำตาลในที่สุด ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสีคือสภาวะออกซิเดชัน (oxidation state) ของเหล็กไอออนว่าอยู่ในรูปเฟอร์รัสไอออนหรือเฟอร์ริกไอออน และภาวะทางกายภาพของโปรตีนโกลบิน ดังนั้นถ้าเหล็กไอออนในโมเลกุลของรงควัตถุเนื้อสัตว์อยู่ในรูปของเฟอร์รัสไอออนเนื้อสัตว์จะมีสีแดง แต่ถ้าเหล็กไอออนในโมเลกุลของรงควัตถุไมโอโกลบินอยู่ในรูปของเฟอร์ริกไอออนเนื้อสัตว์จะมีสีน้ำตาล ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงสีในเนื้อสดและในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถสรุปได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้



ที่มา : Pearson and Gillett(1996)

ในกรณีของผลิตภัณฑ์ที่เค็มสารประกอบไนเตรต เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีการเปลี่ยนแปลงสีดังนี้ กล่าวคือ เมื่อรังควัตถุไมโอโกลบินในเนื้อสัตว์ทำปฏิกิริยากับไนตริกออกไซด์ซึ่งเกิดจากสารประกอบไนเตรตขณะได้รับความร้อน จะได้เป็นไนตริกออกไซด์ไมโอโกลบินซึ่งทำให้เนื้อสัตว์มีสีแดง เมื่อไนตริกออกไซด์ไมโอโกลบินทำปฏิกิริยากับออกซิเจน(ถูก oxidized)จะได้ไนตริกออกไซด์เมทไมโอโกลบิน จากนั้นจะเกิดการแยกตัวของไนตริกออกไซด์ออกจากรงควัตถุไมโอโกลบิน สุดท้ายรงควัตถุไมโอโกลบินจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจนกระทั่งได้เมทไมโอโกลบิน ซึ่งสีของเนื้อสัตว์จะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำตาลอย่างสมบูรณ์ ถ้าอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมหรือมีการเค็มสารรีดิวซ์(reducing agent) เช่น แอสคอร์เบต ปฏิกิริยาดังกล่าวจะสามารถผันกลับได้และเนื้อสัตว์จะมีสีแดงได้อีกครั้ง นอกจากนี้สารดังกล่าวยังสามารถผลิตไนตริกออกไซด์ออกมาได้เรื่อยๆ ดังนั้นจึงมีไนตริกออกไซด์ออกมาจับกับรงควัตถุไมโอโกลบินในเนื้อสัตว์ตลอดเวลาทำให้เนื้อสัตว์มีสีแดงได้อีกครั้ง

## 2.2 ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง( intermediate moisture food)

อาหารโดยทั่วไปจะประกอบด้วยความชื้นประมาณ 20-50% โดยน้ำหนัก และมีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์(water activity,  $a_w$ ) อยู่ในช่วง 0.95-1.00 เช่น เนื้อสด ปลาสด กุ้ง ปู ผักผลไม้ นม เป็นต้น อาหารดังกล่าวมีปริมาณน้ำมากและมีสารละลาย(solute)ไม่เพียงพอต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ถ้าหากสารละลายถูกละลายเพิ่มขึ้นถึงจุดที่ทำให้ค่าแอกติวิตีอยู่ในระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ก็จะทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารได้นานขึ้น การเสื่อมเสียจะลดลง ความปลอดภัยจะมีมากขึ้น ลักษณะบางประการเช่นเนื้อสัมผัสของอาหารยังคงมีสภาพคืออยู่ อาหารที่ลดค่าแอกติวิตีอยู่ในช่วง 0.65-0.85 หรือมีความชื้นสัมพัทธ์(relative humidity) 65-85% และมีความชื้นประมาณ 15-30% จะเรียกอาหารประเภทนี้ว่าอาหารกึ่งแห้งหรือ intermediate moisture food เช่น กุนเชียง เนยแข็งบ่ม แฮมแห้ง ฟรุ๊ตเค้ก แยม ผลไม้แห้ง ลูกกวาด รวมทั้งอาหารสัตว์ เป็นต้น อาหารกึ่งแห้งเป็นอาหารที่มีความชื้นต่ำซึ่งเป็นระดับที่จุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียไม่สามารถเจริญเติบโตได้แต่อาจมีปัญหาในเรื่องของเชื้อรา และยีสต์ที่อาจจะเจริญเติบโตได้ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่จะเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทนี้ในระหว่างการเก็บรักษา ถึงแม้ว่าปัจจุบันจะมีการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในการผลิตก็ตาม ตัวอย่างของปฏิกิริยาเคมีที่อาจเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน การเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์(non-enzymatic browning reaction) โดยทั่วไปแล้วการผลิตอาหารกึ่งแห้งจะมีวัตถุประสงค์หลักคือต้องการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานที่สุดเท่าที่สามารถจะทำได้ โดยเน้นในด้านความคงทนต่อจุลินทรีย์ ซึ่งบางครั้งไม่ได้คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงทางด้านสี การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมันและการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังกล่าวข้างต้นมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นในการผลิตอาหารกึ่งแห้งจึงควรคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ด้วย

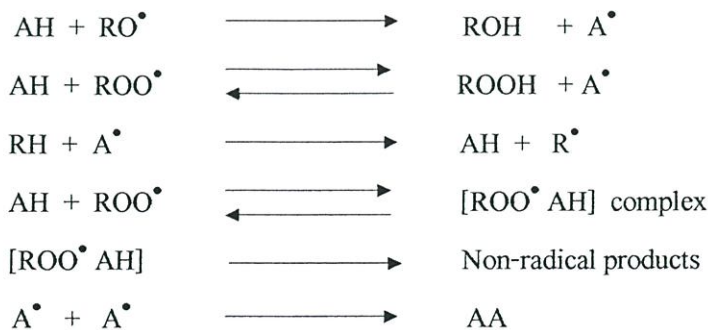
ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กึ่งแห้ง เป็นผลิตภัณฑ์อีกกลุ่มหนึ่งในอาหารกึ่งแห้งที่ได้รับความนิยมในการบริโภคมาเป็นเวลานาน เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตที่มีสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น อาหารสดโดยเฉพาะเนื้อสัตว์จะเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ได้ง่าย ดังนั้นจึงมีการนำเนื้อสัตว์มาปรับปรุงและแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานมากที่สุด โดยเน้นในด้านความคงทนต่อจุลินทรีย์ ผลิตภัณฑ์นี้ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เนื้อกึ่งแห้ง(Intermediate Moisture Meats, IMM) เช่น เนื้อสวรรค์ แฮมหมัก เนื้อหวาน และกุนเชียง เป็นต้น ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กึ่งแห้งสามารถผลิตได้หลายวิธี โดยแต่ละวิธีอาศัยหลักการเดียวกันคือการทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ลดลง ปัจจุบันได้มีการใช้สารดูดความชื้นหรือฮิวแมคแทน(humectant) เติมลงในส่วนผสมเนื่องจากสารดูด-

ความชื้นมีสมบัติในการรวมตัวกับน้ำ โดยจับน้ำส่วนที่เหลืออยู่ในอาหารทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถนำน้ำดังกล่าวไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ อาหารจึงมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กึ่งแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วง 0.65-0.85 และมีความชื้นประมาณ 15-30% ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จึงสามารถเก็บรักษาและวางจำหน่ายภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้องในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นได้เป็นระยะเวลานานโดยไม่ต้องแช่แข็ง เนื่องจากมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในระดับต่ำซึ่งเป็นระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ และส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ยังมีองค์ประกอบของเกลือ(1.7-9%)และน้ำตาล(15-35%)ในปริมาณสูง ซึ่งส่วนผสมทั้งสองชนิดเมื่อละลายจะรวมตัวกับน้ำเพื่อดึงน้ำออกจากอาหาร ทำให้อาหารมีปริมาณน้ำลดลงจุลินทรีย์จึงไม่สามารถจะใช้น้ำได้ และสารดังกล่าวยังสามารถดึงน้ำออกจากเซลล์ของจุลินทรีย์ได้อีกด้วย เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มข้นสูงกว่า(high osmotic pressure) ทำให้เซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์เกิดการเหี่ยวแห้ง พิการ และตายในที่สุด

กุนเชียงและหมูแผ่นเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์บดหยาบกึ่งแห้งชนิดหนึ่ง นิยมใช้เนื้อหมูเนื้อวัว และเนื้อไก่ในการผลิต ขั้นตอนการผลิตกุนเชียงจะนำเนื้อและมันแข็งที่ผ่านการบดหยาบแล้ว มาผสมกับเครื่องปรุงรสต่างๆ เช่น เกลือหรือซีอิ๊วขาว น้ำตาลทราย น้ำเปล่า อบเชย ผงเพรก(โซเดียมไนไตรต์ 0.5% โซเดียมไนเตรท 0.5% และเกลือ 99%) และสารกันหืน(antioxidant) จากนั้นจะนำมาบรรจุใส่ โดยใส่ที่ใส่อาจจะเป็นใส่จากลำไส้เล็กของหมูหรือใส่เทียมที่ผลิตจากคอลลาเจน(regenerated collagen casings)ก็ได้ จากนั้นนำมาทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 60-70°C กระบวนการทำแห้งจะใช้เวลาประมาณ 48-72 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบด้วย กุนเชียงที่ทำแห้งแล้วจะมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีประมาณ 0.75 (Huang and Nip, 2001) และความชื้นประมาณ 30% สำหรับหมูแผ่นจะใช้เนื้อที่ผ่านการบดหยาบแล้วมาผสมกับเครื่องปรุงรสต่างๆเช่น ซีอิ๊วขาว น้ำตาล และเครื่องเทศ หลังจากนั้นจะนำมาเกลี่ยเป็นแผ่นบางๆแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 65°C ประมาณ 1 ชั่วโมง หรือในสมัยก่อนจะใช้การตากแดดจนแห้ง จากนั้นนำมาตัดเป็นแผ่นและบรรจุเพื่อจำหน่ายต่อไป หรืออาจจะนำมาทำให้สุกแล้วจำหน่ายในรูปแบบของเนื้อสัตว์ปรุงสุกพร้อมบริโภคก็ได้ ถึงแม้ว่ากุนเชียงและหมูแผ่นหรือผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กึ่งแห้งชนิดอื่นๆจะมีความคงทนต่อการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ แต่ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะมีไขมันเป็นองค์ประกอบที่สูง จึงมักเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีของกรดไขมันทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสที่ผิดปกติซึ่งผู้บริโภคไม่ยอมรับ ดังนั้นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กึ่งแห้งจึงนิยมเติมสารกันหืนลงไปด้วยเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมัน

### 2.3 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน(antioxidant)

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหาร สามารถยับยั้งได้ด้วยการใช้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือสารกันหืน สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นวัตถุเจือปนอาหารชนิดหนึ่งที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย เพื่อช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงต่างๆของผลิตภัณฑ์อาหารที่เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเปลี่ยนแปลงต่างๆที่กล่าวรวมถึง การเกิดกลิ่นหืน(rancidity)ของไขมัน น้ำมันและอาหารที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบ การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ การเกิดสีน้ำตาลในผักหรือผลไม้ และการเกิดออกซิเดชันของน้ำผลไม้ประเภทส้ม เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลต่อเนื่องให้มีการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร และบางครั้งอาจมีสารพิษเกิดขึ้นด้วย ตัวอย่างของการสูญเสียคุณค่าทางอาหารที่สำคัญได้แก่ การสูญเสียวิตามินที่สามารถถูกออกซิไดส์ได้ง่าย เช่น แครโรทีน วิตามินเอ ซี และอี เป็นต้น การเกิดออกซิเดชันของน้ำมันที่ใช้บริโภคมักมีผลต่อเนื่องทำให้มีการสูญเสียแครโรทีน และวิตามินชนิดที่ละลายได้ในน้ำมันด้วย การเกิดออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหย(essential oils)ในน้ำผลไม้ประเภทส้ม เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นและรสที่ไม่ดีเกิดขึ้นได้ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องมาจากมีการเกิดออกซิเดชันของออกซีไมโอโกลบินไปเป็นเมทไมโอโกลบิน เป็นต้น การเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งหมดนี้สามารถยับยั้งได้ด้วยการใช้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น และให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระทำให้อนุมูลอิสระอยู่ในสภาพที่เสถียร ไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อีก สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมี 2 ชนิดคือ สารที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี(synthetic antioxidant) เช่น โพรพิลแกลเลต บีเอชเอ บีเอชที และทีบีเอชคิว เป็นต้น ส่วนสารอีกชนิดคือสารที่ได้จากธรรมชาติ(natural antioxidant) เช่น วิตามินอี และเฟลโวนอยด์(flavonoids) สารเหล่านี้จะทำหน้าที่หลักในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเรียกระหว่างนี้ว่า สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันชนิดปฐมภูมิ(primary antioxidant) มีขั้นตอนการทำงานดังนี้





จากสมการข้างต้นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจะจับกับอัลคอกซิลเรดิคัล(alkoxyl radical, RO<sup>•</sup>) และเปอร์ออกซิลเรดิคัล(peroxy radical, ROO<sup>•</sup>) โดยให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียรมากขึ้น เมื่อสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือแอนติออกซิเดนต์ให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระแล้วก็จะกลายเป็นอนุมูลอิสระของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน(antioxidant free radical, A<sup>•</sup>) ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกโมเลกุลเกิดเป็นสารที่เสถียร ส่วนสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน(AH)ที่เกิดขึ้นก็จะรวมตัวกับเปอร์ออกไซด์เรดิคัลเกิดเป็น[ROO<sup>•</sup>AH] ซึ่งสารนี้เป็นอนุมูลอิสระของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีความเสถียรมากเนื่องจากมันเกิด resonance delocalization สูง คืออิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปทั่ววงแหวน ดังนั้นออกซิเจนจึงเข้าทำปฏิกิริยาไม่ได้จึงเป็นการหยุดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ก็เช่นเดียวกันเมื่ออนุมูลอิสระของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจนจึงต้องรวมตัวกันเอง เป็นการหยุดอนุมูลอิสระของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและได้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือแอนติออกซิเดนต์กลับคืนมา

สำหรับสารที่นิยมเติมไปพร้อมกับสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่น ฟอสโฟลิปิด วิตามินซี กรดซิตริก กรดอะมิโน สาร EDTA(ethylenediamine tetraacetic acid) เป็นต้น สารเหล่านี้มีชื่อเรียกว่า สารเสริมฤทธิ์วัดถูกกันหีน(synergism antioxidant) สารเหล่านี้จะทำงานร่วมกับสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันปฐมภูมิเพื่อให้การต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดได้สมบูรณ์ที่สุด โดยจะทำหน้าที่จับอนุมูลอิสระของโลหะให้อยู่ในรูปที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้ หยุดปฏิกิริยาการแตกตัวของเปอร์ออกไซด์ซึ่งเกิดจากการกระตุ้นของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันปฐมภูมิและเปลี่ยนรูปของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันปฐมภูมิให้อยู่ในรูปรีดิวซ์

## 2.4 กระเจี๊ยบแดง

กระเจี๊ยบแดง เป็นพืชล้มลุกที่ปลูกได้ทั่วไปในประเทศที่อยู่ในเขตร้อน โดยมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Hibiscus sabdariffa* Linn อยู่ในตระกูลของ MALVACEAE มีชื่อภาษาอังกฤษว่า red sorrel, roselle, jamaica sorrel หรือ karkade กระเจี๊ยบแดงเริ่มรู้จักและนำมาใช้ประโยชน์ทางอาหารและเภสัชตั้งแต่ปีค.ศ. 1658 ประโยชน์ทางอาหารของกระเจี๊ยบแดงส่วนใหญ่นำมาประกอบอาหารเช่น ทำเครื่องดื่มน้ำเย็น เยลลี่ ซอส ไวน์ และใช้เป็นสีผสมอาหาร สำหรับประโยชน์ทางการแพทย์และเภสัชกระเจี๊ยบแดงสามารถใช้เป็นยาสมุนไพรเพื่อรักษาโรคต่างๆ เช่น ความดันโลหิตสูงและมะเร็ง เป็นต้น จากรายงานของ Lee และคณะ(2002) พบว่ากรดโปรโต-

แคทีชีวอิก (protocatechuic, PCA) ที่สกัดได้จากกระเจี๊ยบแดงมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยกรดชนิดนี้จะทำหน้าที่จับกับโลหะไอออนเช่น  $\text{Cu}^{2+}$  ซึ่งโลหะไอออนนี้จะมีผลไปกระตุ้นไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density lipoprotein) ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นเมื่อขาด  $\text{Cu}^{2+}$  ที่เป็นสารกระตุ้นจึงทำให้การเกิดออกซิเดชันของไลโปโปรตีนชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำลดลงเป็นผลทำให้ความเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจลดลงด้วย และจากการศึกษาในระบบจำลองของ Chewonarin และคณะ (1999) พบว่าสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยเอทานอล 80% มีผลยับยั้งการกลายพันธุ์ในเชื้อ *Salmonella typhimurium* ได้ถึง 60-90% และสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงยังมีผลเป็นสารต้านมะเร็งธรรมชาติ (natural chemopreventive agent) ด้วย โดยทางการแพทย์จะใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดเซลล์มะเร็ง นอกจากนี้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงยังมีสมบัติทำลายเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราได้ จากการศึกษาของ El-Shayeb และ Mabrouk (1984) แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงสามารถลดการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus flavus* ได้และยังมีผลยับยั้งการก่อตัวของสารอะฟลาทอกซินได้ 42-85% นอกจากนี้การต้านการเจริญเติบโตของเชื้อราแล้ว สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงยังมีผลทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกหลายชนิดเช่น *E.coli*, *Pasteurella multocida*, *Streptococcus*, *Proteus vulgaris* และ *Pyocyanus* (Mishra et al., 1999)

องค์ประกอบของกระเจี๊ยบแดงส่วนใหญ่ประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคส กรดซัคซินิก (succinic acid) และกรดออกซาลิก (oxalic acid) เนื่องจากมีกรดเป็นองค์ประกอบหลายชนิดทำให้กระเจี๊ยบแดงมีพีเอชอยู่ระหว่าง 2-3 ซึ่งมีผลทำให้กระเจี๊ยบแดงมีรสชาติเปรี้ยว สีแดงของกลีบกระเจี๊ยบประกอบด้วยรงควัตถุที่จัดอยู่ในกลุ่มของเฟลโวนอยด์ รงควัตถุนี้มีชื่อว่า แอนโรไซยานิน นิยมใช้เป็นสารให้สีแดงในแยม เยลลี่ และเครื่องคั้นน้ำผลไม้ แอนโรไซยานินในกระเจี๊ยบแดงประกอบด้วย เดลฟินิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์ (delphinidin-3-sambubioside) เป็นรงควัตถุที่ทำให้เกิดสีม่วงแดงในกระเจี๊ยบแดงโดยมีปริมาณมากที่สุด รงควัตถุที่พบรองลงมาคือ ไซยานิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์ (cyanidin-3-sambubioside) โดยอัตราส่วนของรงควัตถุทั้งสองชนิดในกระเจี๊ยบแดงเป็นร้อยละ 70.9 : 29.1 ของปริมาณแอนโรไซยานินทั้งหมด จากการวิเคราะห์ปริมาณแอนโรไซยานินทั้งหมดในกระเจี๊ยบแดงพบว่าใน 100 กรัมของกระเจี๊ยบแดงแห้ง จะมีแอนโรไซยานินอยู่ 1.5 กรัม (ในรูปของน้ำหนักแห้ง) ซึ่งแอนโรไซยานินที่วิเคราะห์ได้นี้แสดงอยู่ในรูปของ เดลฟินิดิน-3-กลูโคไซด์ (delphinidin-3-glucoside) (Bridle and Timberlake, 1997) แอนโรไซยานินมีสมบัติละลายได้ดีในน้ำ อะซิโตน และแอลกอฮอล์ ไม่ละลายในปิโตรเลียมอีเทอร์ และเบนซีน สีของแอนโรไซยานินสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามความเป็นกรด-ด่าง คือในสภาพที่เป็นกรดจะให้สีแดงเข้ม ในสภาพที่เป็นกลางจะให้สีขาแดง และในสภาพที่เป็นด่างจะให้สีเขียวคล้ำจนถึงสีขาแก่ เนื่องจากสีของแอนโรไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงมีสีสรรสวยงาม จึงนิยมใช้เป็นสีผสมอาหารธรรมชาติซึ่งสามารถใช้แทนสีผสมอาหารชนิดสังเคราะห์ได้ดี และสมบัติอีก

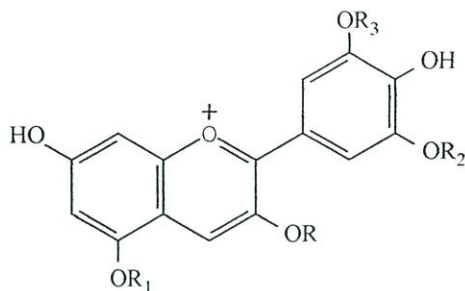
อย่างหนึ่งของแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงคือเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์พบว่าแอนโทไซยานินมีส่วนช่วยทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในหลอดเลือดและสัตว์ทดลองได้เป็นอย่างดี(Tee *et al.*, 2002; Duh and Yen, 1997 and Tseng *et al.*, 1997) ดังนั้นจึงทำให้แอนโทไซยานินมีความสำคัญในแง่อื่น ๆ มากขึ้นนอกเหนือจากใช้เป็นสีผสมอาหาร

## 2.5 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบในกระเจี๊ยบแดง

### 2.5.1 แอนโทไซยานิน(Anthocyanins)

แอนโทไซยานิน เป็นรงควัตถุที่พบมากที่สุดใ้ในกระเจี๊ยบแดงเป็นรงควัตถุที่จัดอยู่ในกลุ่มของฟเลโวนอยด์ โมเลกุลของแอนโทไซยานินประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาล(glycone) และส่วนที่ไม่ใช่น้ำตาล(aglycone) เรียกว่า แอนโทไซยานิดิน(anthocyanidin) ปัจจุบันค้นพบแล้วมากกว่า 20 ชนิด แต่มีเพียง 6 ชนิดที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและทางด้านเภสัชกรรมได้แก่ พีลาร์โกนินิดิน(pelargonidin) ไซยานิดิน(cyanidin) เดลฟินิดิน(delphinidin) พีโอนินิดิน(peonidin) พีทูนินิดิน(petunidin) มาลิวิดิน(malvidin) สามารถแยกส่วนที่เป็นน้ำตาลและส่วนที่ไม่ใช่น้ำตาลของแอนโทไซยานินออกจากกันได้ด้วยการใช้โครมาโตกราฟี สำหรับในกระเจี๊ยบแดงจะพบแอนโทไซยานินเฉพาะส่วนที่อยู่ในรูปของไกลโคไซด์(glycoside)เท่านั้นคือ ส่วนที่รวมกับน้ำตาลเป็นเอสเทอร์ น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของแอนโทไซยานินจะมี 1, 2 หรือ 3 โมเลกุลก็ได้และเป็นได้ทั้ง โมโน- ได- และไตรแซ็กคาไรด์ โมเลกุลของน้ำตาลส่วนใหญ่จะเกาะกับหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของแอนโทไซยานิน โดยเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่อะตอมของคาร์บอนตำแหน่ง 3 ในโมเลกุลของแอนโทไซยานิน ถ้าเป็นไดไกลโคไซด์จะเกาะกับหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3 และ 5 ของหมู่ไฮดรอกซิล น้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์ที่พบได้แก่ น้ำตาลกลูโคส(glucose) กาแล็กโทส(galactose) แรมโนส(rhamnose) อะราบินโนส(arabinose) และไซโรส(xylose) สำหรับน้ำตาลไดแซ็กคาไรด์ที่พบได้แก่ รุติโนส(rutinose หรือ L-rhamnosyl( $\alpha 1 \rightarrow 6$ )D-glucose) เจนทิโอไบโอส(gentiobiose หรือ D-glucosyl( $\beta 1 \rightarrow 6$ )D-glucose) โซฟอโรส(sophorose หรือ D-glucosyl ( $\beta 1 \rightarrow 2$ )D-glucose) และแซมบูไบโอส(sambubiose หรือ D-xylosyl ( $\beta 1 \rightarrow 2$ )D-glucose)

โครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุลแอนโทไซยานิน ประกอบด้วยวงแหวนเบนโซไพแรน(benzopyran) 2 วงต่อกับวงแหวนฟีนิล(phenyl ring) 1 วง และแอนโทไซยานินจะมีประจุบวก(flavylium cation)ในโครงสร้างด้วย จึงทำให้อ่อนไหวต่อปฏิกิริยามากและสามารถไอออไนซ์(ionize)ได้ง่าย โครงสร้างของแอนโทไซยานินแสดงดังภาพที่ 2.4



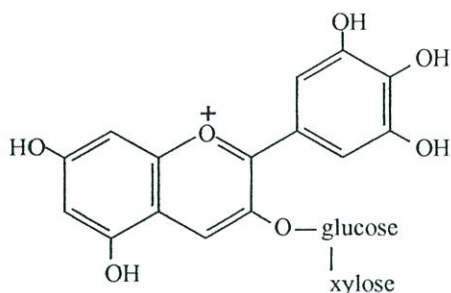
R, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, = H หรือ โมเลกุลของน้ำตาล

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของแอนโทไซยานิน

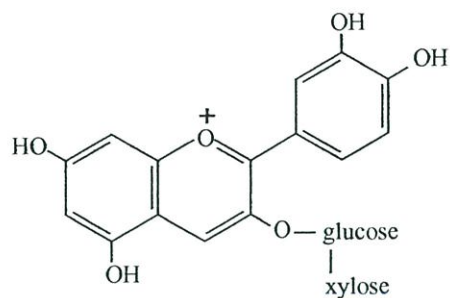
ที่มา : Mishra และคณะ(1999)

โดยทั่วไปแล้วแอนโทไซยานินมักมีสีแดงเข้มเมื่อพีเอชต่ำกว่า 3.5 และมีสีเปลี่ยนจากแดงไปเป็นสีน้ำเงินเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแอนโทไซยานินเหมาะที่จะเติมลงในอาหารที่เป็นกรด ในกรณีที่มีกรดอะมิโน สารประกอบฟีนอล กรดแอสคอร์บิกและความเข้มข้นของน้ำตาลสูงจะมีผลเร่งอัตราเร็วของการสลายตัวของแอนโทไซยานินให้เกิดเร็วขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาคอนเดนเซชัน(condensation)ของแอนโทไซยานินกับสารประกอบเหล่านี้ นอกจากนี้แล้วกระบวนการแปรรูปอาหารและการเก็บรักษายังมีผลเร่งให้แอนโทไซยานินสลายตัวเร็วขึ้นเช่น การใช้อุณหภูมิสูงในการแปรรูปและการเก็บรักษาในสภาวะที่มีออกซิเจน

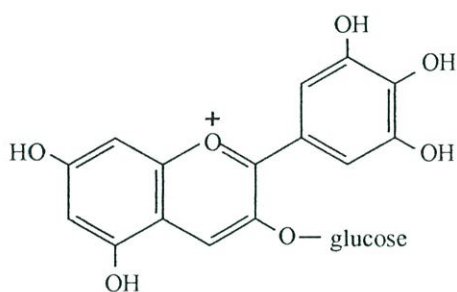
แอนโทไซยานินที่เป็นองค์ประกอบหลักในกระเจี๊ยบแดงคือ เดลฟินิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์(delphinidin-3-sambubioside) เป็นรงควัตถุที่ทำให้กระเจี๊ยบมีสีแดงและไซยานิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์(cyanidin-3-sambubioside) สำหรับแอนโทไซยานินที่พบรองลงมาคือ เดลฟินิดิน-3-กลูโคไซด์(delphinidin-3-glucoside) และไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์(cyanidin-3-glucoside) โครงสร้างของแอนโทไซยานินทั้ง 4 ชนิดแสดงดังภาพที่ 2.5



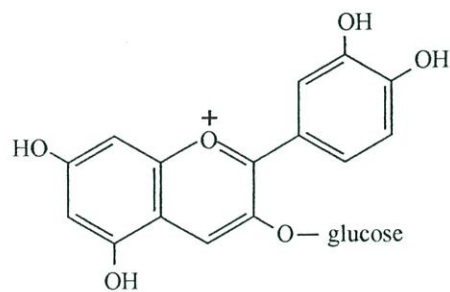
เดลฟินิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์  
(Delphinidin-3-sambubioside)



ไซยานิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์  
(Cyanidin-3-sambubioside)



เดลฟินิดิน-3-กลูโคไซด์  
(Delphinidin-3-glucoside)

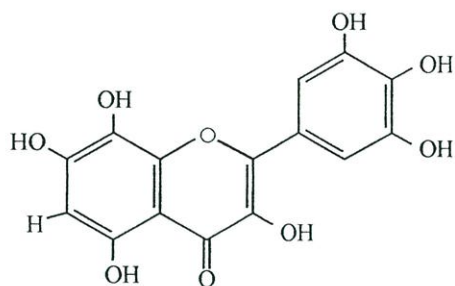


ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์  
(Cyanidin-3-glucoside)

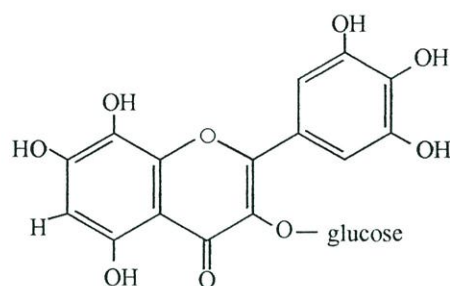
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของแอนโทไซยานินที่พบในกระเจี๊ยบแดง  
ที่มา : Mishra และคณะ(1999) และ Macheix และคณะ(1990)

### 2.5.2 ไฮบิสซีทิน(Hibiscetin) และไฮบิสซีทริน(Hibiscitrin)

ไฮบิสซีทิน( $C_{15}H_{10}O_9$ ) และไฮบิสซีทริน( $C_{27}H_{30}O_{19}$ ) เป็นสารประกอบที่อยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์พบในกระเจี๊ยบแดงมีปริมาณน้อย แต่ก็มีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เช่นเดียวกับแอนโทไซยานิน โครงสร้างของสารประกอบทั้งสองชนิดแสดงดังภาพที่ 2.6



ไฮบิซซีทิน( $C_{15}H_{10}O_9$ )  
(Hibiscetin)

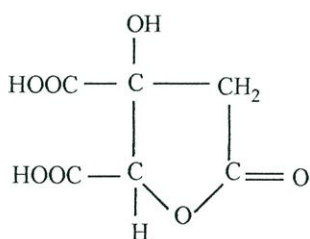


ไฮบิซซีทริน( $C_{27}H_{30}O_{19}$ )  
(Hibiscitrin)

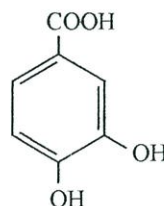
ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของไฮบิซซีทินและไฮบิซซีทริน  
ที่มา : Mishra และคณะ(1999)

### 2.5.3 กรดไฮบิซคัส(Hibiscus acid) และ โปรโตแคทีชีวอิก(Protocatechuric acid)

กรดไฮบิซคัส และกรด โปรโตแคทีชีวอิกเป็นกรดที่พบได้ในกระเจียบแดงมีโครงสร้างดังภาพที่ 2.7 จากการศึกษากของ Lee และคณะ(2002) พบว่ากรดโปรโตแคทีชีวอิกเป็นสารประกอบในกลุ่มของกรดฟีนอลิก(phenolic acid) ซึ่งสกัดแยก(isolate)ได้จากกระเจียบแดง กรดชนิดนี้มีสมบัติเป็นสารต้านสารก่อมะเร็ง(anticarcinogenesis) และมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย โดยจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากรดโปรโตแคทีชีวอิกสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำได้ ซึ่งส่งผลให้อัตราเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดแข็งตัว(atherosclerosis)ลดลงและเป็นผลให้อัตราเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจลดลงด้วย



กรดไฮบิซคัส  
(Hibiscus acid)



กรดโปรโตแคทีชีวอิก  
(Protocatechuic acid)

ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของไฮบิซคัสและกรดโปรโตแคทีชีวอิก  
ที่มา : Lee และคณะ(2002)

## 2.6 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง

กระเจี๊ยบแดงเป็นพืชสมุนไพรที่พบได้ทั่วไปในประเทศที่อยู่ในเขตร้อน ปัจจุบันพบว่า สารสกัดที่ได้จากกระเจี๊ยบแดงมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี ดังนั้นจึงมีนักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงมากมาย ทั้งที่ทำการทดสอบในหลอดทดลองและในสัตว์ทดลองซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

นวลศรี และอัญญา(2545) ศึกษาดัชนีการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและองค์ประกอบของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในสมุนไพรไทยบางชนิด พบว่ากระเจี๊ยบแดงมีดัชนีการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเท่ากับ 4.89 และมีองค์ประกอบของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกระเจี๊ยบแดง 100 กรัมดังนี้ เบต้าแคโรทีน 1.91 มิลลิกรัม แซนโทฟิลล์ 1.06 มิลลิกรัม วิตามินซี 18.18 มิลลิกรัม แทนนิน 24.28 มิลลิกรัม และสารประกอบฟีนอลิก 131.47 มิลลิกรัม จากการทดลองยังพบว่าดัชนีการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพืชสมุนไพรอาจผันแปรได้เนื่องจากแหล่งที่ปลูก สายพันธุ์ ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

Wong และคณะ(2002) ศึกษาลักษณะทางเคมีฟิสิกัลของกระเจี๊ยบแดงพบว่าองค์ประกอบหลักของกระเจี๊ยบแดงประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคส กรดซัคซินิก และกรดออกซาลิก นอกจากนี้ยังพบสารที่มีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในกระเจี๊ยบแดง 100 กรัมคือ วิตามินซี 141.09 มิลลิกรัม เบต้าแคโรทีน 1.88 มิลลิกรัม และไลโคปีน 164.34 ไมโครกรัม แอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุหลักที่พบมากที่สุดในการเจี๊ยบแดงประกอบด้วยสาร 2 ชนิดคือ เคลฟิโนดิน-3-แอมบูไบโอไซด์ และ ไชยานิดิน-3-แอมบูไบโอไซด์

Tee และคณะ(2002) ศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่สกัดโดยใช้เมทานอล แล้วติดตามประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการเกิด diene-conjugated compound ของกรดลิโนเลอิก และ thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ในระบบจำลองของกรดลิโนเลอิก โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับบีเอชเอ และวิตามินอี ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารสกัดกระเจี๊ยบแดงมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่า บีเอชเอและวิตามินอี โดยที่ระดับความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน(ppm) ของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงสามารถยับยั้งการเกิด diene-conjugated compound ได้มากกว่า 85% แสดงว่าสารสกัดกระเจี๊ยบแดงเป็นแหล่งของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติได้ดีซึ่งสามารถปกป้องร่างกายจากอนุมูลอิสระและจากปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันได้ โดยสมบัติดังกล่าวอาจเป็นผลมาจาก วิตามินซี เบต้าแคโรทีน และสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดง

Wang และคณะ(2000) ศึกษาผลของสารไฮบิสีคัส แอนโทไซยานิน (Hibiscus anthocyanin, HAs) ต่อการทำลาย tert-butyl hydroperoxide(t-BHP เป็นสารที่เมตาบอลิซึมเป็นอนุมูลอิสระได้) ซึ่งทำให้เกิดความเป็นพิษต่อตับ(hepatic toxicity)ในหนูทดลอง และการทำลายอนุมูลอิสระของ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrozyl(DPPH) ผลการทดลองพบว่าสารไฮบิสีคัสแอนโทไซยานิน สามารถทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และลดการเกิดความเป็นพิษต่อตับที่เกิดจาก t-BHP ได้ภายในเวลา 5 วัน แสดงว่าแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงมีสมบัติทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในหลอดทดลองและลดการเกิดโรคบางชนิดในสัตว์ทดลองได้ดี

Duh และ Yen(1997) ศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดสมุนไพร 3 ชนิด คือดอกของ *Chrysanthemum morifolium* Ramat กระเจี๊ยบแดง *Hibiscus sabdariffa* Linn และเมล็ดของ *Hordeum vulgare* โดยใช้น้ำเป็นตัวสกัด จากการทดลองพบว่าสารสกัดจากสมุนไพรทั้ง 3 ชนิดมีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดลิโนลินิกได้ดี และสารสกัดทั้ง 3 ชนิดยังมีส่วนช่วยปกป้องเซลล์จากการเกิดออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตด้วย โดยทำหน้าที่เป็นสาร reducing agent คือช่วยกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นและให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระ นอกจากนี้แล้วสารสกัดทั้ง 3 ชนิดยังไม่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ในเชื้อ *Salmonella typhimurium* TA98 และ TA100

Tseng และคณะ(1997) ศึกษาผลของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงต่อการป้องกันการเกิด oxidative stress ในหนูทดลองและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยแบ่งกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยเอทานอลเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่ละลายในคลอโรโรฟอร์ม เอทิลอะซิเตท และส่วนที่เป็นกาก แล้วทดสอบสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้วิธีการทำลายอนุมูลอิสระของ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrozyl(DPPH) และสมบัติการยับยั้งเอนไซม์แซนทีนออกซิเดส(xanthin oxidase) ผลการทดสอบพบว่า ส่วนที่ละลายในเอทิลอะซิเตทมีสมบัติทำลายอนุมูลอิสระของ DPPH ได้ดี ส่วนที่ละลายในคลอโรโรฟอร์มมีสมบัติยับยั้งผลของเอนไซม์แซนทีนออกซิเดสได้ดี นอกจากนี้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง(ส่วนที่ละลายในคลอโรโรฟอร์มและเอทิลอะซิเตท)มีผลป้องกันการเกิด oxidative stress ในหนูทดลองได้

## 2.7 เปลือกและเมล็ดพืชตระกูลส้ม

ส้มเขียวหวานมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Citrus reticulata* Blanco อยู่ในตระกูลของ RUTACEAE มีลักษณะเป็นไม้พุ่มยืนต้น ปลูกได้ในบริเวณพื้นที่เขตร้อนและกึ่งร้อนจึงมีการปลูกอยู่ทั่วโลก ส้มเป็นผลไม้ที่นิยมรับประทานทั้งส่วนที่เป็นเนื้อหรือเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำส้มคั้นก็ได้ สำหรับในกระบวนการผลิตน้ำส้มคั้นนั้น โดยทั่วไปจะได้ส่วนที่เป็นน้ำประมาณ 50% ที่เหลือจะเป็นวัสดุเหลือทิ้งซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ เปลือกและเมล็ด โดยมีส่วนของกากที่ได้จากการคั้นน้ำเล็กน้อย

น้อย(Braddock, 1995) ได้มีการนำเปลือกส้มมาใช้ประโยชน์โดยเป็นแหล่งของผลิตภัณฑ์พลอยได้ต่างๆเช่น โมแลส(molasses) เพคติน น้ำมันหอมระเหย และลิโมนีน นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์อีกด้วย สำหรับเมล็ดส้มนั้นเป็นแหล่งของน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง แต่ยังไม่ได้มีการสกัดน้ำมันเมล็ดส้มในเชิงการค้า เนื่องจากปัญหาในการรวบรวมเมล็ดส้มให้ได้ปริมาณมากพอในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเพื่อการผลิต เมล็ดส้มยังเป็นแหล่งของลิโมนอยด์ซึ่งเป็นพฤษเคมีที่พบเฉพาะในพืชตระกูลส้มสารดังกล่าวมีรสขมมากและพบว่ามีสมบัติในการยับยั้งการเกิดเซลล์มะเร็งในสัตว์ทดลองได้ดี (Bocco *et al.*, 1998; Braddock, 1995; Braddock and Cadwallader, 1992;)

นอกจากนี้เปลือกและเมล็ดพืชตระกูลส้มยังเป็นแหล่งของสารพฤษเคมีที่สำคัญมากมาย เช่น วิตามินซี เฟลโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน เมื่อบริโภคส้มในรูปของผลสดก็จะได้รับสารเหล่านี้เข้าไปด้วย ซึ่งสารเหล่านี้จะมีผลดีต่อสุขภาพคือช่วยต้านอนุมูลอิสระ ต้านอาการอักเสบ อาการแพ้ต่างๆ ต้านไวรัส ต้านการกลายพันธุ์ และต้านสารก่อมะเร็ง นอกจากนี้รับประทานในรูปของผลสดแล้วปัจจุบันได้มีการศึกษาและสกัดสารพฤษเคมีจากพืชตระกูลส้มมาใช้ในทางการแพทย์และเภสัชกรรมกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งพบว่าสารในกลุ่มของเฟลโวนอยด์ที่สกัดได้จากพืชตระกูลส้มให้ผลดีทั้งทางด้านทางการแพทย์และเภสัชกรรม จากรายงานของ Nogata และคณะ(1996) พบว่าสารสกัดที่สกัดได้จากส่วนของอัลเบโด(albedo)ของเลมอน มีผลยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไซโคลออกซีเจเนส(cyclooxygenase) และไลพอกซีเจเนส(lipoxygenase) ซึ่งเป็นผลให้สามารถป้องกันการจับตัวกันของโลหิตเป็นลิ่ม(thromobosis) โรคหลอดเลือดแข็งตัว(atherosclerosis) และป้องกันการก่อมะเร็ง เฟลโวนอยด์อีกสองชนิดที่นำมาใช้ในทางการแพทย์และเภสัชกรรมคือ เฮสเปอร์ดิซิน(hesperidin) และไดโอสมิน(diosmin) ซึ่งเฟลโวนอยด์ทั้งสองชนิดจะเป็นส่วนผสมอยู่ในยาที่ใช้รักษาอาการเจ็บป่วยของคนไข้ โดยจะช่วยลดอาการอักเสบ อาการปวดบวม กำจัดอนุมูลอิสระและเพิ่มภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย สำหรับสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของเฟลโวนอยด์คือมีผลด้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และไวรัสเช่น เควอร์เซติน(querctetin) และเฮสเปอร์ดิซิน มีผลยับยั้งการติดเชื้ของไวรัสริม ไวรัสที่ทำให้เกิดโรคโปลิโอ ไวรัสไข้หวัดใหญ่(parainfluenza virus) และไวรัสทางเดินหายใจชนิดหนึ่ง(ปาริชาติ, 2543; Benavente-Garcia *et al.*,1997) และจากการศึกษาของ Ramaswamy และคณะ(1972) แสดงให้เห็นว่าไบโอเฟลโวนอยด์(bioflavonoid) จากพืชตระกูลส้มมีผลด้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ โดยพบว่าโครงสร้างของเฟลโวนอยด์ที่เป็นอะไกลโคโคน(aglycones) มีสมบัติด้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าเฟลโวนอยด์ไกลโคไซด์(glycosides) และยังพบอีกว่าพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2-3 ในโครงสร้างของวงแหวนซีมีส่วนสำคัญในการต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วย ซึ่งจากการทดลองนี้เฟลโวนอล(flavonols)มีผลด้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด ส่วนแนวโน้มของการใช้สารสกัดจากพืชตระกูลส้มในอุตสาหกรรมอาหารนั้น ส่วนใหญ่จะใช้เพื่อเป็นสารต้านปฏิกิริยา

ออกซิเดชันของไขมันและน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากสารประกอบฟีนอลิก(phenolic compound) และสารประเภทเฟลโวนอยด์ในพืชตระกูลส้มมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เป็นอย่างดี จากการศึกษาของนักวิจัยจำนวนมากพบว่าสารประกอบฟีนอลิกจากธรรมชาติและสารประเภทเฟลโวนอยด์มีส่วนช่วยถนอมอาหารและยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้ยาวนานขึ้นได้ และยังพบว่าสารประกอบฟีนอลิกและสารประเภทเฟลโวนอยด์มีส่วนช่วยทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตด้วย(Milic *et al.*, 1998)

## 2.8 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบในพืชตระกูลส้ม

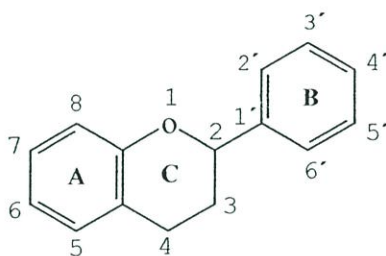
### 2.8.1 วิตามินซี

วิตามินซี เป็นวิตามินที่ละลายได้ในน้ำพบมากในพืชตระกูลส้ม แต่สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน การชะล้าง และการหั่น ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการรับประทานสัมผัสดๆ จึงจะได้รับวิตามินซีสูงสุด นอกจากนี้การเก็บส้มมาจากต้นนานเกินไปก็จะยิ่งเพิ่มการสูญเสียวิตามินซีมากขึ้น การทำหน้าที่เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของวิตามินซีส่วนใหญ่จะทำหน้าที่ร่วมกับวิตามินอีจึงจะให้ผลต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี วิตามินซีแสดงสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยทำหน้าที่ยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นระอุของกรดไขมันโดยทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นด้วยการเปลี่ยนไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันไปเป็นสารที่มีความเสถียรมากขึ้น(Mitsumoto *et al.*, 1991) และจับกับโลหะไอออนที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน(Frankel, 1996) ในเนื้อเยื่อของพืชวิตามินซีจะทำหน้าที่ปกป้องเซลล์ของพืชโดยการทำลายไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการออกซิเดชัน สำหรับในอาหารวิตามินซีจะทำหน้าที่กำจัดออกซิเจนที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยังทำหน้าที่เป็นสารคีเลต(chelating agent)อีกด้วย ถึงแม้ว่าวิตามินซีจะมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี แต่การใช้วิตามินซีก็มีข้อจำกัดด้วยคือ ถ้าใช้ในระดับความเข้มข้นสูงๆและอยู่ในสถานะที่มีโลหะไอออนอยู่วิตามินซีจะแสดงสมบัติเป็นสารที่ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้(Mitsumoto *et al.*, 1991)พบว่าควรใช้วิตามินซีอยู่ระหว่าง 200-1000 ส่วนในล้านส่วน(ppm) จึงจะมีผลต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี

Mitsumoto และคณะ(1991) ศึกษาการใช้วิตามินซีและอีเค็มลงในเนื้อวุ้นสด เพื่อรักษาสีและยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานได้ถึง 7 วันที่อุณหภูมิ 4°C โดยที่ผู้บริโภคยังคงให้การยอมรับต่อคุณภาพด้านสี กลิ่น รสชาติ และลักษณะปรากฏทั่วไปเทียบเท่าเนื้อสดที่สดใหม่ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )

## 2.8.2 เฟลโวนอยด์(flavonoids)

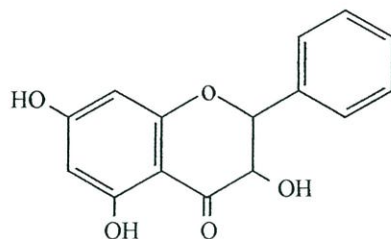
เฟลโวนอยด์ เป็นสารประกอบประเภทโพลีฟีนอลที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิดเป็นสารมีสีที่พบในดอกไม้ ในผลไม้และใบของพืช โดยมีอยู่ในทุกส่วนของต้นไม้ ใบ ราก เนื้อไม้ เปลือกไม้ ดอก ผล และในเมล็ด พืชตระกูลส้มก็เป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีเฟลโวนอยด์เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมาก โครงสร้างของเฟลโวนอยด์ประกอบด้วยวงเบนซีน 2 วง และอาจมีคาร์บอนอะตอมที่เรียงตัวเป็นเบนซีนวงที่ 3 แทรกอยู่ตรงกลางด้วย สารในกลุ่มเฟลโวนอยด์ยังแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้หลายกลุ่ม โดยการเข้าแทนที่คาร์บอนอะตอมในวงแหวนเบนซีนด้วยสารกลุ่มไฮดรอกซิล เมธอกซิล(methoxyl) และน้ำตาล(ในรูปของไกลโคไซด์) ดังนั้นในธรรมชาติจึงมีสารเฟลโวนอยด์มากมาย(ปาริชาติ, 2543) โครงสร้างของเฟลโวนอยด์แสดงดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของเฟลโวนอยด์  
ที่มา : ปาริชาติ(2543)

สำหรับในพืชตระกูลส้มพบเฟลโวนอยด์สองกลุ่มคือ โพลีเมธอกซิเลท เฟลโวน (polymethoxylated flavones) และไกลโคซิเลท เฟลวาโนน(glycosylated flavanones)(Bocco *et al.*, 1998) เฟลโวนอยด์ที่พบในพืชตระกูลส้มแบ่งได้ 4 ชนิดคือ

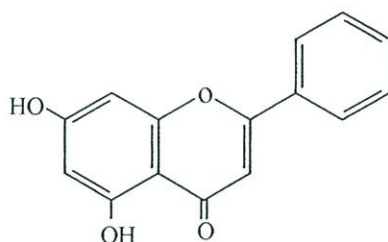
**2.8.2.1 เฟลวาโนน(flavanones)** เฟลวาโนนที่พบในพืชตระกูลส้มเช่น นารินจิน (naringin) เฮสเปอร์ดิคิน(hesperidin) นารินจินิน(naringenin) โครงสร้างของเฟลวาโนนจะไม่มีพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2-3 ในวงแหวนซี(C- ring structure) ดังภาพที่ 2.9 ทำให้มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งจากการศึกษาของ Das และ Pereira(1993) แสดงให้เห็นว่านารินจินินมีสมบัติยับยั้งการเกิดออกโตออกซิเดชันของน้ำมันปาล์มอยู่ในระดับต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากนารินจินินไม่มีพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2-3 ในวงแหวนซี



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของเฟลวาโนน

ที่มา : Rice-Evans และคณะ(1997)

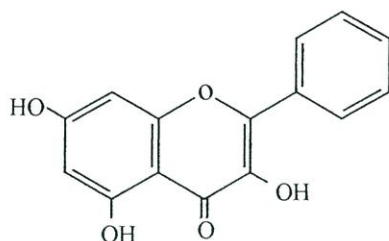
**2.8.2.2 เฟลโวน( flavones)** เฟลโวนที่พบในพืชตระกูลส้มมีความเข้มข้นอยู่ในระดับต่ำพบอยู่ในส่วนของเนื้อเยื่อส้ม(citrus tissue)เช่น อีพิจินิน(epigenin) ลูทีโอลิน(luteolin) ไดโอสเมทิน(diosmetin) และแทนเจอร์ทิน(tangeretin) โครงสร้างของเฟลโวนจะขาดหมู่ไฮดรอกซิล(OH) ในตำแหน่งที่ 3 บนวงแหวนซี ดังภาพที่ 2.10 แม้จะพบเฟลโวนปริมาณน้อยในพืชตระกูลส้ม แต่เฟลโวนก็แสดงสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำลายอนุมูลอิสระได้ดี



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของเฟลโวน

ที่มา : Rice-Evans และคณะ(1997)

**2.8.2.3 เฟลโวนอล(flavonols)** เฟลโวนอลที่พบในพืชตระกูลส้มมีความเข้มข้นอยู่ในระดับต่ำพบอยู่ในส่วนของเนื้อเยื่อส้ม เช่น เควอร์ซีทิน(quercetin) และเคมเฟอรอล(kaempferol) เฟลโวน จะมีหมู่ 3-ไฮดรอกซิล(3-hydroxy)อยู่บนวงแหวนซี และหมู่ 5-ไฮดรอกซิล(5-hydroxy)อยู่บนวงแหวนเอ(A- ring structure) ดังภาพที่ 2.11 จึงแสดงสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำลายอนุมูลอิสระได้ดีแม้จะพบในปริมาณน้อยก็ตาม



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างของเฟลโวนอยด์

ที่มา : Rice-Evans และคณะ(1997)

**2.8.2.4 แอนโทไซยานิน(anthocyanin)** สารในกลุ่มนี้เป็นสารให้สี พบเฉพาะใน ส่วนของน้ำส้ม(blood orange)ซึ่งมีสีส้มแดง เช่น ไชยานิดิน(cyanidin) พิโอนิดิน(peonidin) เดล- ฟินิดิน(delphinidin) และพิทูนิดิน(petunidin) สารในกลุ่มนี้พบในปริมาณน้อยและมีสมบัติต้าน ปฏิกริยาออกซิเดชันไม่เด่นชัดเท่ากับเฟลโวนอยด์

เฟลโวนอยด์เป็นสารต้านปฏิกริยาออกซิเดชันกลุ่มที่สำคัญมากกลุ่มหนึ่งที่พบได้ใน พืชตระกูลส้มแต่ละมีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีและการเชื่อมต่อกันด้วยหมู่ แทนที่ต่างๆ ดังนั้นในพืชตระกูลส้มจึงมีเฟลโวนอยด์ในลักษณะต่างๆมากมายแสดงดังตารางที่ 2.2

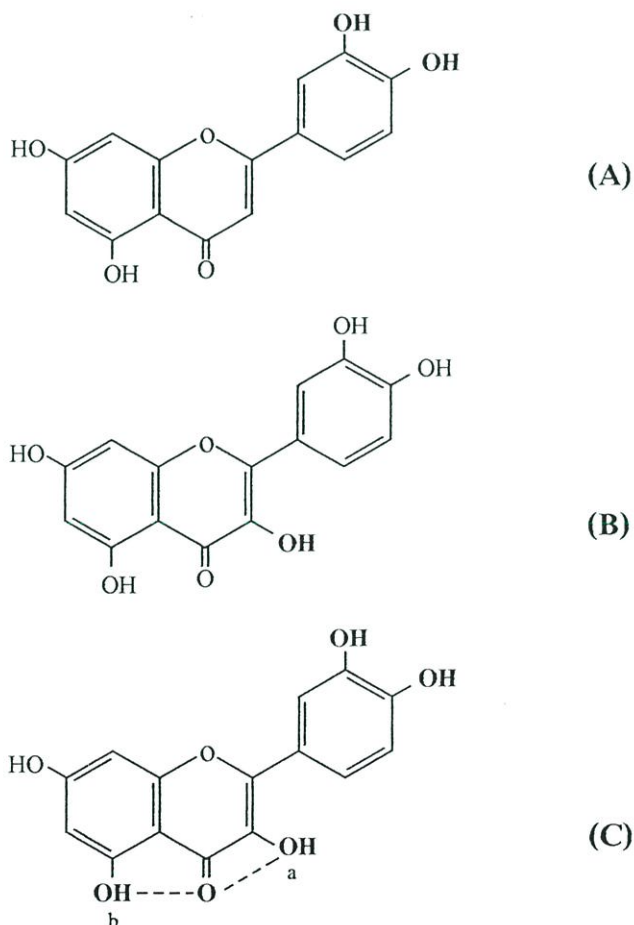
ตารางที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีที่สำคัญและลักษณะการแทนที่ด้วยหมู่ต่างๆบนโมเลกุลของฟลาโวนอยด์ที่พบในพืชตระกูลส้ม

Flavonoid	<i>Citrus sp.</i>	C-ring structure <sup>a</sup>	Substitution pattern
naringin	<i>C.paradisi</i>	FLA	5,4'-OH
	<i>C.aurantium</i>		7-O-Neo <sup>b</sup>
neoeriocitrin	<i>C.aurantium</i>	FLA	5,3',4'-OH
			7-O-Neo
hesperidin	<i>C.sinensis</i>	FLA	5,3'-OH, 4'-OMe
			7-O-Rut <sup>b</sup>
diosmin	<i>C.sinensis</i>	FLO	5,3'-OH
	<i>C.limonia</i>		4'-OMe
			7-O-Rut <sup>b</sup>
rutin	<i>C.limonia</i>	FOL	5,7,3',4'-OH
			3-O-Rut
naringenin	<i>C.paradisi</i>	FLA	5,7,4'-OH
eriodictyol	<i>C.aurantium</i>	FLA	5,7,3',4'-OH
hesperetin	<i>C.sinensis</i>	FLA	5,7,3'-OH
			4'-OMe
apigenin	<i>C.paradisi</i>	FLO	5,7,4'-OH
luteolin	<i>C.limonia</i>	FLO	5,7,3',4'-OH
	<i>C.aurantium</i>		
diosmetin	<i>C.sinensis</i>	FLO	5,7,3'-OH
			4'-OMe
kaempferol	<i>C.paradisi</i>	FOL	5,7,3,4'-OH
quercetin	<i>C.limonia</i>	FOL	5,7,3,3',4'-OH
tangeretin	<i>C.aurantium</i>	FLO	5,6,7,8,4'-OMe
	<i>C.paradisi</i>		
	<i>C.limonia</i>		

<sup>a</sup>FLA, flavanone; FLO, flavone; FOL, flavonol. <sup>b</sup>Neo, neohesperidoside; Rut, rutinoside

ที่มา : Benavente-Garcia และคณะ(1997)

สารประกอบในกลุ่มเฟลโวนอยด์ที่พบตามธรรมชาติในพืชส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีเมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งสมบัตินี้มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างทางเคมีและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเฟลโวนอยด์ โดยเฟลโวนอยด์จะเป็นสารที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียรมากขึ้นและ/หรือทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช้อนุมูลอิสระในขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้หยุดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้(Wanasundara and Shahidi, 1994) นอกจากนี้แล้วเฟลโวนอยด์ยังทำหน้าที่เป็นสารที่จับกับโลหะไอออนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากเฟลโวนอยด์มีหมู่ออร์โทไดไฮดรอกซิล(ortho-dihydroxy,3',4'-dihydroxy)บนวงแหวนบีและมีหมู่ 4-oxo(C=O)บนวงแหวนซีซึ่งมีส่วนสำคัญในการเพิ่มสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเฟลโวนอยด์ ดังนั้นการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบเฟลโวนอยด์ จะมีประสิทธิภาพดีมากขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเฟลโวนอยด์นั้นด้วย แสดงดังภาพที่ 2.12 และตารางที่ 2.3



ภาพที่ 2.12 หมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างของเฟลโวนอยด์ในลักษณะต่างๆที่มีผลต่อสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ที่มา : Benavente-Garcia และคณะ(1997)

ตารางที่ 2.3 หมู่ฟังก์ชันของเฟลโวนอยด์ชนิดต่างๆที่พบในพืชตระกูลส้มซึ่งมีผลต่อสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

flavonoid	type of antioxidant structure				
	A	B	C(a)	C(b)	other
naringin	-	-	-	×	4'-OH
neohesperidin	×	-	-	×	
hesperidin	-	-	-	×	3'-OH,4'-OMe
diosmin	-	×	-	×	3'-OH,4'-OMe
rutin	×	×	× <sup>a</sup>	×	
naringenin	-	-	-	×	4'-OH
eriodictyol	×	-	-	×	
hesperetin	-	-	-	×	3'-OH,4'-OMe
apigenin	-	×	-	×	4'-OH
luteolin	×	×	-	×	
diosmetin	-	×	-	×	3'-OH,4'-OMe
kaempferol	-	×	×	×	4'-OH
quercetin	×	×	×	×	
tangeretin	-	×	-	-	5,6,7,8,4'-OMe

<sup>a</sup>Glycosylated in 3-OH

ที่มา : Benavente-Garcia และคณะ(1997)

- การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิล(OH)บนวงแหวนบี(ภาพที่ 2.12 A ) การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งออร์โธ(ortho, 3')และตำแหน่งพารา(para, 4') บนวงแหวนบีจะมีผลทำให้เฟลโวนอยด์แสดงสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี

- พันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2-3 และหมู่ 4-oxo ของวงแหวนซี(ภาพที่ 2.12 B) ซึ่งโครงสร้างที่ตำแหน่งดังกล่าวจะมีผลทำให้สารประกอบในกลุ่มของเฟลโวนอยด์มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกันออกไปเช่น ทาซิโฟลีน(taxifolin) และนารินจินิน(naringenin) ขาดพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2-3 ไป ทำให้มีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันอยู่ในระดับต่ำ(Das และ Pereira,1993) นอกจากนี้จากการทดลองของ Ramaswamy และคณะ(1972) ยังพบว่าพันธะคู่ตำแหน่ง 2-3 ในโครงสร้างของเฟลโวนอยด์มีส่วนสำคัญที่ทำให้เฟลโวนอยด์แสดงสมบัติเป็นสารต้านการเจริญของจุลินทรีย์ด้วย

- หมู่ไฮดรอกซิล(OH) ที่ตำแหน่ง 3 บนวงแหวนซีและหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 5 บนวงแหวนเอ (ภาพที่ 2.12 C) การที่เฟลโวนอยด์มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งดังกล่าวจะมีผลทำลายอนุมูลอิสระได้มากที่สุดเนื่องจากตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ 4-oxo ของวงแหวนซีซึ่งมีประสิทธิภาพในการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่ลิปิดเปอร์ออกซิลเรดิคัล(lipidperoxyl radical)(Benavente-Garcia *et al.*,1997) นอกจากนี้ โครงสร้างดังกล่าวยังมีความสำคัญในการจับกับอนุมูลไอออนของโลหะอีกด้วย

เฟลโวนอยด์ที่พบในพืชตระกูลส้มเป็นพฤษเคมีกลุ่มใหญ่ที่สุด และมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เด่นชัดกว่าสารประกอบกลุ่มอื่นๆ ดังนั้นจึงมีผู้วิจัยถึงสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเฟลโวนอยด์เมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมากมายและได้ศึกษาถึงโครงสร้างของเฟลโวนอยด์ที่มีส่วนสำคัญที่ทำให้เฟลโวนอยด์แสดงสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดังนี้

Ramanathan และDas(1992) ศึกษาผลของสารโพลีฟีนอลธรรมชาติ(natural polyphenolic)ต่อการควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลาสุกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C และ -20°C เป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่า เควอซีทิน(quercetin)(200 ส่วนในล้านส่วน) ไมริซิทีน(myricetin)(200 ส่วนในล้านส่วน) กรดแทนนิน(tannic acid)(30 และ 200 ส่วนในล้านส่วน) และกรดเอลลาจิก(ellagic acid)(30 และ 200 ส่วนในล้านส่วน) มีผลด้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันภายใต้สภาวะการเก็บรักษาดังกล่าวได้ดี

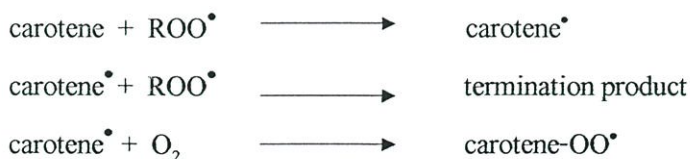
Das และPereira(1990) ศึกษาผลของเฟลโวนอยด์และความสัมพันธ์ของโครงสร้างต่อการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันปาล์ม พบว่า มอริน(morin) ไมริซิทีน(myricetin) เคมเพอรอล(kaempferol) และเควอซีทิน(quercecin) ซึ่งเป็นสารในกลุ่มเฟลโวนอลมีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีเมื่อใช้ในน้ำมันปาล์ม และพบว่าโครงสร้างที่มีส่วนสนับสนุนสมบัติการต้านการเกิดออกซิเดชันคือ จำนวนและตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลที่เข้าแทนที่บนวงแหวนบี พันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2-3 และการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระที่ตำแหน่ง 3 และ 5 บนวงแหวนซี และเอ และหมู่ 4-oxo

Wanasudara และShahidi(1994) ศึกษาเสถียรภาพของน้ำมันคาโนล่าต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันเมื่อใช้สารเฟลโวนอยด์ (ไมริซิทีน(myricetin) อพิเคทีชิน(epicatechin) นารินจิน(naringin) รุทีน(rutin) มอริน(morin) และเควอซีทิน(quercetin)) เติมนลงในน้ำมันคาโนล่าเปรียบเทียบกับ บีเอชเอ และบีเอชที โดยศึกษาการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันเป็นเวลา 13 วัน ที่อุณหภูมิ 65°C ผลการทดสอบพบว่าไมริซิทีนมีผลชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้สูงถึง 15 วัน และยับยั้งการเกิดสารประกอบจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ถึง 69% ในช่วงแรก(induction period)ของกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน เนื่องจากไมริซิทีนมีจำนวนของหมู่

ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของวงแหวนบีมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเฟลโวนอยด์ชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลองทำให้ไม่ริชิตินแสดงสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้สูงที่สุด

### 2.8.3 แคโรทีนอยด์(carotenoid)

แคโรทีนอยด์ เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่พบได้ในเปลือกและส่วนที่เป็นน้ำของส้ม มีสีเหลืองจนถึงสีส้ม แบ่งได้สองกลุ่มใหญ่คือ กลุ่มของแคโรทีน เช่น เบต้าแคโรทีน( $\beta$ -carotene) และไลโคปีน(lycopene) ส่วนอีกกลุ่มคือ แซนโทฟิลล์(xanthophyll) เช่น เอสธาแซนทิน(asthaxanthin) และเคทซาแซนทิน(canthaxanthin) แคโรทีนอยด์ที่พบในส้มจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ของส้ม ความแก่สุก ฤดูกาลและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว แคโรทีนอยด์ที่พบในเปลือกส้มเช่น แอลฟาและเบต้าแคโรทีน ลูทีน(lutein) และไวโอลแซนทิน(violaxanthin) เป็นต้น จากการศึกษาของ Curl และBailey(1956) พบว่าเปลือกและเยื่อใยของส้มพันธุ์ว่าแลนเซียประกอบด้วยแคโรทีนอยด์สูงถึง 60% และสารประกอบในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ที่พบมากที่สุดคือ ไวโอลแซนทินเช่นเดียวกับ Yen และChen (1995) ซึ่งทดลองแยกแซนโทฟิลล์จากเปลือกส้มในประเทศไต้หวันพบว่าไวโอลแซนทินเป็นสารที่มีมากที่สุดเปลือกส้ม และเมื่อนำไวโอลแซนทินที่แยกได้จาก HPLC และสารที่สกัดได้จากเปลือกส้มมาทดสอบความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลืองที่ระดับ 10-50 ส่วนในล้านส่วนเปรียบเทียบกับแอลฟาแคโรทีน เบต้าแคโรทีน และลูทีน พบว่าประสิทธิภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยมีดังนี้ เบต้าแคโรทีน > สารสกัดจากเปลือกส้ม > ไวโอลแซนทิน > ลูทีน > แอลฟาแคโรทีน ตามลำดับ และจากการทดสอบยังพบอีกว่าประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่ใช้ถ้าใช้ความเข้มข้นที่ระดับ 50 ส่วนในล้านส่วนจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่สุด แคโรทีนอยด์ที่พบในพืชตระกูลส้มมีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี โดยจะทำหน้าที่จับโลหะหรือช่วยทำลาย singlet oxygen ที่เป็นสาเหตุของปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่แคโรทีนอยด์มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีเฉพาะในกรณีที่มีความดันของออกซิเจนต่ำๆ(15-50 torr)เท่านั้น แต่เมื่ออยู่ในสภาพที่มีความดันออกซิเจนสูงๆแคโรทีนอยด์ก็จะส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้



จากสมการข้างต้นแคโรทีนจะทำปฏิกิริยากับลิปิดเปอร์ออกซิลเรดิคัล(lipid peroxy radical) และเปลี่ยนเป็นแคโรทีนเรดิคัล(carotene radical) ในกรณีที่มีระดับความเข้มข้น

ออกซิเจนต่ำๆ แครโทีนเรดิเคิล จะอยู่ในสภาพเสถียรซึ่งจะแสดงสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีแต่ในกรณีที่มีความดันของออกซิเจนสูงๆ แครโทีนเรดิเคิลที่เกิดขึ้นก็จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นเปอร์ออกซิลเรดิเคิลแคโรทีน(carotene peroxy radical, carotene-OO<sup>\*</sup>) ซึ่งสารที่เกิดขึ้นไม่เสถียรสามารถทำปฏิกิริยากับไขมันชนิดอื่นๆ ได้อีก เช่น แครโทีนด้วยกันเอง หรือเซลล์ไขมันของไขมัน ซึ่งนำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไป อย่างไรก็ตามสารในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ที่มีการค้นคว้าวิจัยแล้วว่ามีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เด่นชัดที่สุดคือ ลูทีน ไลโคปีน และเบต้าแคโรทีน โดยมีรายงานว่าสารเหล่านี้มีสมบัติยับยั้งการเกิดโฟโตออกซิเดชัน(photooxidation)ในน้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ได้ดี

#### 2.8.4 กรดฟีนอลิก(phenolic acids)

กรดฟีนอลิกเป็นสารอีกกลุ่มหนึ่งที่พบได้ในพืชตระกูลส้มเช่น คูมาริน(coumarin) ฟิคูมาริน(*p*-coumarins) เฟอรูลิก(ferulic) คาเฟอิก(caffeic) ซินนามิก(cinnamic) เป็นต้น กรดฟีนอลิกที่พบในพืชตระกูลส้มส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่จับอยู่กับสารประกอบชนิดอื่นๆ พบมากในส่วนของเปลือก แต่จะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ สภาพภูมิอากาศ และความแก่สุกของส้ม(Gorinstein *et al.*, 2001) กรดฟีนอลิกมีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เช่นเดียวกับสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ โดยมีกลไกในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันคล้ายกัน นอกจากนี้กรดฟีนอลิกยังมีสมบัติทางด้านเภสัชศาสตร์ด้วยเช่น ช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจและยับยั้งการดูดซึม Cu<sup>2+</sup> ที่มีส่วนไปเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ(LDL) ในร่างกายมนุษย์

### 2.9 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดพืชตระกูลส้ม

พืชตระกูลส้มเป็นพืชที่ประกอบด้วยสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันมากมายโดยเฉพาะสารประกอบในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ ดังนั้นจึงมีผู้สนใจศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากพืชตระกูลส้มและความเป็นไปได้ที่จะนำมาประยุกต์ใช้อุตสาหกรรมอาหารดังนี้

ประพันธ์ และวันทนิย์(2545) ศึกษาปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเมล็ดพืชตระกูลส้มชนิดต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทยโดยใช้เอทานอลเป็นตัวสกัด พบว่าเมล็ดส้มเขียวหวานมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงที่สุด รองลงมาคือ เมล็ดส้มฟรุ้งมอนด์ ส้มโชกุน ส้มสายน้ำผึ้ง ส้มโอขาวน้ำผึ้ง ส้มโอทองดี และมะนาว ตามลำดับ และสารสกัดจากเมล็ดส้มสายน้ำผึ้งมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยา

ออกซิเดชันสูงที่สุด รองลงมาคือ เมล็ดส้มเขียวหวาน ส้มปรุมองต์ ส้มโอทองดี มะนาว ส้มโชกุน และส้มโอขาวน้ำผึ้ง ตามลำดับ

Gorinstein และคณะ(2001) ศึกษาปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลและสารประกอบอื่นๆ ที่มีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารสกัดที่ได้จากเปลือกและผลของพืชตระกูลส้มชนิดต่างๆ รวมทั้งความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบเหล่านั้น พบว่าในส่วนของเปลือกจะมีปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าส่วนของผล นอกจากนี้สารสกัดจากเปลือกยังแสดงสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าสารสกัดจากผลของพืชตระกูลส้มทุกชนิดที่ใช้ในการทดลอง

Bocco และคณะ(1998) ศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มของพืชตระกูลส้มชนิดต่างๆ โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ 2 ชนิดในการสกัด ได้แก่ เมทานอล และเอทิลอะซิเตรท พบว่าสารสกัดจากเมล็ดส้มโดยทั่วไปจะมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าเปลือกส้ม นอกจากนี้สายพันธุ์ของพืชตระกูลส้มที่ต่างกันจะให้สารสกัดเมล็ดและเปลือกมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกันด้วย สำหรับชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ นั้นจะมีผลต่อกลุ่มของสารประกอบที่ถูกสกัดออกมาแตกต่างกัน โดยที่สารสกัดที่ได้จากการใช้เมทานอลจะมีองค์ประกอบของเฟลโวน และไกลโคซิลเลท เฟลวาโนน (glycosylated flavanones) เป็นส่วนใหญ่ขณะที่สารสกัดที่ได้จากการใช้เอทิลอะซิเตรท จะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดฟีนอลิก และเฟลโวนอล อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้อาจไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับชนิดหรือองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในสารดังกล่าว

Jamilah และคณะ(1998) ศึกษาการใช้สารสกัดจากเปลือกมะกรูด (*Citrus hystrix*) ในน้ำมันปาล์มโกลีนที่ใช้ทอด พบว่าการใช้สารสกัดที่ระดับ 2,000 ส่วนในล้านส่วน และสารบีเอสที 200 ส่วนในล้านส่วนเติมลงในน้ำมันปาล์มโกลีนที่ใช้ทอดข้าวเกรียบปลาที่อุณหภูมิ 180°C ช่วงเวลา 5 ชม./วัน เป็นเวลาติดต่อกัน 4 วัน พบว่าสารสกัดจากเปลือกมะกรูดแสดงสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างมีประสิทธิภาพดี

Larrauri และคณะ(1996) ศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของผงเยื่อใยที่ได้จากส้มพันธุ์วาเลนเซีย (*Citrus sinensis*) และเปลือกมะนาวพันธุ์เพอร์ซา (*Citrus aurantifolia*) โดยติดตามประสิทธิภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของกรดลิโนลิกที่อุณหภูมิ 40°C เปรียบเทียบกับวิตามินอี และบีเอสเอ พบว่าประสิทธิภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของบีเอสเอดีที่สุด รองลงมาคือเปลือกมะนาวพันธุ์เพอร์ซา วิตามินอีและเปลือกส้มวาเลนเซีย ตามลำดับ และเมื่อนำผงเยื่อใยทั้ง 2 ชนิดมาแยกโดยใช้ HPLC สารประกอบโพลีฟีนอลที่เป็นองค์ประกอบในผงเยื่อใยทั้ง 2 ชนิดคือ กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) นารินจิน (naringin) เฮอร์เปอริดิน (hesperidin) และไมริซิทิน (myricetin)

ส่วนในเปลือกมะนาวพันธุ์เพอร์ซา จะมีสารประกอบที่แตกต่างจากเปลือกส้มวาเลนเซียคือ กรด แอลลาจิก(ellagic acid) เควอซีทิน(quercetin) และเคมเฟอร์อล(kaempferol) ซึ่งสารประกอบดังกล่าวเป็นสารที่แสดงสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี จึงทำให้เปลือกมะนาวพันธุ์เพอร์ซา แสดงสมบัติยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของกรดคลิโนลิคได้ดีกว่าเปลือกส้มวาเลนเซีย

Tanizawa และคณะ(1992) ศึกษาคุณสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจาก ส่วนต่างๆของส้มทั้งหมด 20 สายพันธุ์ โดยใช้วิธีทดสอบการเกิดเปอร์ออกไซด์ของไขมันใน ไมโครโซม(rat liver microsomal) ที่ก่อให้เกิดโคไฮโดรนิโคตินาไมอะดีนินไดนิวคลีโอไทด์-ฟอสเฟต(dihyronicotinamide adenine dinucleotide phosphate,NADPH) และอะดีโนซีนได-ฟอสเฟต(adenosine diphosphate,ADP) พบว่าส่วนเอกโซคาร์ป(exocarp) ของส้มมีสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าส่วนซาโคคาร์ป(sacocarp) ของส้มที่แก่สุดในเดือนกรกฎาคมถึง สิงหาคม และพบว่าส้มเขียวหวาน(*Citrus reticulata* Blanco) ที่แก่สุดในเดือนกรกฎาคมมีสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันดีที่สุด

Williams และHarris(1985) ศึกษาคุณสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันส้มพันธุ์ *Citrus Sinesis* (L.) Osbeck โดยนำากส่วนที่เหลือจากการคั้นน้ำส้ม(ส่วนของเยื่อใยและเปลือก) มาบดและทำให้แห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ จากนั้นนำากากส้มที่มีลักษณะเป็นแป้ง(flour) มาเติมลงในमितโลฟ ปริมาณ 3 และ 7% โดยน้ำหนัก พบว่าสามารถลดการเกิดกลิ่นหืนได้ในमितโลฟที่ผ่านการทำให้สุกที่เก็บรักษาแบบแช่แข็งและแบบแช่เย็น แต่ไม่มีผลในमितโลฟดิบและเมื่อทดสอบสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธีแคโรทีน บลิชชิง(carotene bleaching) พบว่ากากส้มทำแห้งที่สกัดโดยใช้เมทานอลมีผลด้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีแต่สารประกอบที่มีผลต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่ได้ระบุอย่างชัดเจน

### บทที่ 3

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 3.1 วัสดุดิบ

3.1.1 กระจับแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน กระจับแดง ซึ่งจากตลาดสดหัวตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ส่วนเมล็ดและเปลือกส้มเขียวหวานขอความอนุเคราะห์จาก แม่ค้าขายน้ำส้มคั้นที่ตลาดหัวตะเข้

### 3.1.2 สารเคมี

- บีโตรเลียมอีเทอร์จุดเดือด 40-60°C	BHD	อังกฤษ
- เอทิลแอลกอฮอล์ 95%	องค์การสุรากรมสรรพสามิต	ไทย
- กรดอะซีติก	Lab scan analytical science	ไทย
- คลอโรฟอร์ม	Lab scan analytical science	ไทย
- โพแทสเซียมไอโอไดด์	Carlo ERBA reagenti	อิตาลี
- โซเดียมไซโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรท	BHD	อังกฤษ
- สตาร์ซอินดิเคเตอร์	BHD	อังกฤษ
- กรดไตรคลอโรอะซีติก	Fluka chemika	สวิสเซอร์แลนด์
- กรดฟอสฟอริก 85%	Merck	เยอรมันนี
- กรดไซโอโครคลอริก	BHD	อังกฤษ
- ซัลฟานิลไมด์	Merck	เยอรมันนี

(สารเคมีทุกชนิดเป็น analytical grade)

### 3.1.3 อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

- ทริปโตน	Himedia laboratories	อินเดีย
- ยีสต์สกัด	Oxoid	อังกฤษ
- กลูโคส	Merck	เยอรมันนี
- ู้น	S.P. science	ชิลี

## 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

### 3.2.1 อุปกรณ์ในการเตรียมวัตถุดิบ

- ตู้อบลมร้อน(hot air oven) Memmert 854 Schwabach เยอรมันนี
- ถาดอะลูมิเนียม

### 3.2.2 อุปกรณ์ในการเตรียมสารสกัด

- เครื่องสกัดไขมัน Soxhlet apparatus BUCHI 810 สวิตเซอร์แลนด์
- เตากลุมให้ความร้อน Electro thermal EME6 0500/CE อังกฤษ
- เครื่องทำความเย็น Cooling รุ่น CBD 1 ไทย
- เครื่องระเหยสุญญากาศ Rotavapor BUCHI R-114 สวิตเซอร์แลนด์
- ปัมสุญญากาศ Vacuum system BUCHI B-169 สวิตเซอร์แลนด์
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ Water bath BUCHI B-480 สวิตเซอร์แลนด์
- เครื่องชั่งชนิดละเอียด Metter AE 3000 สวิตเซอร์แลนด์
- เครื่องบดหยาบ Blender MX-T 110N ไต้หวัน
- เครื่องเขย่า(shaker) Gerhardt Bonn เยอรมันนี

### 3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมหมูแผ่นและกุนเชียง

- เครื่องบดเนื้อ US Berkel เยอรมันนี
- เครื่องบรรจุไส้ Handtman เยอรมันนี
- เครื่องทำแห้งแบบถาด Tray dryer B.W.S.-3 ญี่ปุ่น
- เครื่องบรรจุสุญญากาศ Sammic S.A. สเปน
- เตอบไฟฟ้า Airlux KA-6126A ไทย

### 3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ผลทางเคมี

- เครื่องวัดสี Minolta CR-300 ญี่ปุ่น
- เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ Spectrophotometer 22 สหรัฐอเมริกา
- เครื่องวัดค่าอุณหภูมิคงที่ Navasima รุ่น Thermoconstanter สวิตเซอร์แลนด์
- ตู้อบลมร้อน(hot air oven) Memmert 854 Schwabach เยอรมันนี

### 3.2.5 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ผลทางด้านจุลินทรีย์

- เครื่องสเตอริไลเซชัน Tomy Seiko SS-320 ญี่ปุ่น
- ตู้บ่มเชื้อจุลินทรีย์ Heraeus D-63450 เยอรมันนี
- เครื่องตีป่น(stomacher) Route de dol B.P.54 ฝรั่งเศส

### 3.3 สถานที่ดำเนินงาน

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 3.4 วิธีดำเนินงาน

#### 3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

**3.4.1.1 กระจับแดง** นำกระจับแดงแห้ง มาอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนมีความชื้นสุดท้ายน้อยกว่า 5% จากนั้นเก็บตัวอย่างแห้งไว้ที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

**3.4.1.2 เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน** นำเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานมาล้างให้สะอาดตากแดดเป็นเวลา 12 ชั่วโมงจนมีความชื้นอยู่ในช่วง 14-15% จากนั้นนำมาอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จนมีความชื้นสุดท้ายน้อยกว่า 5% นำเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานมาบดหยาบด้วยเครื่องบดหยาบ(blender MX-T 110N) แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 10 กรัม สกัดไขมันออกโดยใช้เครื่อง Soxhlet และใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวสกัด ใช้เวลาในการสกัด 2 ชั่วโมง จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกจากตัวอย่างเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน โดยตั้งทิ้งไว้ในตู้ดูดควันเป็นเวลา 30 นาที เก็บตัวอย่างที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิ -20°C

#### 3.4.2 การเตรียมสารสกัด

**3.4.2.1 การเตรียมสารสกัดจากกระจับแดง** นำกระจับแดงที่บดละเอียดจำนวน 25 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมเอทิลแอลกอฮอล์(95%)จำนวน 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำเข้าเครื่องเขย่าเป็นเวลา 18 ชั่วโมง นำสารที่สกัดได้ไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 โดยใช้กรวยกรองบุชเนอร์ระเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40°C จนตัวทำละลายหมดไป เก็บตัวอย่างที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

**3.4.2.2 การเตรียมสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน** นำเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วมา 10 กรัม ใส่ในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเอทิลแอลกอฮอล์(95%) จำนวน 100 มิลลิลิตร สกัดโดยวิธีการรีฟลักซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่

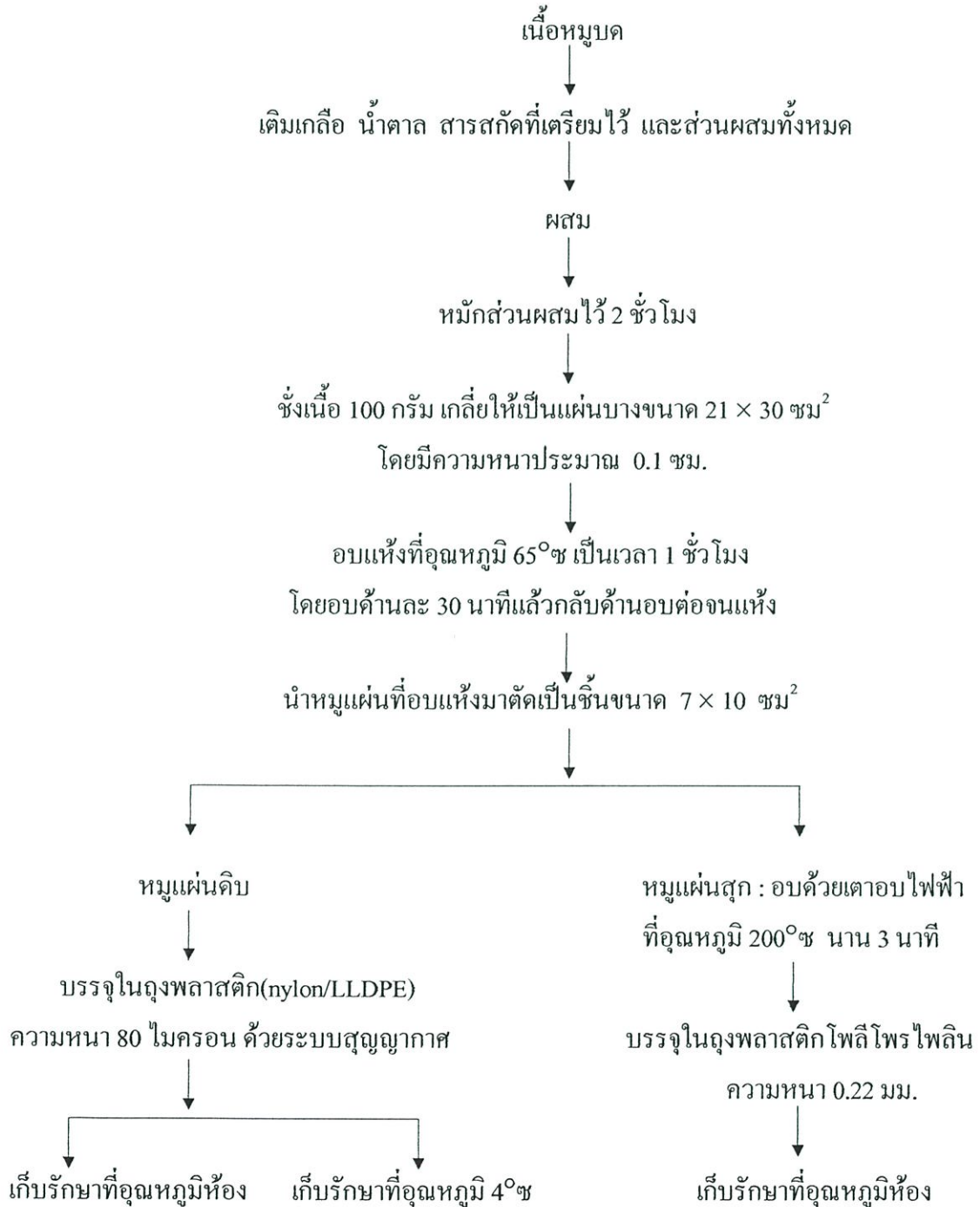
อุณหภูมิ 80°C กรองสารสกัดที่ได้ด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 โดยใช้กรวยกรองบุชเนอร์ จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40°C จนตัวทำละลายหมดไป เก็บตัวอย่างที่สกัดได้ไว้ที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

### 3.4.3 การเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียง

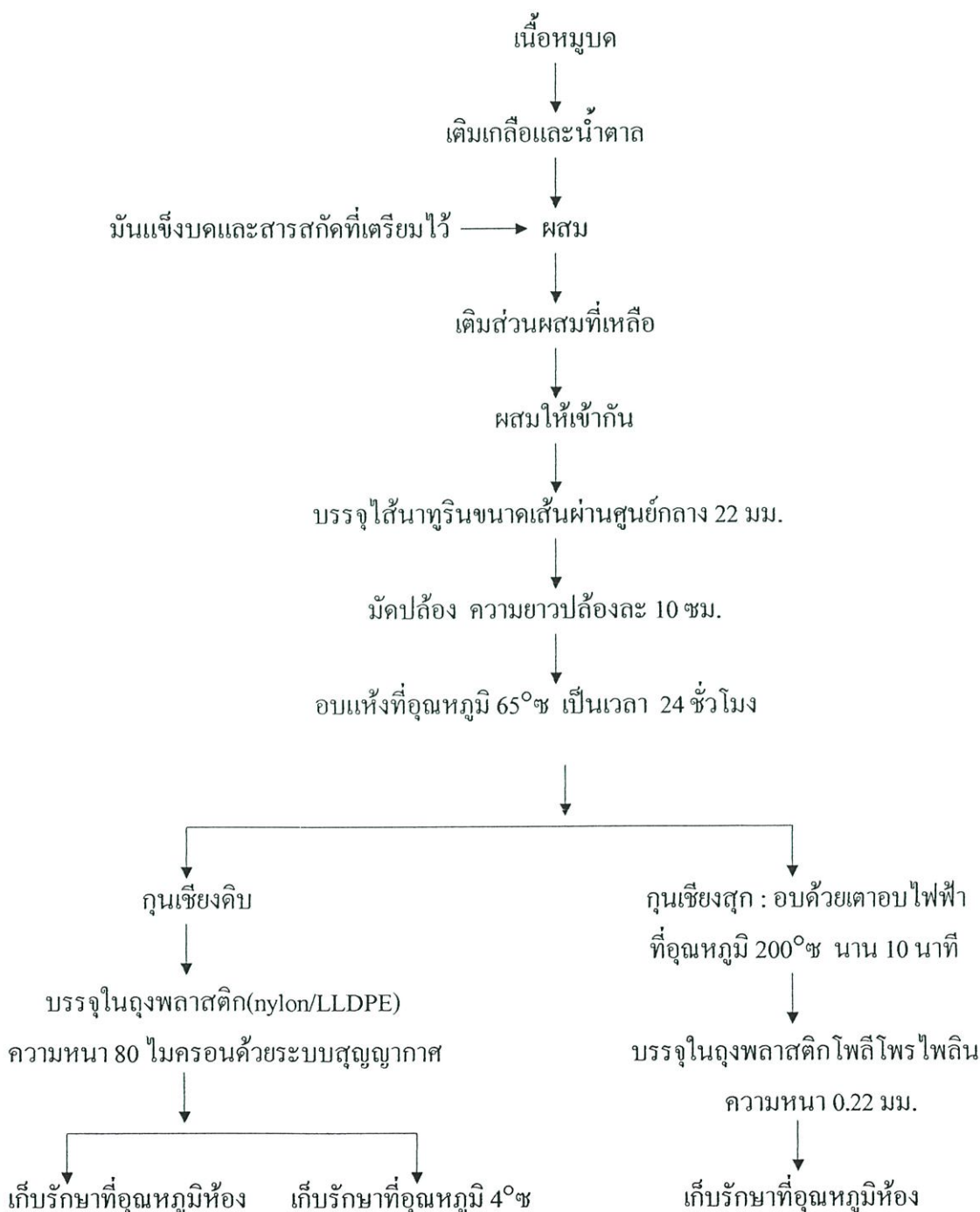
#### 3.4.3.1 สูตรของหมูแผ่นและกุนเชียงที่ใช้ในการทดลอง

หมูแผ่น	
ส่วนผสม	เปอร์เซ็นต์(%)
เนื้อหมู	86.83
น้ำตาลทราย	7.23
ซีอิ๊วขาว	4.34
น้ำเปล่า	1.4
ผงเพรก	0.2
กุนเชียง	
ส่วนผสม	เปอร์เซ็นต์(%)
เนื้อหมู	65
มันแข็ง	16
ผงเพรก	0.2
ผงพะโล้	0.1
เกลือ	1.8
น้ำตาลทราย	16.5
ผงชูรส	0.3

3.4.3.2 ขั้นตอนการผลิตหมูแผ่น ใช้เนื้อหมูบริเวณสะโพกส่วนพับนอก(Semi-membranosus) ที่ตัดแต่งส่วนของไขมันด้านนอกออกแล้วนำมาหั่นและบดหยาบผ่านแผ่นแวนที่มีรูตะแกรงขนาด 4 มม.



3.4.3.3 ขั้นตอนการผลิตกุนเชียง ใช้เนื้อหมูบริเวณสะโพกส่วนพบนอก(Semi-membranosus) ที่ตัดแต่งส่วนของไขมันด้านนอกออกแล้วนำมาหั่นและบดหยาบผ่านแผ่นแว่นที่มีรูตะแกรงขนาด 4 มม. ส่วนมันแข็งนำมาลวกน้ำเดือด 1 นาทีก่อนนำมาหั่นและบดหยาบผ่านแผ่นแว่นที่มีรูตะแกรงขนาด 4 มม.



### 3.4.4 ศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการของหมู่ม้วนและกุนเชียง

นำหมู่ม้วนและกุนเชียงที่ผลิตได้มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดังต่อไปนี้

3.4.4.1 ปริมาณไขมันทั้งหมด

3.4.4.2 ปริมาณความชื้นทั้งหมด(AOAC, 1995)

3.4.4.3 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี

### 3.4.5 ศึกษาประสิทธิภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากกระเจียบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานในหมู่ม้วนและกุนเชียง

ใช้สารสกัดจากกระเจียบแดง เปลือกหรือเมล็ดส้มเขียวหวานที่ 5 ระดับความเข้มข้นคือ 0, 0.05, 0.1, 0.2 และ 0.3% โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก เติมนลงในส่วนผสมในหัวข้อ 3.4.3.2 หรือ 3.4.3.3 และดำเนินการผลิตหมู่ม้วนและกุนเชียงตามขั้นตอนจนกระทั่งได้หมู่ม้วนและกุนเชียงดิบ จากนั้นแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่ง หมู่ม้วนหรือกุนเชียงดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE ความหนา 80 ไมครอน) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) และ  $4^{\circ}\text{C}$  ส่วนที่สอง หมู่ม้วนหรือกุนเชียงดิบนำมาทำให้สุกด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ  $200^{\circ}\text{C}$  นาน 10 นาทีสำหรับกุนเชียง และนาน 3 นาทีสำหรับหมู่ม้วน แล้วบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีนหนา 0.22 มิลลิเมตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นติดตามประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเก็บตัวอย่างที่เก็บรักษาในวันที่ 1, 7, 14, 21 และ 28 วัน มาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสดังนี้

3.4.5.1 ค่าเปอร์ออกไซด์ (นิธิยาและลักขณา, 2541; AOAC, 1995 : ภาคผนวก ก.)

3.4.5.2 Thiobarbituric acid reactive substance, TBARS (Wittle *et al.*, 1970; Shahidi *et al.*, 1982 : ภาคผนวก ก.)

3.4.5.3 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด(AOAC, 1995)

3.4.5.4 วัตถุประสงค์ โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta CR-300 บันทึกค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$

3.4.5.5 ทดสอบทางประสาทสัมผัส ทดสอบในเรื่องกลิ่นหืนที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดด้วยการดมกลิ่น ใช้วิธีทดสอบแบบ multiple comparison test(Meilgaard *et al.*, 1987) โดยการทดสอบจะให้ผู้ทดสอบระบุระดับคะแนนของกลิ่นหืนที่รับรู้ได้ โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง(reference, R) ซึ่งตัวอย่างเปรียบเทียบจะใช้หมู่ม้วนหรือกุนเชียงที่เติมบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก เก็บที่สภาวะและเวลาเดียวกันกับตัวอย่างที่ทดสอบ โดยแบ่งระดับคะแนนเป็น 9 ระดับ คือ 1 = มีกลิ่นหืนน้อยที่สุด ถึง 9 = มีกลิ่นหืนมากที่สุด(ภาคผนวก ข.)

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองข้อ 3.4.5.1 - 3.4.5.4 โดยใช้แผนการทดสอบ Factorial in Complete Randomized Design(CRD) สำหรับผลิตภัณฑ์ดิบ และใช้แผนการทดสอบ Complete Randomized Design(CRD) สำหรับผลิตภัณฑ์สุก ใช้โปรแกรม

คอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Version 7.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองข้อ 3.4.5.5 โดยใช้แผนการทดสอบ Randomized Complete Block Design(RCBD) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Version 7.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

**3.4.6 ศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานใน หมูแผ่นและกุนเชียงต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส**

ใช้ระดับของสารสกัดที่มีประสิทธิภาพด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันดีที่สุด ในข้อ 3.4.5 ในการผลิตหมูแผ่นและกุนเชียง และทดสอบการยอมรับด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ โดยทดสอบการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวมของหมูแผ่นและกุนเชียง ใช้แบบทดสอบ 7-point hedonic scale(Meilgaard *et al.*, 1987) โดยแบ่งระดับคะแนนเป็น 7 ระดับ คือ 1 = ไม่ชอบมาก ถึง 7 = ชอบมาก(ภาคผนวก ข.)

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองโดยใช้แผนการทดสอบ Randomized Complete Block Design(RCBD) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Version 7.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 สมบัติทางเคมีบางประการของหมูแผ่นและกุนเชียง

เมื่อทำการผลิตหมูแผ่นและกุนเชียงตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.4.3 จนกระทั่งได้หมูแผ่นและกุนเชียง จากนั้นนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดมาวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตี ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าสมบัติทางเคมีของหมูแผ่นและกุนเชียงที่วิเคราะห์ได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กึ่งแห้ง ซึ่งกำหนดไว้ให้มีความชื้นอยู่ในช่วง 15-30% และมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วง 0.65-0.85 เมื่อพิจารณาปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดจะเห็นได้ว่ากุนเชียงจะมีองค์ประกอบของไขมันสูงกว่าหมูแผ่น ทั้งนี้เนื่องจากในส่วนผสมกุนเชียงจะเติมมันแข็งลงไปในส่วนผสมด้วย

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีบางประการของหมูแผ่นและกุนเชียง

สมบัติทางเคมี	หมูแผ่น	กุนเชียง
ไขมัน(%)	10.67±0.05	21.49±2.30
ความชื้น(%)	24.69±0.95	29.90±0.78
วอเตอร์แอกติวิตี( $a_w$ )	0.73±0.02	0.77±0.03

#### 4.2 การใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่นและกุนเชียง

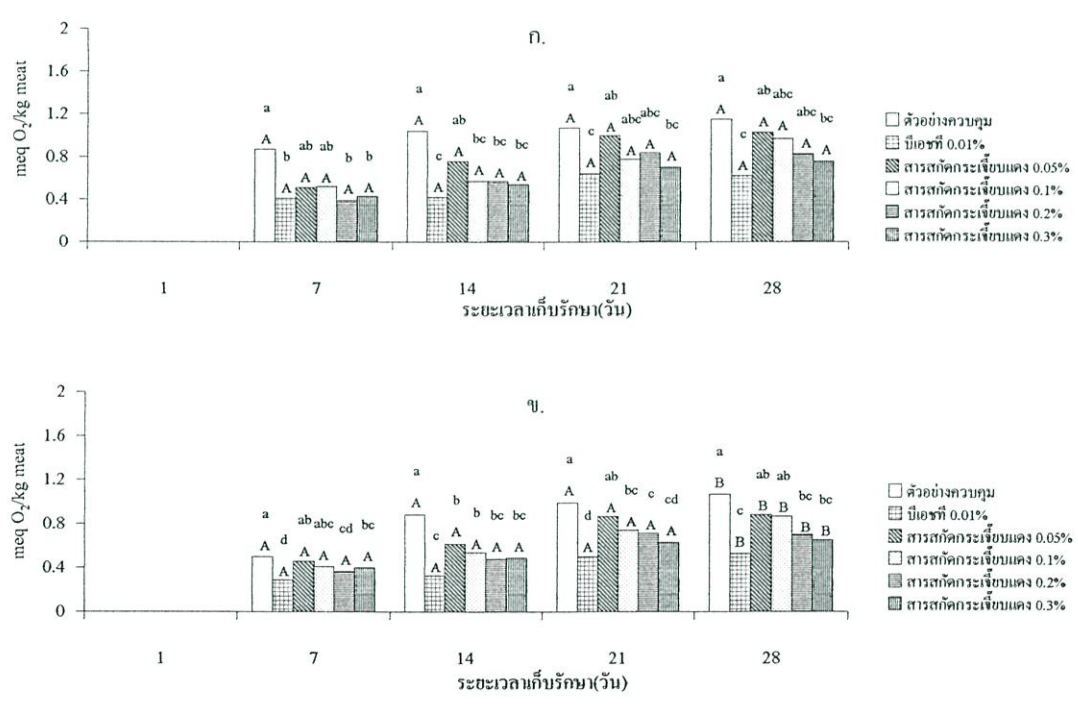
##### 4.2.1 ค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นและกุนเชียง

จากการศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียง โดยเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นและกุนเชียงดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°C) และ 4°C สำหรับหมูแผ่นและกุนเชียงสุกบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.1-4.6

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของผลิตภัณฑ์หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ ) โดยหมูแผ่นและกุนเชียงดิบทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS สูงกว่าหมูแผ่นและกุนเชียงดิบทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  อย่างไรก็ตามผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา กุนเชียงดิบจะมีผลชัดเจนกว่ากรรมของหมูแผ่นดิบ ทั้งนี้เนื่องจากกุนเชียงดิบมีองค์ประกอบของไขมันสูงกว่าหมูแผ่นดิบ(ตารางที่ 4.1) ทำให้สามารถเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีกว่า ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้คล้ายคลึงกับรายงานของ Wang และคณะ(1995) ที่พบว่า การเก็บรักษา กุนเชียงดิบไว้ที่อุณหภูมิ  $15^{\circ}\text{C}$  จะมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS สูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กึ่งแห้งที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบไว้ที่อุณหภูมิสูงจะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ง่ายกว่าเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ

ภาพที่ 4.1 และ 4.2 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นดิบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ  $4^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ และภาพที่ 4.3 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะเห็นได้ว่าการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงในหมูแผ่นดิบและสุกในทุกสภาวะการเก็บรักษาที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาช้ากว่าตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันในหมูแผ่นได้ และเมื่อระดับของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่เติมลงในส่วนผสมสูงขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นในระหว่างการเก็บรักษาจะมีค่าเพิ่มขึ้นช้าลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูแผ่นดิบและสุกที่ทุกสภาวะการทดลอง สำหรับตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงกับตัวอย่างที่เติมบีเอชที จะเห็นได้ว่าตัวอย่างหมูแผ่นดิบและสุกที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.05-0.2% โดยน้ำหนัก จะมีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS สูงกว่าตัวอย่างที่เติมบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงในระดับที่ใช้ดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันในหมูแผ่นดิบและสุกต่ำกว่าบีเอชที อย่างไรก็ตามการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงในหมูแผ่นที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก จะสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับหมูแผ่นตัวอย่างควบคุม โดยหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีค่าเปอร์ออกไซด์และค่า TBARS หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วันเท่ากับ  $0.76 \pm 0.28$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ  $1.48 \pm 0.03$  มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาใน

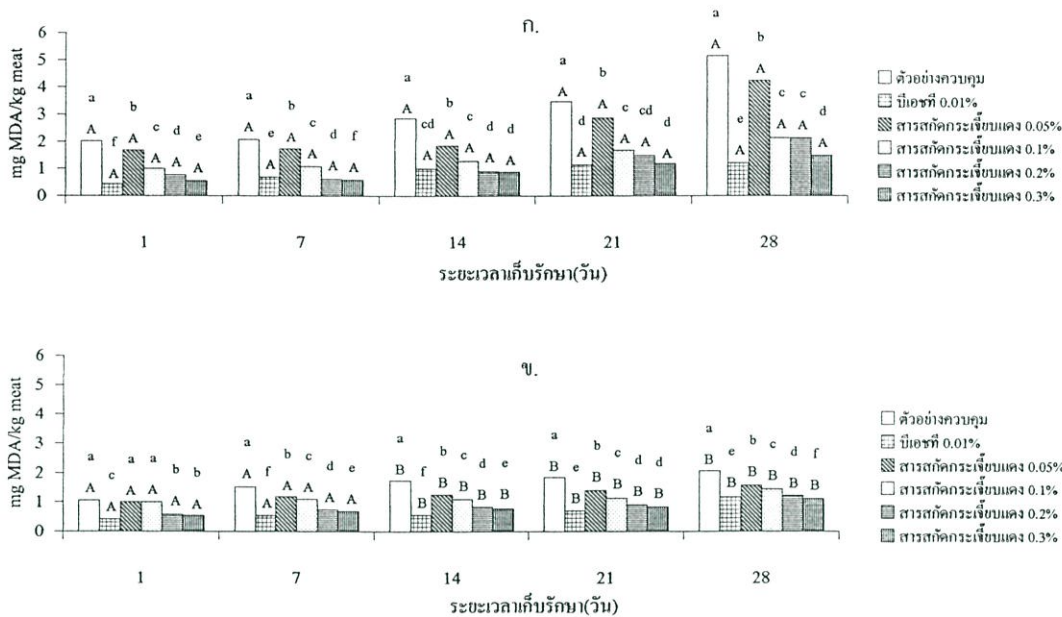
สภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ  $1.15 \pm 0.05$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมู-  
 แผ่น และ  $5.15 \pm 0.11$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ หมูแผ่นดิบที่  
 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  มีค่าเปอร์ออกไซด์และค่า TBARS หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน  
 เท่ากับ  $0.65 \pm 0.03$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ  $1.12 \pm 0.01$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดี-  
 ไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่า  
 เปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ  $1.07 \pm 0.04$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ  
 $2.06 \pm 0.02$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ สำหรับหมูแผ่นสุกที่เติม  
 สารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีค่าเปอร์ออกไซด์  
 และค่า TBARS หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วันเท่ากับ  $0.49 \pm 0.06$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัม  
 หมูแผ่น และ  $0.62 \pm 0.01$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในขณะที่  
 ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ  $1.13 \pm 0.27$   
 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ  $1.77 \pm 0.01$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น  
 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ  $4^{\circ}\text{C}$ (ข.)

หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของค่าเปอร์ออกไซด์เนื่องมาจากอุณหภูมิ ในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

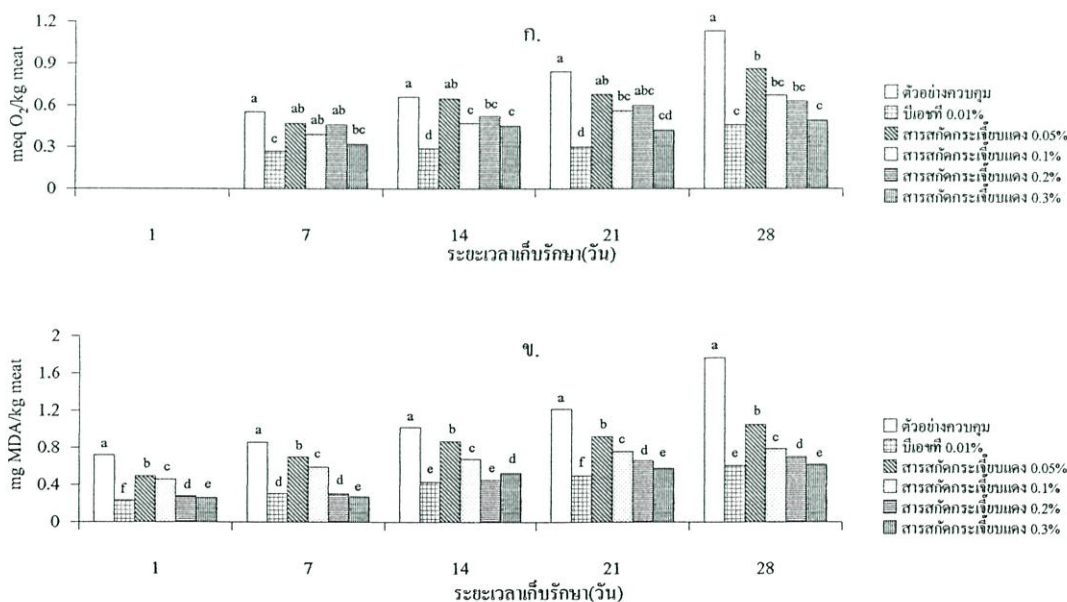
2. a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ ต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.2 ค่า TBARS ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของค่า TBARS เนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

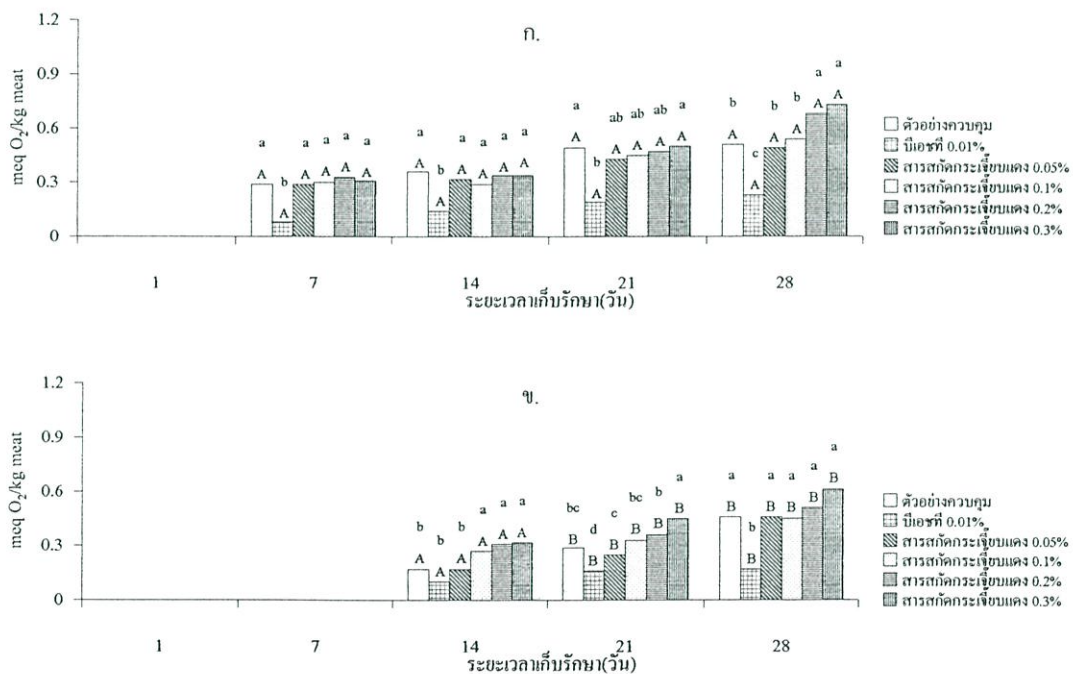
2. a-f ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.3 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

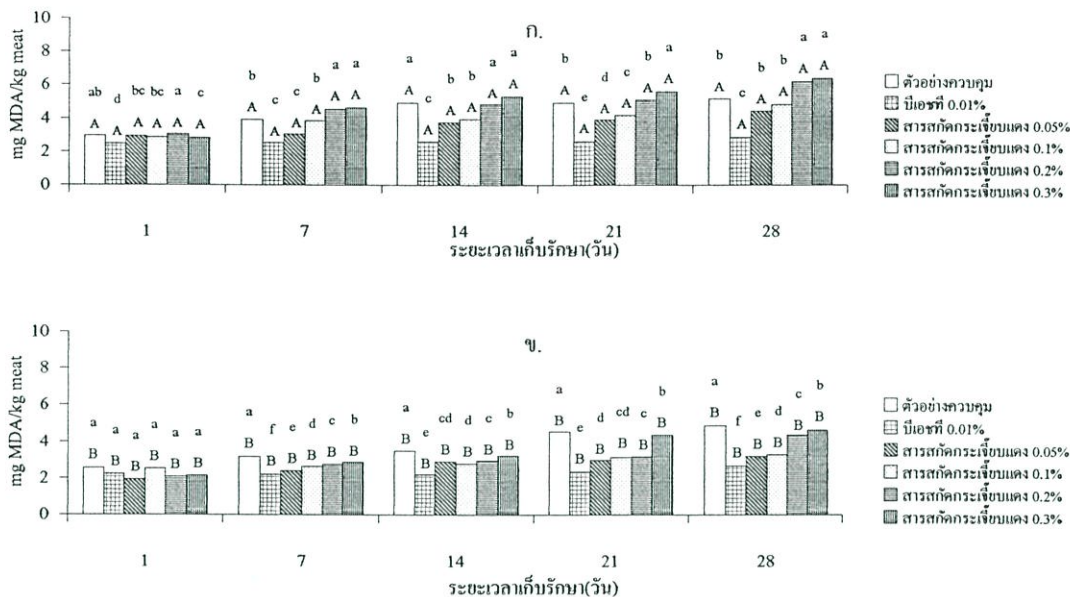
หมายเหตุ a-f ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ภาพที่ 4.4 และ 4.5 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของกุนเชียงดิบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°C ตามลำดับ และภาพที่ 4.6 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของกุนเชียงสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะเห็นได้ว่ากุนเชียงทั้งดิบและสุกที่เดิมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เมื่อเก็บรักษาที่ทุกสภาวะการทดลองจะมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS สูงขึ้นตามระดับของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่เติมลงไป กล่าวคือที่ระดับของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง 0.3% โดยน้ำหนักที่เติมลงในส่วนผสมของกุนเชียงจะมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษามากที่สุดและบางกรณียังมีค่าสูงกว่ากุนเชียงตัวอย่างควบคุมอีกด้วย ลักษณะของผลการทดลองดังกล่าวทำให้สันนิษฐานได้ว่าสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ความเข้มข้นสูงขึ้น มีผลในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในกุนเชียงแทนที่จะยับยั้งปฏิกิริยาดังกล่าวหรืออีกนัยหนึ่งคือแสดงสมบัติเป็น โปรออกซิแดนซ์ (pro-oxidant) เพราะเหตุไรสมบัติการเป็น โปรออกซิแดนซ์ของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงจึงเกิดขึ้นเฉพาะในกุนเชียงเท่านั้น แต่จะไม่ปรากฏในหมูแผ่นเป็นเรื่องที่น่าสนใจศึกษาต่อไป



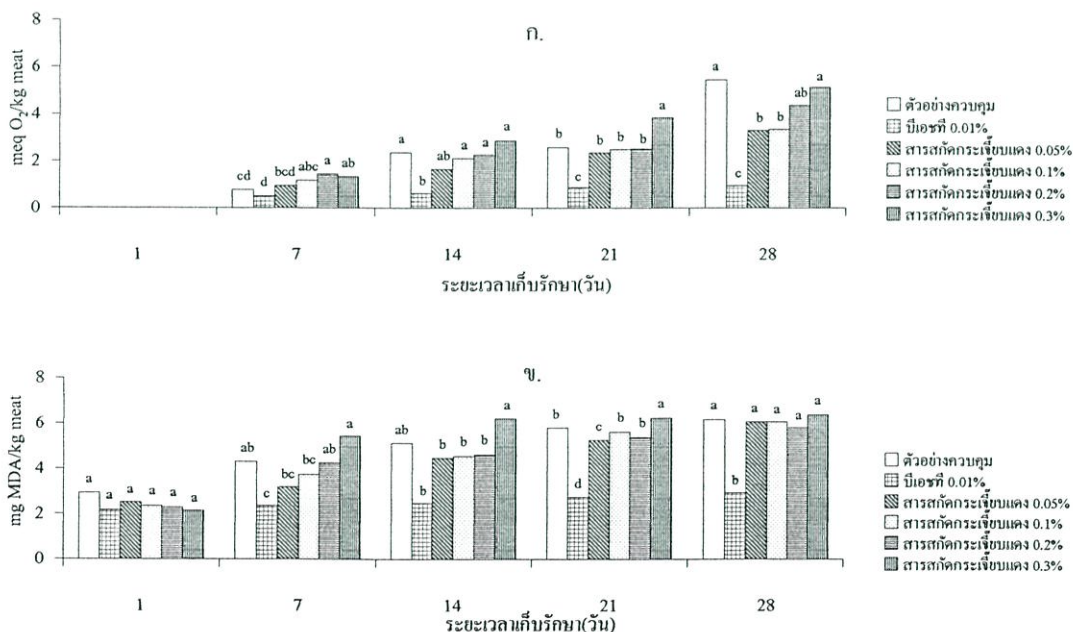
ภาพที่ 4.4 ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

- หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของค่าเปอร์ออกไซด์เนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
2. a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.5 ค่า TBARS ของขุนเชียงคิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

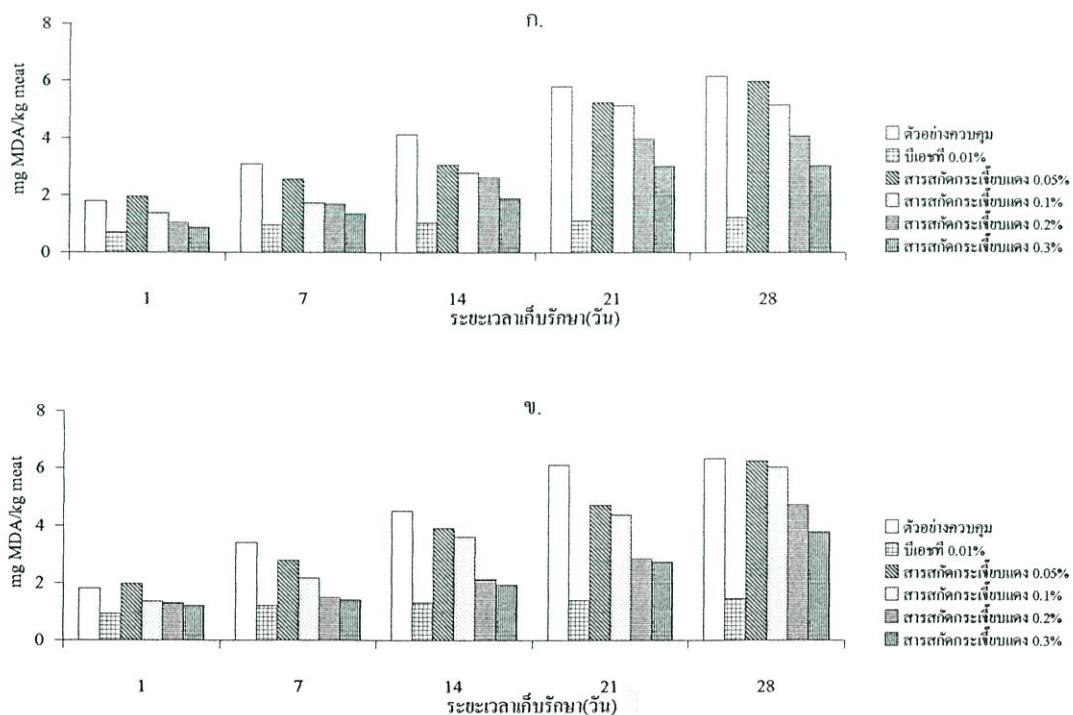
หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p<0.05)ของค่า TBARS เนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 2. a-f ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p<0.05)ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.6 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของขุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

หมายเหตุ a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p<0.05)ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

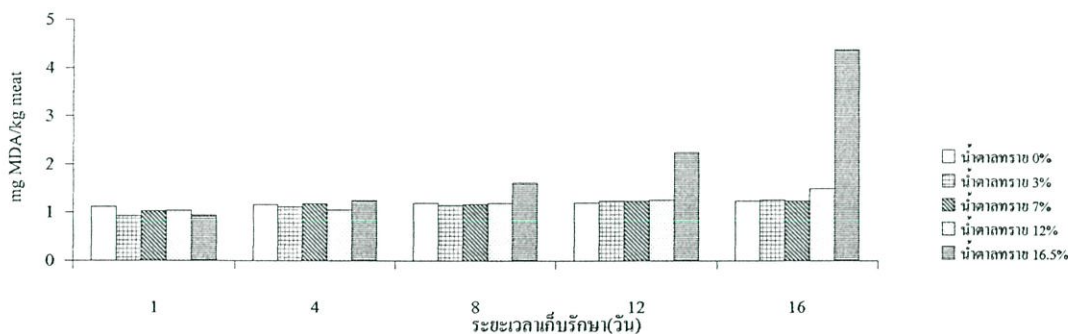
เมื่อพิจารณาส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ทั้งสอง(หัวข้อ 3.4.3.1 และตารางที่ 4.1) จะเห็นว่าส่วนผสมหลักที่ต่างกันคือ น้ำตาลทรายและไขมัน(มันแข็ง) โดยที่กุนเชียงจะมีส่วนผสมของน้ำตาลทรายและไขมันสูงกว่าหมูแผ่นประมาณ 2 เท่า จากการศึกษาของ Tinsley และ Bockian(1960) พบว่าปริมาณน้ำตาลมีผลทำให้รังควันในกลุ่มของแอนโรไซยานินเกิดการแตกหักในขณะที่ได้รับความร้อน และในสภาวะที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูงจะมีผลเร่งการสลายตัวของแอนโรไซยานินให้เกิดเร็วขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาควบแน่น(Condensation) ของแอนโรไซยานินกับน้ำตาล นอกจากนี้ยังมีรายงานที่กล่าวถึงสมบัติการเป็นโปรออกซิแดนซ์ในบางสภาวะของสารประกอบประเภทแอนโรไซยานินและสารประกอบโพลีฟีนอล(Abuja *et al.*, 1998; Fukumoto and Mazza, 2000) ถึงแม้ว่ายังไม่มีรายงานโดยตรง ถึงผลของน้ำตาลต่อการเสริมสมบัติโปรออกซิแดนซ์ของสารในกลุ่มแอนโรไซยานินก็ตาม จากความแตกต่างของผลการทดลองที่ได้ระหว่างหมูแผ่นและกุนเชียงทำให้สันนิษฐานได้ว่า น้ำตาลน่าจะมีผลต่อการแสดงสมบัติโปรออกซิแดนซ์ของสารสกัดกระเจียบแดงในกุนเชียง ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติม โดยเตรียมตัวอย่างกุนเชียงที่เติมปริมาณน้ำตาลแตกต่างกันคือ 0 และ 7.23% โดยน้ำหนัก และเติมสารสกัดกระเจียบแดงที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก จากนั้นเก็บรักษากุนเชียงดิบดังกล่าวในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)บรรจุแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่า TBARS ทุกๆ 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 ค่า TBARS ของกุนเชียงดิบที่เติมน้ำตาลทรายที่ระดับ 0%(ก.) และ 7.23%(ข.)

ภาพที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างกุ้งแช่แข็งที่ไม่มีน้ำตาลทรายในส่วนผสมและตัวอย่างกุ้งแช่แข็งที่เติมน้ำตาลทรายในระดับที่ใกล้เคียงกับที่เติมลงในหมูแผ่นคือ 7.23% โดยน้ำหนัก ให้ผลการทดลองเป็นแนวโน้มเดียวกันและในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลองที่ได้จากกรณีของหมูแผ่น กล่าวคือเมื่อระดับของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่เติมลงในส่วนผสมของกุ้งแช่แข็งสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ของกุ้งแช่แข็งในระหว่างการเก็บรักษาจะลดลง นั่นคือสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงแสดงสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้สำหรับกุ้งแช่แข็งที่มีการเติมน้ำตาลทรายในระดับปกติคือ 16.5% โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 4.4-4.6) จะเห็นได้ว่าที่ระดับของน้ำตาลสูง สารสกัดกระเจี๊ยบแดงจะแสดงสมบัติเป็นโปรออกซิแดนซ์อย่างชัดเจน จากผลการทดลองทั้งหมดข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าน้ำตาลทรายมีผลต่อการเป็นโปรออกซิแดนซ์ของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงในผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็ง

เพื่อเป็นการยืนยันผลของน้ำตาลทรายต่อสมบัติการเป็นโปรออกซิแดนซ์ของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงในผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็ง จึงทำการทดลองเพิ่มเติมอีกครั้งโดยเตรียมตัวอย่างกุ้งแช่แข็งที่เติมปริมาณน้ำตาลแตกต่างกันคือ 0, 3, 7, 12 และ 16.5% โดยน้ำหนัก และเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2% โดยน้ำหนักเนื้อหมูและไขมัน เก็บรักษาตัวอย่างในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)บรรจุแบบสุญญากาศ ภายใต้สภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 40°C จากนั้นเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่า TBARS ทุก 4 วัน เป็นเวลา 16 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 ค่า TBARS ของกุ้งแช่แข็งที่เติมน้ำตาลทรายที่ระดับต่างๆ

ภาพที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าที่ระดับน้ำตาลทราย 3 และ 7% โดยน้ำหนัก จะยังไม่เห็นผลการเป็นโปรออกซิแดนซ์ของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงในผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็งตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 16 วัน อย่างไรก็ตามที่ระดับของน้ำตาลสูงขึ้นไปเป็น 12% โดยน้ำหนัก จะเริ่มสังเกตเห็นสมบัติการเป็นโปรออกซิแดนซ์ของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงและชัดเจนที่สุดเมื่อปริมาณน้ำตาลทรายเท่ากับ 16.5% โดยน้ำหนัก โดยตัวอย่างกุ้งแช่แข็งดังกล่าวมีค่า TBARS หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 16 วัน เท่ากับ 1.50 มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมกุ้งแช่แข็ง

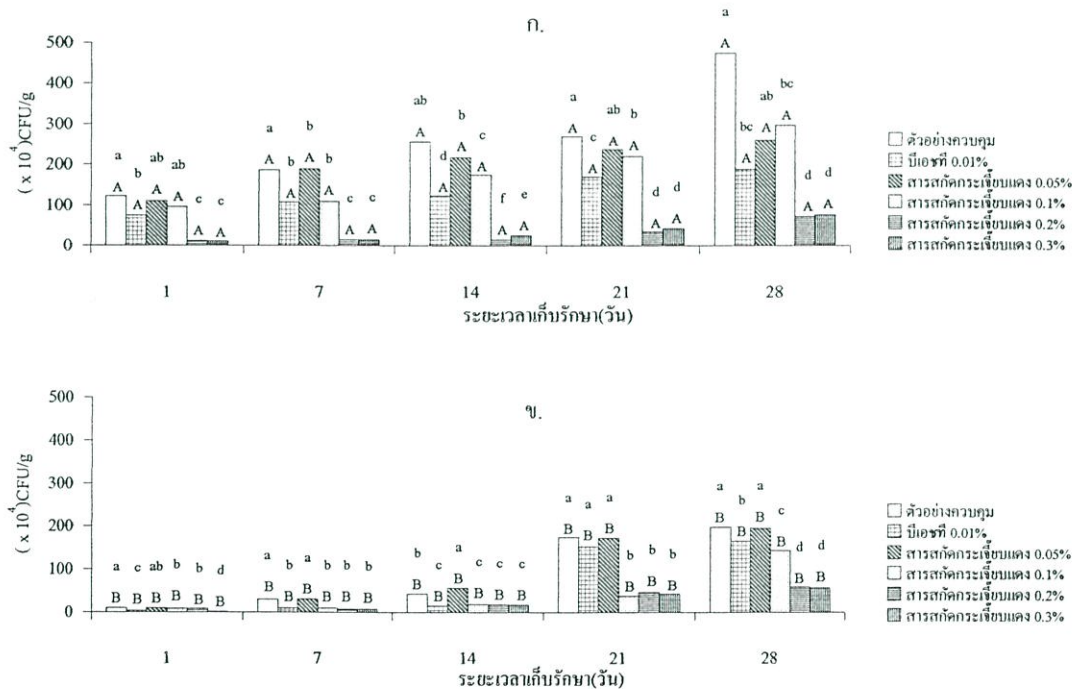
สำหรับกุ้งแช่แข็งที่เติมน้ำตาล 12% และ 4.37 มิลลิกรัมมาโลนไดออลดีไฮด์/กิโลกรัมกุ้งแช่แข็ง สำหรับกุ้งแช่แข็งที่เติมน้ำตาล 16.5% ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีค่า TBARS เท่ากับ 1.24 มิลลิกรัมมาโลนไดออลดีไฮด์/กิโลกรัมกุ้งแช่แข็ง

#### 4.2.2 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในหมูแผ่นและกุ้งแช่แข็ง

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นและกุ้งแช่แข็งที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษา คือ หมูแผ่นและกุ้งแช่แข็งดิบ บรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) และ  $4^{\circ}\text{C}$  สำหรับหมูแผ่นและกุ้งแช่แข็งสุกบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่างของหมูแผ่นและกุ้งแช่แข็งทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน มาตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.9 และ 4.10

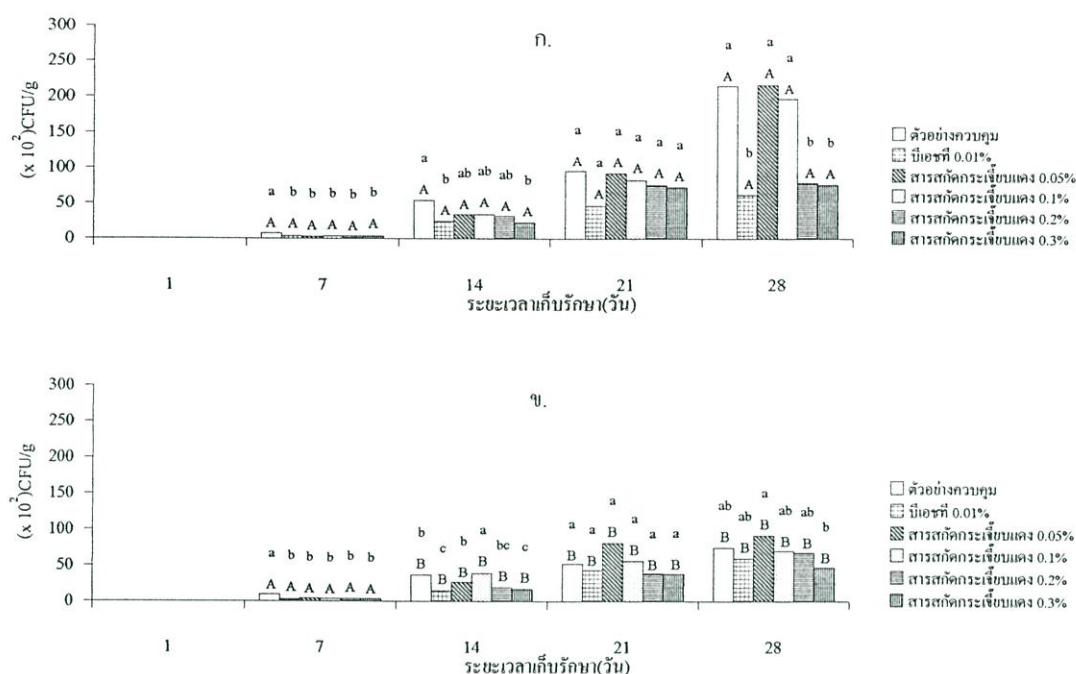
ภาพที่ 4.9 และ 4.10 จะเห็นได้ว่าหมูแผ่นและกุ้งแช่แข็งดิบทุกตัวอย่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าหมูแผ่นและกุ้งแช่แข็งดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ ) เนื่องจากอุณหภูมิห้องเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์มากกว่าอุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  จึงทำให้หมูแผ่นและกุ้งแช่แข็งดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีจำนวนจุลินทรีย์ในปริมาณสูงกว่า และจากการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ในหมูแผ่นและกุ้งแช่แข็งดิบที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงพบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ในหมูแผ่นและกุ้งแช่แข็งดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ทุกระดับ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน จะมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในปริมาณต่ำกว่าหมูแผ่นและกุ้งแช่แข็งดิบตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้เมื่อระดับของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงสูงขึ้น ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ในผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ ) ซึ่งจากการทดลองนี้หมูแผ่นและกุ้งแช่แข็งดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2 และ 0.3% โดยน้ำหนัก มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำที่สุด กล่าวคือ หมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2 และ 0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $71\times 10^4$  CFU/g และ  $76\times 10^4$  CFU/g ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $475\times 10^4$  CFU/g และหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $58.5\times 10^4$  CFU/g และ  $56\times 10^4$  CFU/g ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $197.5\times 10^4$  CFU/g สำหรับกุ้งแช่แข็งดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2 และ 0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $79.66\times 10^2$  CFU/g และ  $76.33\times 10^2$  CFU/g ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $215.33\times 10^2$  CFU/g และกุ้งแช่แข็งดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $47.33\times 10^2$  CFU/g

และ  $47.33 \times 10^2$  CFU/g ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $75 \times 10^2$  CFU/g ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสารสกัดกระเจียบแดงประกอบด้วยสารในกลุ่มของแอนโทไซยานินเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสารดังกล่าวมีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดได้ (Power et al., 1960; Abu-Tarboush, 1994) ดังนั้นการที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจียบแดงมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม จึงน่าจะเป็นผลมาจากสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากกระเจียบแดง นอกจากนี้หมูแผ่นและกุนเชียงดิบที่เติมบีเอสที 0.01% โดยน้ำหนัก มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งจากรายงานของ Ayaz และคณะ (1980) และ Shih และ Harris (1977) พบว่าสารประกอบฟีนอลิกที่ได้จากการสังเคราะห์มีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้เช่นกัน ในกรณีของหมูแผ่นและกุนเชียงสุก เมื่อตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน ไม่พบจำนวนจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ดังนั้นในการทดลองหัวข้อถัดไปจะไม่ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ในหมูแผ่นและกุนเชียงสุก



ภาพที่ 4.9 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจียบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดกระเจียบแดงและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 2. a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของการเติมสารสกัดกระเจียบแดงที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.10 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

- หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
2. a-f ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

#### 4.2.3 ค่าสีของหมูแผ่นและกุนเชียง

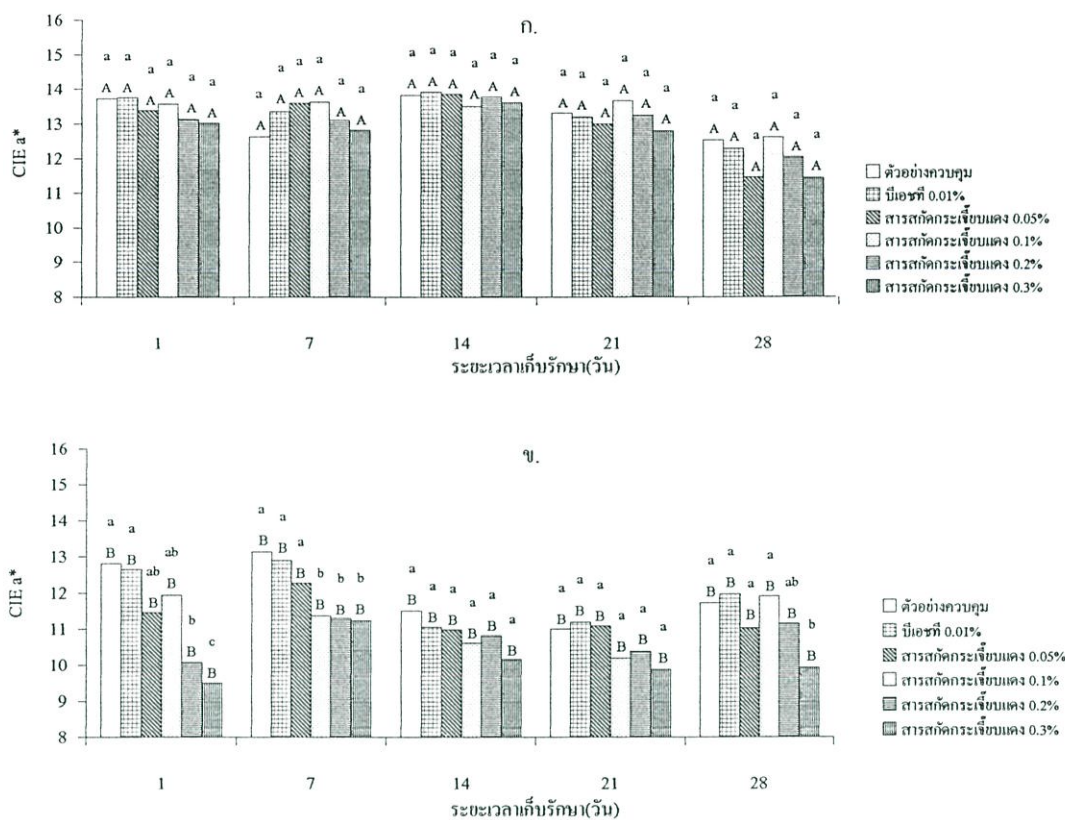
จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นและกุนเชียงดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30 \pm 3^\circ\text{C}$ ) และ  $4^\circ\text{C}$  สำหรับหมูแผ่นและกุนเชียงสุกบรรจุถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง วัดสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta โดยแสดงผลในระบบ Commission International Eclairage(CIE) บันทึกค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ของตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.11-4.14 การทดลองนี้จะรายงานผลเฉพาะค่า  $a^*$  (สีแดง) ซึ่งเป็นค่าสีหลักที่สำคัญและนิยมใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงสีอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์(Govindarajan, 1973) ซึ่งค่า  $a^*$  สามารถบอกถึงการเปลี่ยนแปลงสีและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้อย่างชัดเจน โดยตัวอย่างที่มีค่า  $a^*$  สูง แสดงว่าตัวอย่างมีค่าสีแดงมากกว่าตัวอย่างที่มีค่า  $a^*$  ต่ำ ส่วนค่า  $L^*$  และ  $b^*$  จะแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยในภาคผนวก ค. ซึ่งค่าทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยและมีความแตกต่างของสีไม่ชัดเจน

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่า  $a^*$  ของผลิตภัณฑ์ในช่วงระยะเวลา 28 วัน พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่า  $a^*$  ของตัวอย่างหมูแผ่นดิบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าสีแดงมากกว่าหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  อย่างไรก็ตามการที่ตัวอย่างหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  มีค่าสีแดงต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ไม่น่าจะแสดงถึงว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกิดการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุในผลิตภัณฑ์อาหารอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากผลการทดลองดังกล่าวไม่สอดคล้องกันแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ โดยตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าทั้งสองสูงกว่าตัวอย่างหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  (ภาพที่ 4.1 และ 4.2) ดังนั้นผลการทดลองข้างต้นจึงน่าจะเป็นผลมาจากไขมันหมูที่เป็นองค์ประกอบในหมูแผ่นมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง  $33-46^{\circ}\text{C}$  (นิริยา, 2545) ซึ่งขณะเก็บรักษาหมูแผ่นที่อุณหภูมิห้อง ไขมันบางส่วนจะเริ่มหลอมละลายเป็นของเหลวเป็นผลให้ขณะวัดสีจะไม่มี การสะท้อนของสีขาวขุ่นจากไขมันทำให้ค่า  $a^*$  ที่วัดได้มีค่าสูง ในทางตรงกันข้ามหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  ไขมันในผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นของแข็งสีขาวขุ่น ซึ่งขณะวัดสีจะเกิดการสะท้อนของสีขาวขุ่นจึงทำให้ค่า  $a^*$  ของหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  มีค่าน้อย ถึงแม้ว่าก่อนวัดสีจะนำตัวอย่างหมูแผ่นมาไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างเท่ากับอุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามช่วงระยะเวลาดังกล่าวไม่เพียงพอที่จะทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวโดยสมบูรณ์ได้ ดังนั้นขณะวัดสีจึงเกิดการสะท้อนของสีขาวขุ่นทำให้ค่า  $a^*$  ของตัวอย่างหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  มีค่าน้อยกว่าหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สำหรับกุนเชียงดิบนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า  $a^*$  ถึงแม้ว่าสถานะการเก็บรักษาจะเหมือนกับหมูแผ่นก็ตาม ทั้งนี้เนื่องมาจากช่วงเวลาในการทำการทดลองที่แตกต่างกันสำหรับหมูแผ่นและกุนเชียง กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์หมูแผ่นทำการทดลองในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน ซึ่งอุณหภูมิห้องที่ใช้เก็บรักษาตัวอย่างอยู่ในช่วง  $30-33^{\circ}\text{C}$  แต่ผลิตภัณฑ์กุนเชียงทำการทดลองในช่วงเดือน พฤศจิกายน-มกราคม อุณหภูมิห้องโดยเฉลี่ยที่ใช้เก็บรักษาตัวอย่างที่วัดได้  $28-30^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าอุณหภูมิห้องที่ต่ำกว่าในกรณีการทดลองของกุนเชียงทำให้ไขมันที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ ยังคงอยู่ในสถานะใกล้เคียงกับตัวอย่างกุนเชียงที่เก็บรักษาไว้ที่  $4^{\circ}\text{C}$  (หลังจากตั้งทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องก่อนการวัดสี) ผลการวัดสีของตัวอย่างที่เก็บรักษาทั้งสองสถานะจึงไม่แตกต่างกัน

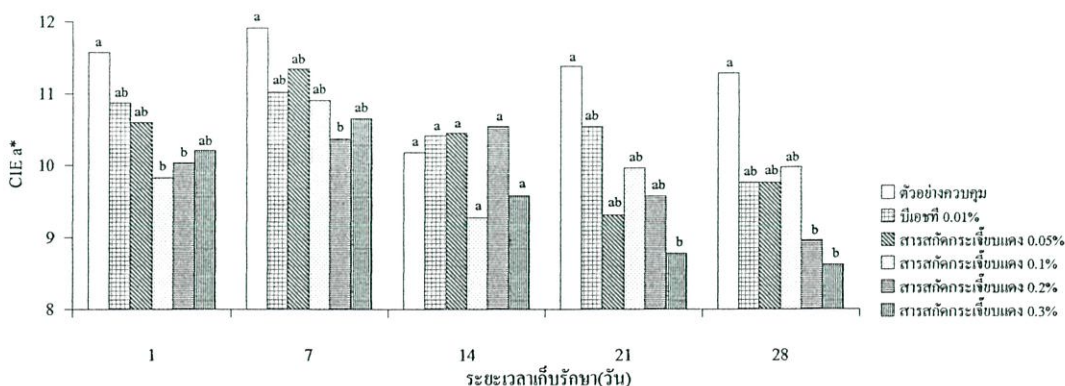
ภาพที่ 4.11 แสดงค่า  $a^*$  ของหมูแผ่นดิบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ  $4^{\circ}\text{C}$  และภาพที่ 4.12 แสดงค่า  $a^*$  ของหมูแผ่นสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากภาพทั้งสอง จะเห็นได้ว่า หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน หมูแผ่นดิบและสุกที่เดิมสารสกัดกระเจียบแดงที่ระดับ  $0.05-0.1\%$  โดยน้ำหนัก ในทุกสถานะการเก็บรักษา มีค่า  $a^*$  ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมและที่

เดิมีเอชที สำหรับหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก มีค่า  $a^*$  แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมและที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งการที่หมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก มีสีแดงต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและบีเอชที ไม่น่าจะเป็นผลมาจากการเกิดออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบินในผลิตภัณฑ์ อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน เนื่องจากค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับดังกล่าวมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมบีเอชที (ภาพที่ 4.1-4.4) แสดงว่าตัวอย่างที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับดังกล่าวเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม ดังนั้น สีแดงของตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและบีเอชที น่าจะมีสาเหตุเนื่องมาจากรงควัตถุในกระเจี๊ยบแดงซึ่งได้แก่ แอนโทไซยานิน จะให้สีแดงเฉพาะที่พีเอชในช่วง 1-3 เท่านั้น และสีจะเปลี่ยนไปตามค่าพีเอชที่เปลี่ยนไป ซึ่งจากการวัดพีเอชของส่วนผสมของหมูแผ่นคียบก่อนการอบแห้งพบว่า หมูแผ่นคียบที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก มีพีเอชเท่ากับ 5.68 และ 5.58 ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีพีเอชเท่ากับ 6.11 ซึ่งที่พีเอชในช่วง 5-6 แอนโทไซยานินจะมีสีม่วงแดง (Kahkonen and Heinonen, 2003) ดังนั้นตัวอย่างหมูแผ่นคียบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2-0.3% จึงมีสีแดงคล้ำกว่าตัวอย่างควบคุม



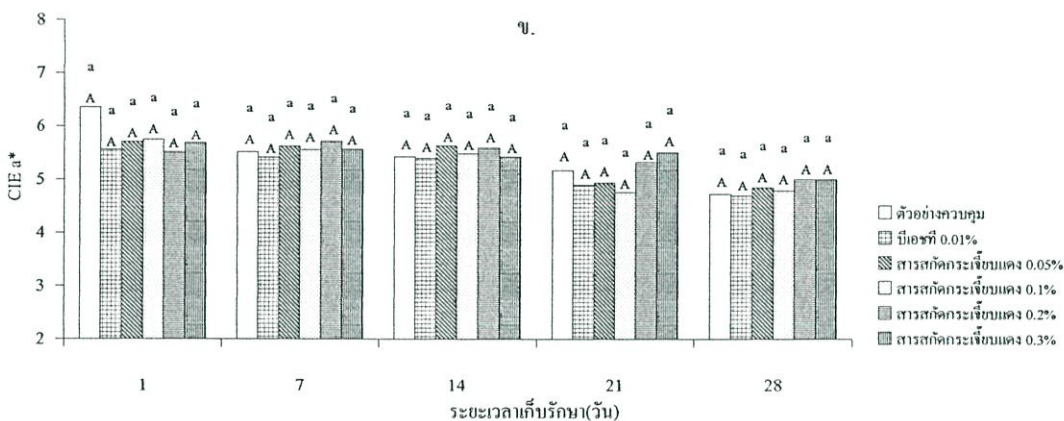
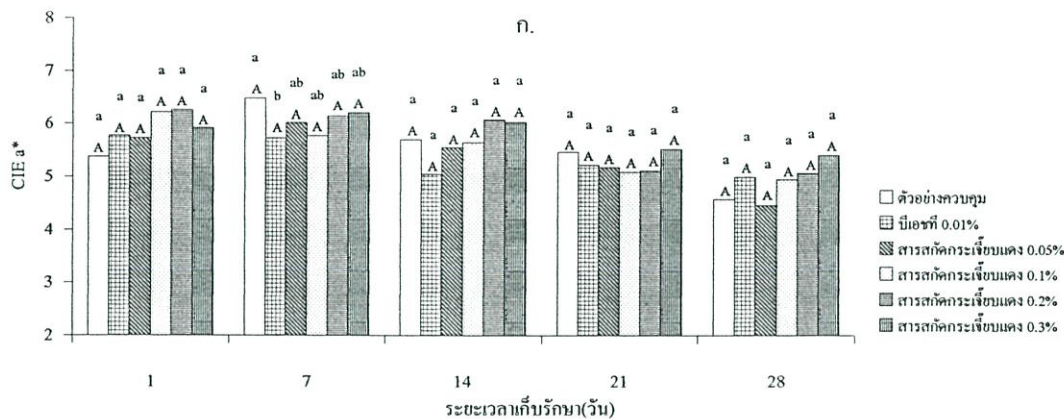
ภาพที่ 4.11 ค่า  $a^*$  ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ  $4^{\circ}\text{C}$ (ข.)

- หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของค่า  $a^*$  เนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
2. a-c ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



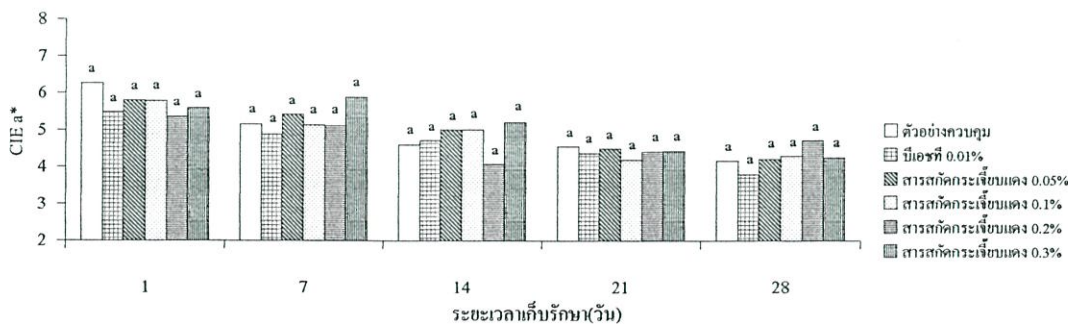
ภาพที่ 4.12 ค่า  $a^*$  ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

- หมายเหตุ a-b ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.13 ค่า a\* ของกุนเชียงดิบที่เติมสารสัคคจากกระเจียบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

- หมายเหตุ 1. A ที่ไม่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ( $p \geq 0.05$ )ของค่า a\* เนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสัคคระเจียบแดงและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
2. a-b ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสัคคระเจียบแดงที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

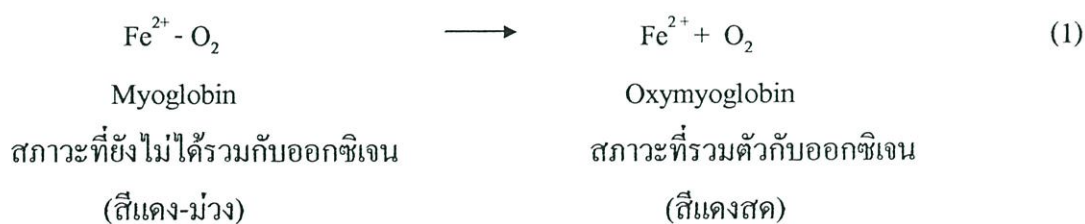


ภาพที่ 4.14 ค่า a\* ของกุนเชียงสุกที่เติมสารสัคคจากกระเจียบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

- หมายเหตุ a ที่ไม่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ( $p \geq 0.05$ )ของการเติมสารสัคคระเจียบแดงที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ภาพที่ 4.13 แสดงค่า  $a^*$  ของกุนเชียงดิบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ  $4^{\circ}\text{C}$  และภาพที่ 4.14 แสดงค่า  $a^*$  ของกุนเชียงสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากภาพทั้งสอง จะเห็นได้ว่าหลังจากเก็บรักษาตัวอย่างเป็นเวลา 28 วัน กุนเชียงดิบและสุกที่เติมสารสกัดกระเจียบแดงที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการทดลอง มีค่า  $a^*$  ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีโอเอสที่ ( $p \geq 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากส่วนผสมของกุนเชียงประกอบด้วยน้ำตาลทรายในปริมาณมากและระยะเวลาในการอบนานกว่าหมูแผ่น จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) ได้มาก สีของกุนเชียงจึงมีอิทธิพลมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมากกว่าเป็นผลจากสีของสารสกัดกระเจียบแดง นอกจากนี้แล้วลักษณะของผลิตภัณฑ์กุนเชียงที่เป็นแท่งยาวกลมและมีไส้คอตลาเงินหุ้มอยู่ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อย โอกาสที่จะสัมผัสกับอากาศโดยตรงน้อยมาก การเกิดออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบินก็มีน้อยเช่นกัน ดังนั้นสีของกุนเชียงในแต่ละตัวอย่างจึงมีความแตกต่างกันน้อยมาก

จากผลการทดลองในเรื่องของสีของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ของระดับการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันกับการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้มีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อสีของตัวอย่างได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีอันเนื่องมาจากการเติมสารสกัดกระเจียบแดง ผลของไขมันและน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงที่เก็บรักษาในทุกสภาวะมีแนวโน้มของค่า  $a^*$  ที่ลดลงเมื่อเก็บรักษาตัวอย่างเป็นระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จากแนวโน้มการลดลงของค่า  $a^*$  อย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในหมูแผ่นและกุนเชียงในทุกสภาวะการทดลอง น่าจะเป็นผลเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบินอย่างช้าๆ ซึ่งมีผลต่อเนื่องกับการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสัตว์เนื่องจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันสามารถแสดงดังสมการเคมีต่อไปนี้ (Kanner, 1996) การที่เนื้อสัตว์จะมีสีแดงหรือสีน้ำตาลนั้นขึ้นอยู่กับแร่ธาตุเหล็กที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของรงควัตถุว่าจะอยู่ในรูปของเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ , สีแดง) หรือเฟอร์ริกไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ , สีน้ำตาล)



oxymyoglobin เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบินได้ผลิตภัณฑ์เป็น superoxide anion radical ( $\text{O}_2^{\cdot -}$ ) และเหล็กไอออนถูกเปลี่ยนจากรูปเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ไปอยู่ในรูปของเฟอร์ริกไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ ) สีของเนื้อสัตว์เปลี่ยนจากแดงสดเป็นสีน้ำตาลของเมทไมโอโกลบิน



superoxide anion radical ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบิน รวมตัวกับ superoxide anion radical ที่เกิดจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันหรือรวมกับ superoxide anion radical ที่เกิดจากออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบิน ได้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )



metmyoglobin ที่มีเหล็กไอออนอยู่ในรูปของเฟอร์ริกไอออนทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากการรวมตัวของปฏิกิริยาดังกล่าว หรืออาจจะรวมตัวกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ได้อนุมูลอิสระชนิดใหม่คือ เฟอร์ริไมโอโกลบิน (ferryl-myoglobin,  $\text{Fe}^{4+} = \text{O}$ ) อนุมูลอิสระนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสัตว์



Ferryl ion หรือ oxo-ferryl radical ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับ myoglobin ในเนื้อสัตว์ได้ผลิตภัณฑ์เป็น metmyoglobin ( $2\text{Fe}^{3+}$ ) ซึ่งทำให้สีของเนื้อสัตว์เป็นสีน้ำตาลมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้มีการเติมผงเพรกซึ่งเป็นสารประกอบประเภทไนเตรตในผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิด ซึ่งเมื่อเนื้อสัตว์ได้รับความร้อนก็จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นระหว่างไนเตรตในผงเพรกกับรงควัตถุไมโอโกลบิน และฮีโมโกลบิน ได้เป็นสารสีแดงที่คงตัวของไนตริกออกไซด์ฮีโมโครม (nitric oxide hemochrome) และไนตริกออกไซด์ไมโอโกลบิน (nitric oxide myoglobin) แต่ในสภาวะที่มีแสงและออกซิเจน สารทั้งสองก็จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไนตริกออกไซด์ (nitric oxide) โดยไนตริกออกไซด์จะแยกตัวออกจากไมโอโกลบินและฮีโมโกลบิน จากนั้นรงควัตถุในเนื้อสัตว์ก็จะเริ่มเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันตามขั้นตอนข้างต้น จนกระทั่งได้เฟอร์ริฮีโมโครม (ferrylhemochrome) จากนั้นปฏิกิริยาจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งสีแดงของเนื้อสัตว์จางลง ซึ่งเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เนื้อสัตว์ที่เติมสารประกอบประเภทไนเตรตมีสีแดงจางลงได้ นอกจากนี้แล้วการเกิดสารสีแดงของไนตริกออกไซด์ฮีโมโครมและไนตริกออกไซด์ไมโอโกลบิน ไม่สามารถเกิดได้กับทุกโมเลกุลของรงควัตถุในเนื้อสัตว์ ดังนั้นโมเลกุลของรงควัตถุที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับสารประกอบไนเตรตก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีตามขั้นตอนข้างต้น ซึ่งสุดท้ายแล้วเนื้อสัตว์จะมีสีแดงจางลง

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่า สีแดงของหมูแผ่นและกุนเชียงที่มีแนวโน้มจางลงเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชันของรงควัตถุในเนื้อสัตว์ร่วมกับการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ซึ่งทำให้เกิดอนุมูลอิสระต่างๆ ที่ส่งเสริมให้เกิดออกซิเดชันของรงควัตถุในเนื้อสัตว์ด้วย

#### 4.2.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นและกุนเชียงดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) และ  $4^{\circ}\text{C}$  สำหรับหมูแผ่นและกุนเชียงสุกบรรจุถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยการดมกลิ่นหืนในตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน โดยใช้วิธีทดสอบแบบ multiple comparison test การทดสอบจะให้ผู้ทดสอบระบุคะแนนของกลิ่นหืนที่รับรู้ได้ โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง(reference) คือ หมูแผ่นหรือกุนเชียงที่เติมบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก ที่เก็บรักษาในสภาวะและเวลาเดียวกับตัวอย่างทดสอบ แบ่งระดับคะแนนเป็น 9 ระดับ คือ 1 = มีกลิ่นหืนน้อยที่สุด ถึง 9 = มีกลิ่นหืนมากที่สุด(ภาคผนวก ข.) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2-4.7

ตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ  $4^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ และตารางที่ 4.4 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุก จากผลการทดลองในตารางทั้ง 3 ตารางพบว่าหลังจากเก็บรักษาตัวอย่างหมูแผ่นเป็นเวลา 28 วัน หมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนักในทุกสภาวะการเก็บรักษา จะมีคะแนนของกลิ่นหืนต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบกับหมูแผ่นที่เติมบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก จะเห็นได้ว่าตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนักในทุกสภาวะการทดลอง มีคะแนนของกลิ่นหืนใกล้เคียงกับหมูแผ่นที่เติมบีเอชทีมากที่สุด เมื่อพิจารณาผลการทดสอบด้านกลิ่นหืนร่วมกับผลการวิเคราะห์ค่า TBARS (ค่า TBARS เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์) หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน ซึ่งจากผลการทดลองในหัวข้อ 4.2.1 พบว่าหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ  $4^{\circ}\text{C}$  และหมูแผ่นสุกเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยมีค่า TBARS ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม(ภาพที่ 4.1-4.3) ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน กล่าวคือ หมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบที่ระดับ 0.2 และ 0.3% โดยน้ำหนักในทุกสภาวะการทดลองจะมีคะแนนด้านกลิ่นหืนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ดังนั้นเพื่อให้การใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันได้ดีที่สุด และใกล้เคียงกับบีเอชทีมากที่สุด จึงเลือกสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก สำหรับการทดลองในหัวข้อถัดไป

**ตารางที่ 4.2** คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นคิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นคิบ ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$5.20 \pm 0.84^a$	$5.40 \pm 0.89^a$	$5.60 \pm 0.55^{ab}$	$6.80 \pm 1.09^{ab}$	$6.40 \pm 1.14^a$
0.1	$4.80 \pm 0.45^b$	$5.20 \pm 0.45^b$	$5.60 \pm 0.55^{ab}$	$6.40 \pm 1.14^a$	$6.40 \pm 1.14^a$
0.2	$4.60 \pm 0.55^b$	$5.00 \pm 0.71^b$	$5.20 \pm 0.45^b$	$5.40 \pm 1.00^{ab}$	$6.20 \pm 1.83^a$
0.3	$4.80 \pm 0.45^b$	$5.00 \pm 1.00^{ab}$	$5.00 \pm 1.58^{ab}$	$5.20 \pm 0.45^{ab}$	$6.20 \pm 0.45^a$
บีเอชที 0.01	$4.40 \pm 0.55^a$	$4.80 \pm 0.45^a$	$4.80 \pm 0.84^a$	$5.20 \pm 0.45^a$	$5.40 \pm 1.14^a$
ตัวอย่างควบคุม	$5.20 \pm 0.45^b$	$6.00 \pm 1.41^b$	$6.60 \pm 1.14^{ab}$	$6.60 \pm 1.51^{ab}$	$7.80 \pm 1.30^a$

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หีนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หีนมากที่สุด

**ตารางที่ 4.3** คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นคิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C

ความเข้มข้นของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นคิบ ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$5.20 \pm 1.64^a$	$5.40 \pm 1.67^a$	$5.60 \pm 1.34^a$	$6.20 \pm 2.16^a$	$6.20 \pm 1.09^a$
0.1	$5.60 \pm 0.55^a$	$5.20 \pm 1.78^a$	$5.80 \pm 0.45^a$	$5.80 \pm 1.09^a$	$6.40 \pm 1.14^a$
0.2	$4.60 \pm 0.89^a$	$5.20 \pm 1.30^a$	$5.20 \pm 0.45^a$	$5.60 \pm 0.55^a$	$5.20 \pm 0.55^a$
0.3	$4.60 \pm 1.52^a$	$4.80 \pm 0.45^a$	$4.80 \pm 1.09^a$	$5.00 \pm 0.71^a$	$5.20 \pm 0.44^a$
บีเอชที 0.01	$4.00 \pm 1.41^a$	$4.40 \pm 0.55^a$	$4.40 \pm 0.89^a$	$4.40 \pm 0.89^a$	$5.20 \pm 0.45^a$
ตัวอย่างควบคุม	$5.20 \pm 1.30^a$	$5.80 \pm 1.30^a$	$6.00 \pm 1.87^a$	$6.60 \pm 1.51^a$	$6.80 \pm 1.64^a$

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หีนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หีนมากที่สุด

**ตารางที่ 4.4** คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุกที่เค็มสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้น ของสารสกัด กระเจี๊ยบแดง (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุก ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	5.00±0.47 <sup>b</sup>	5.60±1.03 <sup>ab</sup>	5.80±0.99 <sup>ab</sup>	5.90±1.43 <sup>ab</sup>	6.20±0.79 <sup>a</sup>
0.1	5.50±1.08 <sup>a</sup>	5.50±0.47 <sup>a</sup>	5.60±0.79 <sup>a</sup>	5.80±1.16 <sup>a</sup>	6.10±0.87 <sup>a</sup>
0.2	5.40±1.50 <sup>a</sup>	5.30±1.65 <sup>a</sup>	5.60±1.62 <sup>a</sup>	5.50±0.74 <sup>a</sup>	5.80±0.63 <sup>a</sup>
0.3	4.90±0.74 <sup>a</sup>	5.30±0.71 <sup>a</sup>	5.10±1.35 <sup>a</sup>	5.40±1.13 <sup>a</sup>	5.40±1.07 <sup>a</sup>
ปิเอซที่ 0.01	4.70±0.48 <sup>a</sup>	5.00±0.67 <sup>a</sup>	5.20±1.17 <sup>a</sup>	5.30±0.71 <sup>a</sup>	5.30±0.67 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	5.50±1.08 <sup>b</sup>	5.80±0.67 <sup>ab</sup>	6.10±1.45 <sup>ab</sup>	6.40±0.84 <sup>ab</sup>	6.80±1.40 <sup>a</sup>

- หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
 2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเค็มสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน 1-9; คะแนน = 1 หืนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หืนมากที่สุด

ตารางที่ 4.5 และ 4.6 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุนเชียงดิบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°C ตามลำดับ และตารางที่ 4.7 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุนเชียงสุก จากผลการทดลองในตารางทั้ง 3 ตาราง จะเห็นว่าหลังจากเก็บรักษาตัวอย่างกุนเชียงเป็นเวลา 28 วัน กุนเชียงที่เค็มสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.05-0.2% โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการทดลองจะมีคะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืนไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม( $p \geq 0.05$ ) นอกจากนี้กุนเชียงที่เค็มสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงจะมีคะแนนกลิ่นหืนเพิ่มมากขึ้นตามระดับของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่เค็มลงไป และคะแนนกลิ่นหืนจะมากที่สุดในกลุ่มกุนเชียงที่เค็มสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก และมีแนวโน้มสูงกว่าตัวอย่างควบคุม( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับผลการทดลองของการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS กล่าวคือ เมื่อระดับของการเค็มสารสกัดกระเจี๊ยบแดงสูงขึ้น ตัวอย่างกุนเชียงจะมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS หลังจากเก็บรักษา 28 วัน สูงขึ้นด้วย จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน จึงเป็นการยืนยันสมบัติการเป็นโปรออกซิแดนซ์ของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงในผลิตภัณฑ์กุนเชียง ดังรายละเอียดผลการทดลองข้อ 4.2.1

ตารางที่ 4.5 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุ้งแช่แข็งที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้น ของสารสกัด กระเจี๊ยบแดง (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของกุ้งแช่แข็ง ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	4.93±0.88 <sup>b</sup>	4.93±1.09 <sup>b</sup>	5.07±1.44 <sup>b</sup>	5.53±0.82 <sup>ab</sup>	6.13±1.41 <sup>a</sup>
0.1	5.20±1.01 <sup>b</sup>	5.27±1.03 <sup>ab</sup>	5.80±1.08 <sup>ab</sup>	5.87±0.91 <sup>ab</sup>	6.00±0.84 <sup>a</sup>
0.2	5.53±1.24 <sup>b</sup>	6.07±1.09 <sup>ab</sup>	6.13±1.06 <sup>ab</sup>	6.53±1.30 <sup>a</sup>	6.80±1.37 <sup>a</sup>
0.3	5.53±1.30 <sup>b</sup>	6.50±1.24 <sup>a</sup>	6.67±1.04 <sup>a</sup>	7.07±1.38 <sup>a</sup>	7.33±0.90 <sup>a</sup>
บีเอสที 0.01	5.06±0.70 <sup>a</sup>	5.27±1.03 <sup>a</sup>	5.33±1.29 <sup>a</sup>	5.33±0.74 <sup>a</sup>	5.40±0.63 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	5.33±1.23 <sup>a</sup>	5.53±1.41 <sup>a</sup>	5.73±0.79 <sup>b</sup>	6.00±1.25 <sup>b</sup>	6.27±1.27 <sup>a</sup>

- หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขบวนการแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา
2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน 1-9; คะแนน = 1 หืนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หืนมากที่สุด

ตารางที่ 4.6 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุ้งแช่แข็งที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C

ความเข้มข้น ของสารสกัด กระเจี๊ยบแดง (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของกุ้งแช่แข็ง ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	4.73±1.39 <sup>b</sup>	5.07±0.80 <sup>ab</sup>	5.27±1.33 <sup>ab</sup>	5.73±1.22 <sup>a</sup>	5.93±1.09 <sup>a</sup>
0.1	5.27±1.87 <sup>a</sup>	5.60±1.35 <sup>a</sup>	5.87±1.12 <sup>a</sup>	6.07±0.88 <sup>a</sup>	6.07±1.48 <sup>a</sup>
0.2	5.80±1.21 <sup>a</sup>	6.13±1.19 <sup>a</sup>	6.27±1.53 <sup>a</sup>	6.33±1.59 <sup>a</sup>	6.33±1.04 <sup>a</sup>
0.3	6.07±1.49 <sup>a</sup>	6.07±1.48 <sup>a</sup>	6.60±1.40 <sup>a</sup>	6.60±1.12 <sup>a</sup>	6.80±1.65 <sup>a</sup>
บีเอสที 0.01	4.73±0.80 <sup>a</sup>	4.93±1.28 <sup>a</sup>	5.00±1.25 <sup>a</sup>	5.27±0.60 <sup>a</sup>	5.47±1.06 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	4.73±0.70 <sup>b</sup>	5.33±0.62 <sup>ab</sup>	5.47±0.99 <sup>ab</sup>	6.73±1.64 <sup>b</sup>	6.80±1.01 <sup>a</sup>

- หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขบวนการแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา
2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน 1-9; คะแนน = 1 หืนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หืนมากที่สุด

ตารางที่ 4.7 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุ้งแช่สุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้น ของสารสกัด กระเจี๊ยบแดง (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของกุ้งแช่สุก ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$5.20 \pm 0.94^b$	$5.40 \pm 1.59^{ab}$	$5.47 \pm 1.06^{ab}$	$6.13 \pm 0.83^a$	$5.80 \pm 1.20^{ab}$
0.1	$5.27 \pm 1.03^b$	$5.73 \pm 0.96^{ab}$	$6.00 \pm 1.13^{ab}$	$6.13 \pm 0.83^a$	$6.33 \pm 0.90^a$
0.2	$6.20 \pm 1.47^a$	$6.33 \pm 0.97^a$	$6.40 \pm 1.24^a$	$6.53 \pm 1.12^a$	$6.80 \pm 1.37^a$
0.3	$6.00 \pm 1.60^b$	$6.60 \pm 1.12^{ab}$	$6.93 \pm 1.22^{ab}$	$7.20 \pm 1.26^a$	$7.33 \pm 0.90^a$
บิเอสที 0.01	$5.13 \pm 1.06^a$	$5.20 \pm 1.01^a$	$5.27 \pm 1.09^a$	$5.33 \pm 0.97^a$	$5.60 \pm 0.82^a$
ตัวอย่างควบคุม	$5.20 \pm 1.01^b$	$5.40 \pm 0.74^{ab}$	$5.73 \pm 1.44^{ab}$	$5.80 \pm 1.14^{ab}$	$6.20 \pm 1.21^a$

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน 1-9; คะแนน = 1 หืนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หืนมากที่สุด

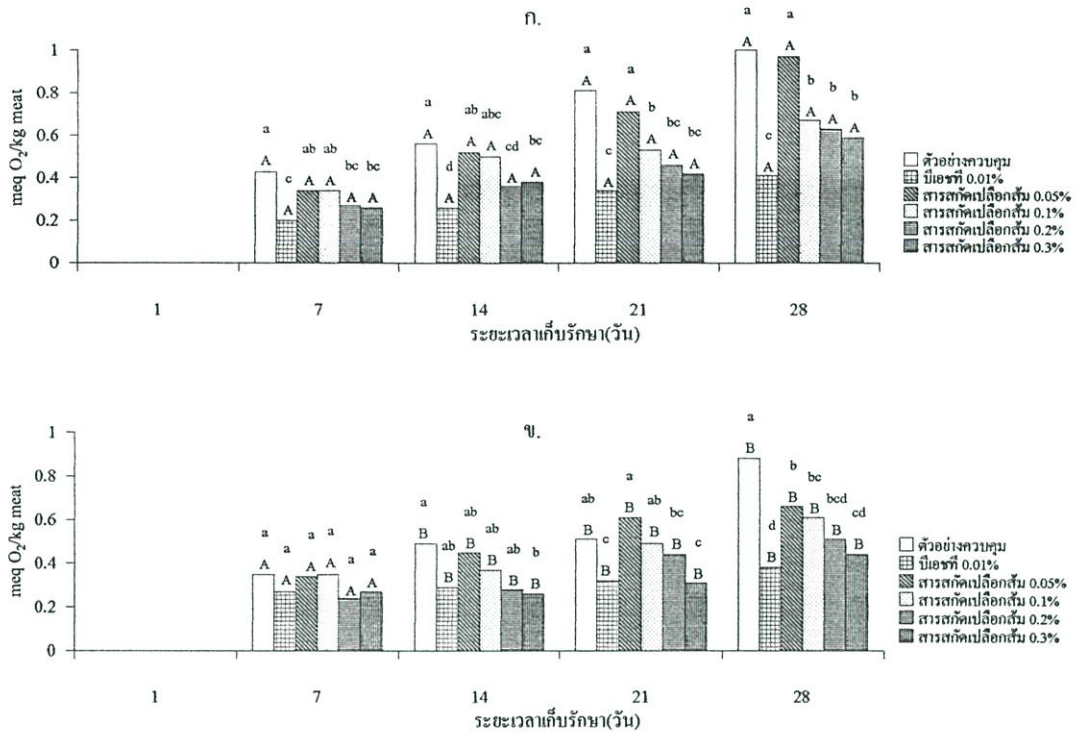
### 4.3 การใช้สารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่นและกุ้งแช่สุก

#### 4.3.1 ค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS

จากการศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุ้งแช่สุก โดยเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นและกุ้งแช่สุกที่เติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นและกุ้งแช่สุกบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30 \pm 3^\circ\text{C}$ ) และ  $4^\circ\text{C}$  สำหรับหมูแผ่นและกุ้งแช่สุกบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ของตัวอย่างหมูแผ่นและกุ้งแช่สุกทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.15-4.20

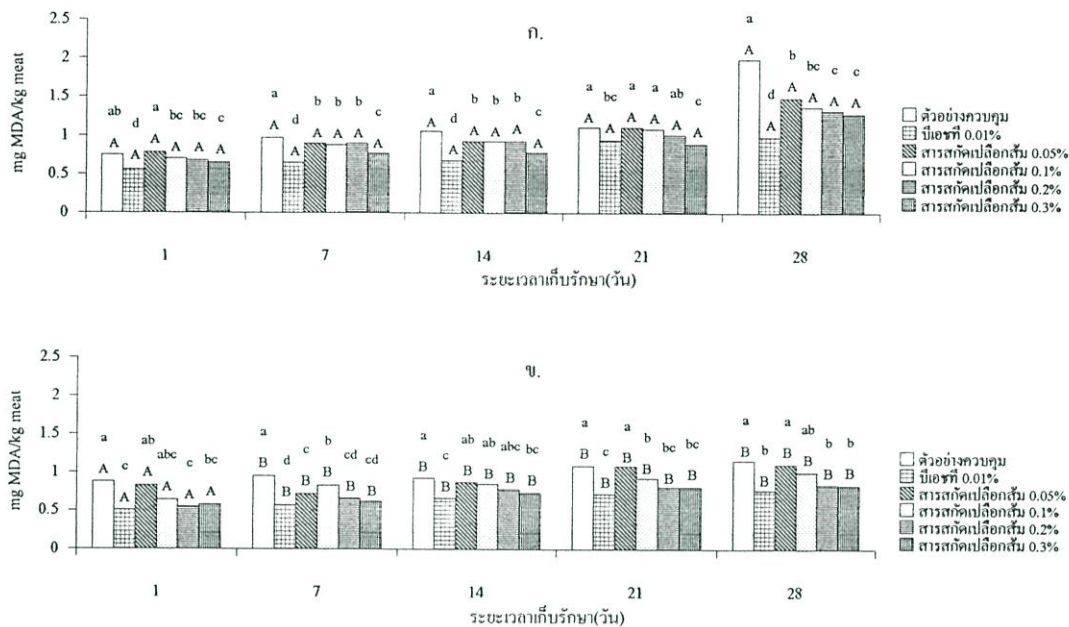
เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของผลิตภัณฑ์หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน พบว่าอุณหภูมิมิผลต่อค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ของตัวอย่างหมูแผ่นและกุ้งแช่สุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ ) โดยหมูแผ่นและกุ้งแช่สุกดิบทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS สูงกว่าหมูแผ่นและกุ้งแช่สุกดิบทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^\circ\text{C}$

ภาพที่ 4.15 และ 4.16 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°C ตามลำดับ และภาพที่ 4.17 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะเห็นได้ว่าการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานในหมูแผ่นดิบและสุกในทุกสภาวะการทดลองที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันในหมูแผ่นได้ และเมื่อระดับของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่เติมลงในส่วนผสมสูงขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ของหมูแผ่นในระหว่างการเก็บรักษาจะมีค่าเพิ่มขึ้นช้าลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูแผ่นดิบและสุกที่ทุกสภาวะการทดลอง สำหรับตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานกับหมูแผ่นที่เติมบีเอชที จะเห็นได้ว่าตัวอย่างหมูแผ่นดิบและสุกที่เติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก จะมีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนักมากที่สุด แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานในระดับที่ใช้ดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันในหมูแผ่นดิบและสุกได้ดี และสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับหมูแผ่นตัวอย่างควบคุม โดยหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน หมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS อยู่ในช่วง  $0.59 \pm 0.06$ - $0.67 \pm 0.09$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ  $1.28 \pm 0.06$ - $1.37 \pm 0.09$  มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ  $1.00 \pm 0.17$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ  $1.99 \pm 0.11$  มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ หมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C มีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน อยู่ระหว่าง  $0.44 \pm 0.12$ - $0.61 \pm 0.07$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ  $0.83 \pm 0.11$ - $1.00 \pm 0.12$  มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ  $0.88 \pm 0.05$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ  $1.15 \pm 0.03$  มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ สำหรับหมูแผ่นสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS หลังจากเก็บรักษา เป็นเวลา 28 วัน อยู่ในช่วง  $0.71 \pm 0.05$ - $0.91 \pm 0.10$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ  $1.55 \pm 0.07$ - $1.68 \pm 0.04$  มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ  $1.83 \pm 0.36$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ  $1.81 \pm 0.03$  มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ



ภาพที่ 4.15 ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

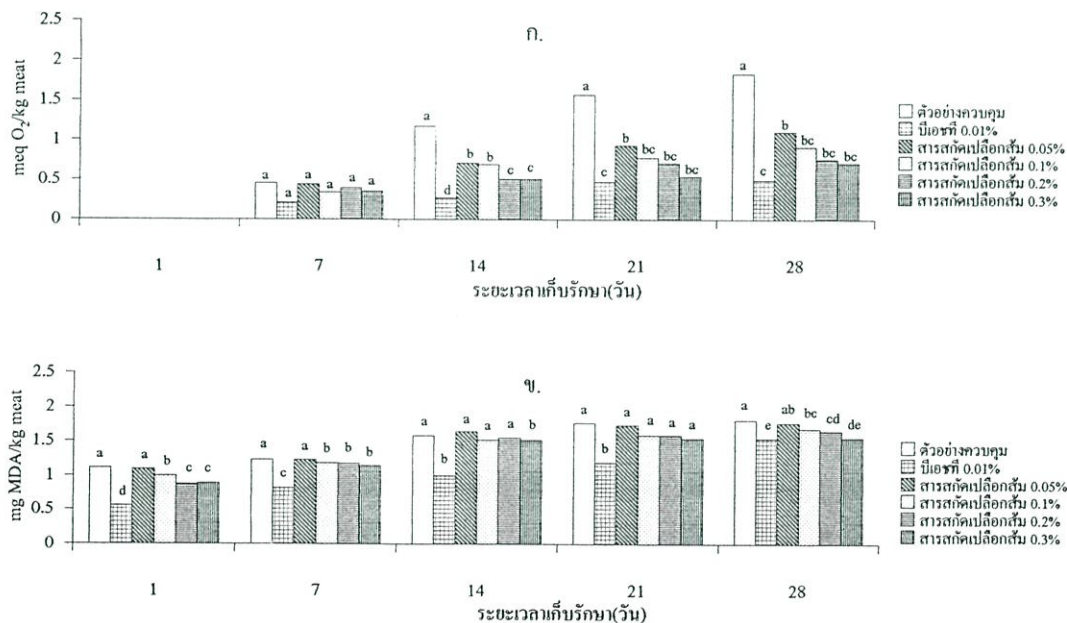
- หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของค่าเปอร์ออกไซด์เนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
2. a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



**ภาพที่ 4.16** ค่า TBARS ของหมูแผ่นคิมที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของค่า TBARS เนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

2. a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

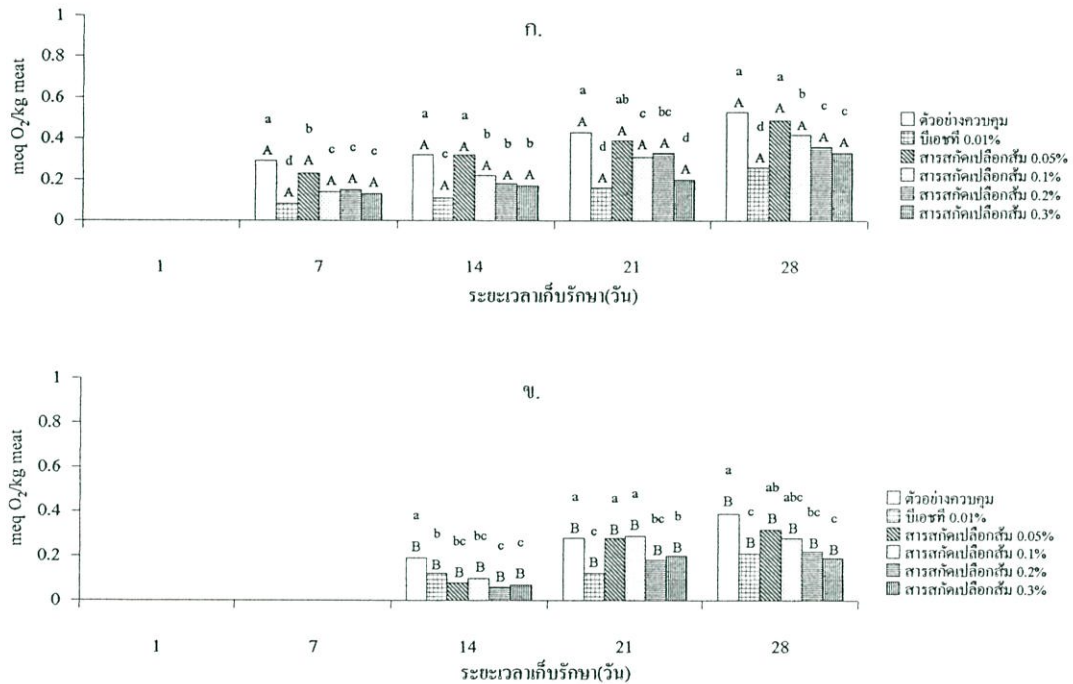


**ภาพที่ 4.17** ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

หมายเหตุ a-c ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

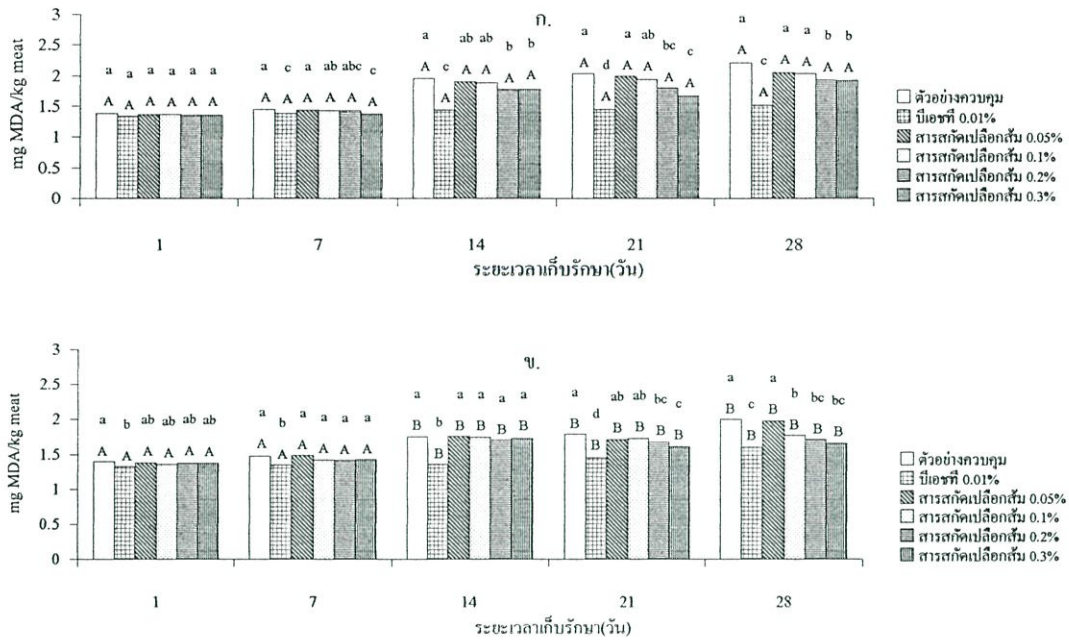
ภาพที่ 4.18 และ 4.19 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ของกุนเชียงดิบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°C และภาพที่ 4.20 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ของกุนเชียงสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะเห็นได้ว่าการเติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานในกุนเชียงดิบและสุกในทุกสภาวะการทดลองที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาช้ากว่าตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าการใช้สารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ และเมื่อระดับของสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่เติมลงในส่วนผสมสูงขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ของกุนเชียงในระหว่างการเก็บรักษาจะมีค่าเพิ่มขึ้นช้าลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กุนเชียงดิบและสุกในทุกสภาวะการทดลอง สำหรับตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานกับตัวอย่างที่เติมบีเอชที จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างกุนเชียงดิบและสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก จะมีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS มากกว่าตัวอย่างที่เติมบีเอชที แสดงว่าการใช้สารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับดังกล่าวยังคงมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำกว่าการใช้บีเอชที ดังนั้นการใช้สารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับดังกล่าวยังไม่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ใกล้เคียงหรือเท่ากับบีเอชที อย่างไรก็ตามการเติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานในส่วนผสมของกุนเชียงดิบที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน กุนเชียงดิบมีค่าเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ  $0.36 \pm 0.01$  และ  $0.33 \pm 0.02$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมกุนเชียง ตามลำดับ และมีค่า TBARS เท่ากับ  $1.93 \pm 0.35$  และ  $1.92 \pm 0.04$  มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมกุนเชียง ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ  $0.53 \pm 0.04$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมกุนเชียง และ  $2.21 \pm 0.14$  มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมกุนเชียง ตามลำดับ และการเติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานในส่วนผสมของกุนเชียงที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C จะสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน มีค่าเปอร์ออกไซด์ อยู่ในช่วง  $0.19 \pm 0.02$ - $0.28 \pm 0.04$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมกุนเชียง และมีค่า TBARS อยู่ในช่วง  $1.66 \pm 0.04$ - $1.71 \pm 0.02$  มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมกุนเชียง ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ  $0.39 \pm 0.09$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมกุนเชียง และ  $2.00 \pm 0.13$  มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมกุนเชียง ตามลำดับ สำหรับกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

เปอร์ออกซิเดชันได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน มีค่าเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ  $3.28 \pm 0.85$  และ  $2.92 \pm 0.48$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมเนื้อเยื่อ ตามลำดับ และมีค่า TBARS เท่ากับ  $5.38 \pm 0.06$  และ  $5.12 \pm 0.07$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมเนื้อเยื่อ ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS เท่ากับ  $5.62 \pm 0.69$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมเนื้อเยื่อ และ  $6.20 \pm 0.26$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมเนื้อเยื่อ ตามลำดับ



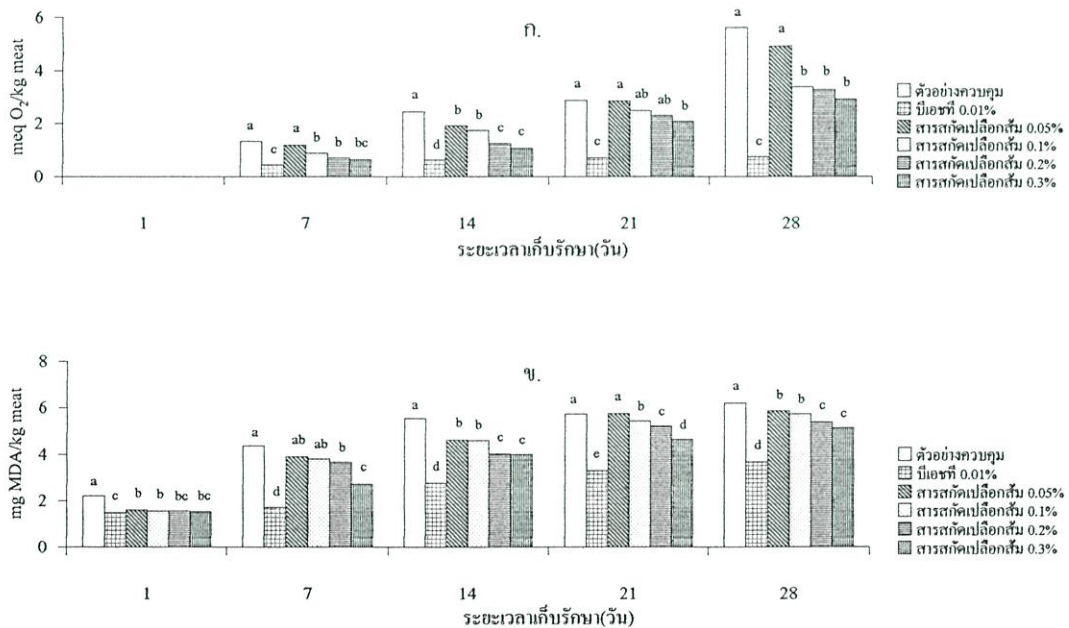
ภาพที่ 4.18 ค่าเปอร์ออกไซด์ของเนื้อเยื่อที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

- หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของค่าเปอร์ออกไซด์เนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
2. a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.19 ค่า TBARS ของขุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

- หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของค่า TBARS เนื่องจากจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ระดับของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
2. a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.20 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของขุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

- หมายเหตุ a-c ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

### 4.3.2 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในหมูแผ่นและกุนเชียง

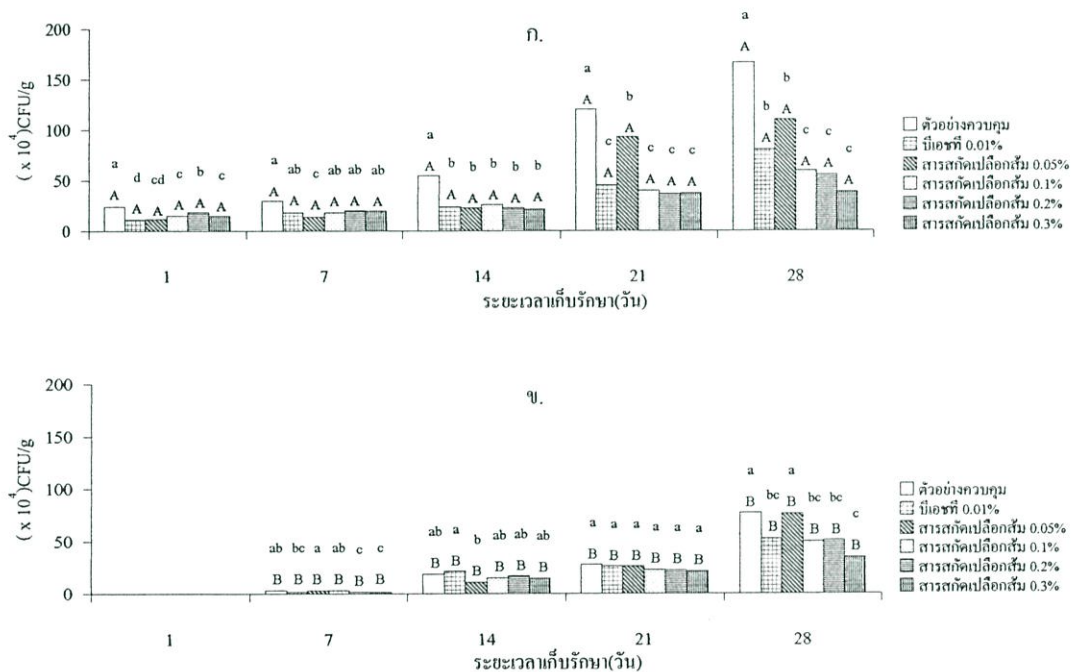
จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษา คือ หมูแผ่นและกุนเชียงดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) และ  $4^{\circ}\text{C}$  สำหรับหมูแผ่นและกุนเชียงสุกบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บตัวอย่างของหมูแผ่นและกุนเชียงทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน มาตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.21-4.22

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน พบว่าหมูแผ่นและกุนเชียงดิบทุกตัวอย่างที่เก็บรักษารักษาที่อุณหภูมิห้อง มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าหมูแผ่นและกุนเชียงดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ ) เนื่องจากอุณหภูมิห้องเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์มากกว่าอุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  จึงทำให้หมูแผ่นและกุนเชียงดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีจำนวนจุลินทรีย์ในปริมาณสูงกว่า

ภาพที่ 4.21 แสดงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ  $4^{\circ}\text{C}$  จะเห็นได้ว่า หมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ ) และเมื่อระดับของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานสูงขึ้นปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ในผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ ) ซึ่งจากการทดลองพบว่า ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน หมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ  $4^{\circ}\text{C}$  มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดค่าที่ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $38.50-55.50 \times 10^4$  CFU/g ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $166.5 \times 10^4$  CFU/g สำหรับหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดค่าที่ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับหมูแผ่นตัวอย่างควบคุม โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $34.50-51.00 \times 10^4$  CFU/g ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $77.0 \times 10^4$  CFU/g

ภาพที่ 4.22 แสดงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ  $4^{\circ}\text{C}$  จะเห็นได้ว่ากุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ ) และเมื่อระดับของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานสูงขึ้นปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ในผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ ) ซึ่งจากการทดลองพบว่าหลังจากเก็บรักษา กุนเชียงดิบเป็นเวลา 28 วัน

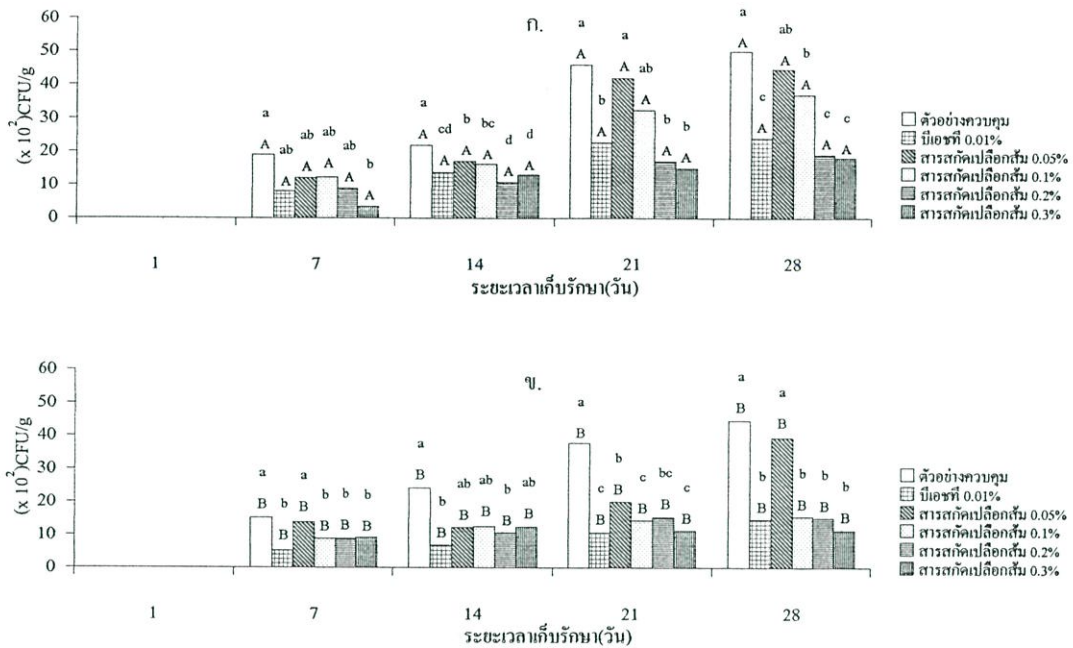
กุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $18 \times 10^2$  CFU/g และ  $19 \times 10^2$  CFU/g ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $50 \times 10^2$  CFU/g สำหรับกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  จะมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $11.3-15.5 \times 10^2$  CFU/g ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $44.5 \times 10^2$  CFU/g



ภาพที่ 4.21 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ  $4^{\circ}\text{C}$ (ข.)

หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

2. a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.22 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของถัวยอดเขียวที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

- หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
2. a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

จากการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและถัวยอดเขียว พบว่าหมูแผ่นและถัวยอดเขียวที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานลงในส่วนผสมที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก จะมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานประกอบด้วยสารประกอบในกลุ่มโพลีฟีนอล(polyphenol) และสารในกลุ่มของฟลาโวนอยด์(flavonoids) ซึ่งสารดังกล่าวมีสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้(Ramasawamy *et al.*, 1972) และจากรายงานของ Duffy และ Power(2001) และ Jayaprakasha และคณะ(2000) พบว่าสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานมีสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และแบคทีเรียบางชนิด ดังนั้นการที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ในหมูแผ่นและถัวยอดเขียวมีปริมาณน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม จึงน่าจะเป็นผลมาจากสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน นอกจากนี้หมูแผ่นและถัวยอดเขียวที่เติมบีเอชที ยังมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอีกด้วย ซึ่งจากรายงานของ Ayaz และคณะ(1980) และ Shih และ Harris(1977) พบว่าสารประกอบฟีนอลิกที่ได้จากการสังเคราะห์มีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้เช่นกัน

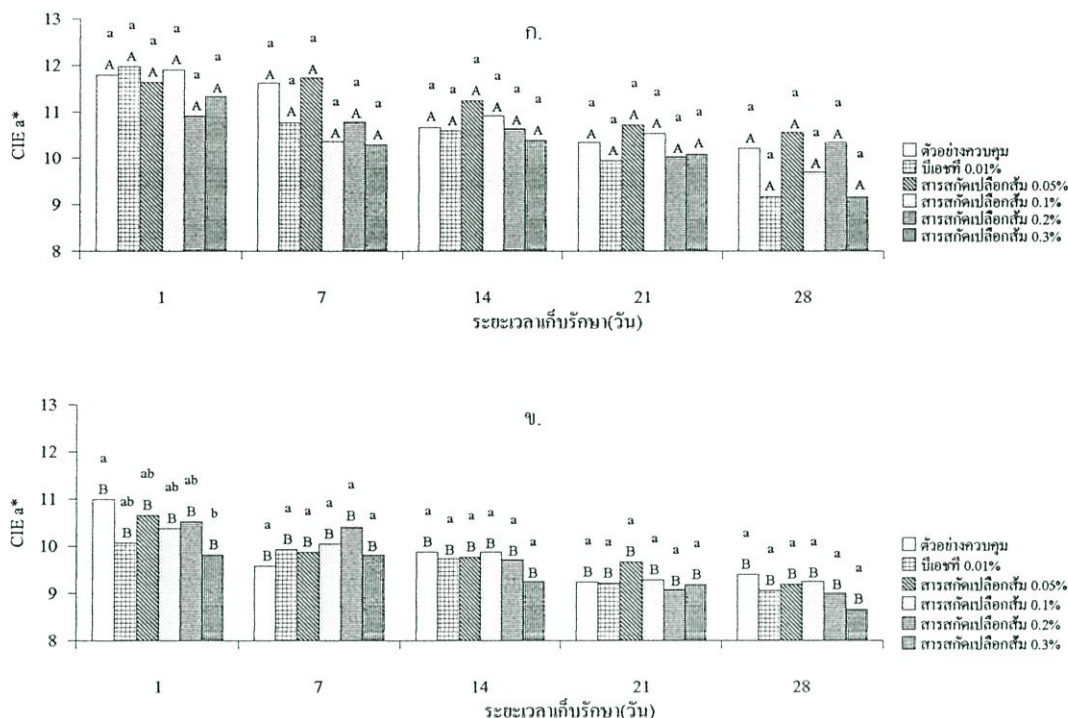
### 4.3.3 ค่าสีของหมูแผ่นและกุนเชียง

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษา คือ หมูแผ่นและกุนเชียงดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) และ  $4^{\circ}\text{C}$  สำหรับหมูแผ่นและกุนเชียงสุกบรรจุถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง วัดสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta โดยแสดงผลในระบบ Commission International Eclairage(CIE) บันทึกค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ของตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน ผลการทดลองแสดงคั่งภาพที่ 4.23-4.26 การทดลองนี้จะรายงานผลเฉพาะค่า  $a^*$  (สีแดง) ซึ่งเป็นค่าสีหลักที่สำคัญและนิยมใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงสีอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์(Govindarajan, 1973) ซึ่งค่า  $a^*$  สามารถบอกถึงการเปลี่ยนแปลงสีและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้อย่างชัดเจน โดยตัวอย่างที่มีค่า  $a^*$  สูง แสดงว่าตัวอย่างมีค่าสีแดงมากกว่าตัวอย่างที่มีค่า  $a^*$  ต่ำ ส่วนค่า  $L^*$  และ  $b^*$  จะแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยในภาคผนวก ง. ซึ่งค่าสีทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยและมีความแตกต่างของสีไม่ชัดเจน

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่า  $a^*$  ของผลิตภัณฑ์ ในช่วงระยะเวลา 28 วัน พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่า  $a^*$  ของตัวอย่างหมูแผ่นดิบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ ) โดยหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าสีแดงมากกว่าหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  อย่างไรก็ตามการที่ตัวอย่างหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  มีค่าสีแดงต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ไม่น่าจะแสดงถึงว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกิดการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุในผลิตภัณฑ์อาหารอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากผลการทดลองดังกล่าวไม่สอดคล้องกันแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ โดยตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าทั้งสองสูงกว่าตัวอย่างหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  (ภาพที่ 4.15 และ 4.16) ดังนั้นผลการทดลองข้างต้นจึงน่าจะเป็นผลมาจากไขมันหมูที่เป็นองค์ประกอบในหมูแผ่นมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง  $33-46^{\circ}\text{C}$  (นิรียา, 2545) ซึ่งขณะเก็บรักษาหมูแผ่นที่อุณหภูมิห้อง ไขมันบางส่วนจะเริ่มหลอมละลายเป็นของเหลวเป็นผลให้ขณะวัดสี จะไม่มีการสะท้อนของสีขาวขุ่นจากไขมัน ทำให้ค่า  $a^*$  ที่วัดได้มีค่าสูง ในทางตรงกันข้ามหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  ไขมันในผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นของแข็งสีขาวขุ่น ซึ่งขณะวัดสีจะเกิดการสะท้อนของสีขาวขุ่นจึงทำให้ค่า  $a^*$  ของหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  มีค่าน้อยถึงแม้ว่าก่อนวัดสีจะนำตัวอย่างหมูแผ่นมาไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างเท่ากับอุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามช่วงระยะเวลาดังกล่าวไม่เพียงพอที่จะทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวโดยสมบูรณ์ได้ ดังนั้นขณะวัดสีจึงเกิดการสะท้อนของสีขาวขุ่นทำให้ค่า  $a^*$  ของตัวอย่างหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  มีค่าน้อยกว่าหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

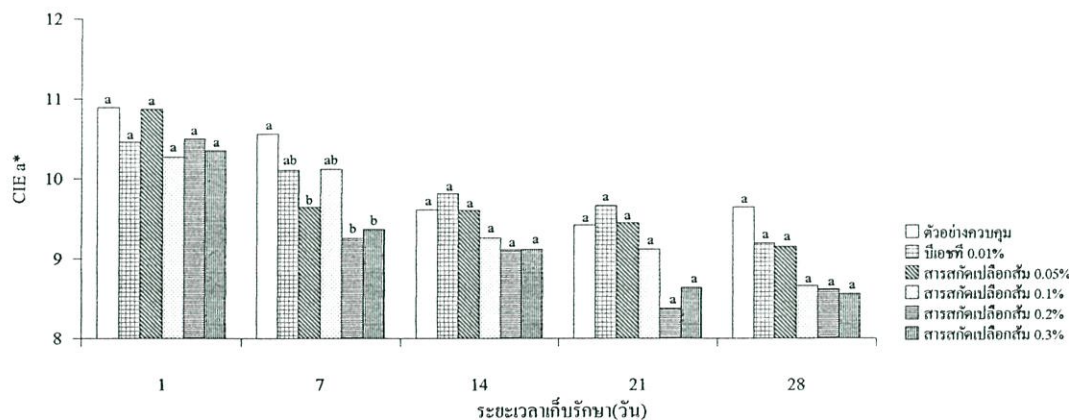
สำหรับกุนเชียงคิบนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า  $a^*$  ถึงแม้ว่าสภาวะการเก็บรักษาจะเหมือนกับหมูแผ่นก็ตาม ทั้งนี้เนื่องมาจากช่วงเวลาในการทำการทดลองที่แตกต่างกันสำหรับหมูแผ่นและกุนเชียง กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์หมูแผ่นทำการทดลองในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน ซึ่งอุณหภูมิห้องที่ใช้เก็บรักษาตัวอย่างอยู่ในช่วง  $30-33^{\circ}\text{C}$  แต่ผลิตภัณฑ์กุนเชียงทำการทดลองในช่วงเดือน พฤศจิกายน-มกราคม อุณหภูมิห้องโดยเฉลี่ยที่ใช้เก็บรักษาตัวอย่างที่วัดได้  $28-30^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าอุณหภูมิห้องที่ต่ำกว่าในกรณีการทดลองของกุนเชียงทำให้ไขมันที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ ยังคงอยู่ในสถานะใกล้เคียงกับตัวอย่างกุนเชียงที่เก็บรักษาไว้ที่  $4^{\circ}\text{C}$  (หลังจากตั้งทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องก่อนการวัดสี) ผลการวัดสีของตัวอย่างที่เก็บรักษาทั้งสองสภาวะจึงไม่แตกต่างกัน

ภาพที่ 4.23 แสดงค่า  $a^*$  ของหมูแผ่นคิบบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ  $4^{\circ}\text{C}$  และภาพที่ 4.24 แสดงค่า  $a^*$  ของหมูแผ่นสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากภาพทั้งสอง จะเห็นได้ว่าหมูแผ่นคิบบและสุกที่เค็มสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ  $0.05-0.3\%$  โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการทดลอง มีค่า  $a^*$  ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เค็มบีเอสซี นอกจากนี้ยังพบอีกว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า  $a^*$  ของหมูแผ่นทุกตัวอย่างในทุกสภาวะการทดลองจะเริ่มมีค่า  $a^*$  ลดลงเรื่อยๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวันแรกที่ทำกรเก็บรักษา โดยการลดลงของค่า  $a^*$  จะเห็นได้ชัดเจนมากในหมูแผ่นสุก ซึ่งการลดลงของค่า  $a^*$  นี้แสดงถึงค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์หมูแผ่นได้จางลงจากวันเริ่มต้นที่เก็บรักษา



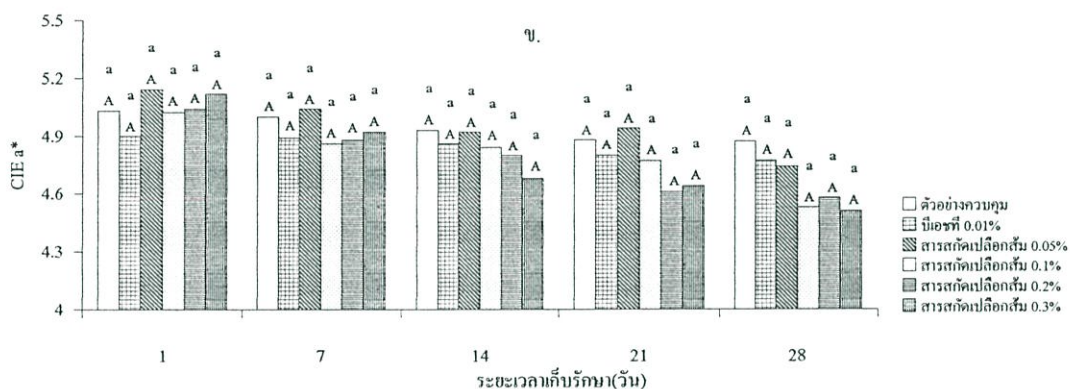
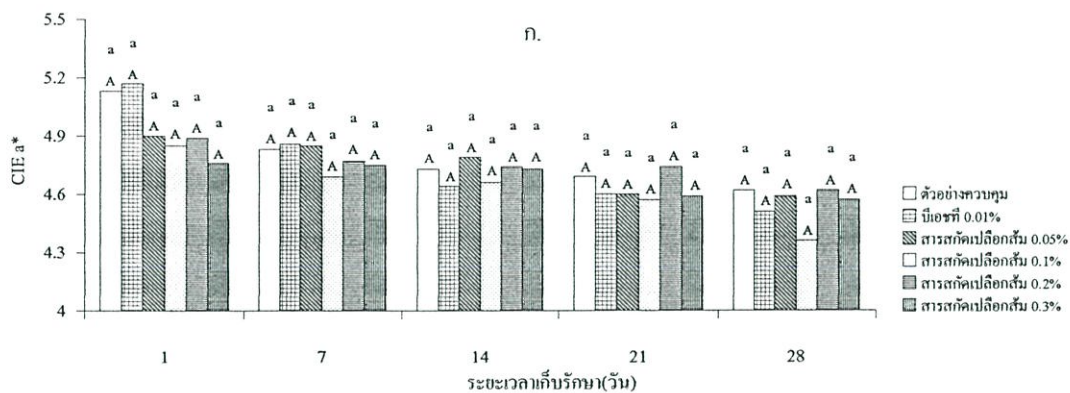
ภาพที่ 4.23 ค่า a\* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของค่า a\* เนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 2. a-b ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวาน ที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.24 ค่า a\* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

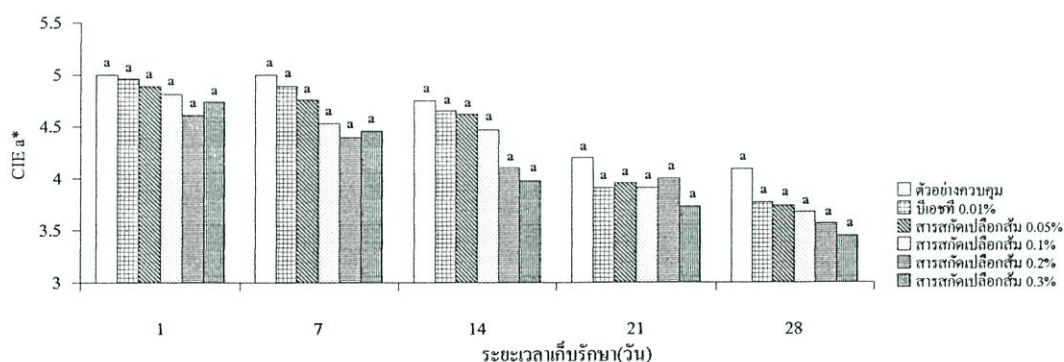
หมายเหตุ a-b ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวาน ที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.25 ค่า  $a^*$  ของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ  $4^{\circ}\text{C}$ (ข.)

หมายเหตุ 1. A ที่ไม่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \geq 0.05$ )ของค่า  $a^*$  เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

2. a ที่ไม่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \geq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.26 ค่า  $a^*$  ของกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

หมายเหตุ a ที่ไม่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \geq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ภาพที่ 4.25 แสดงค่า  $a^*$  ของกุนเชียงดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ  $4^{\circ}\text{C}$  และภาพที่ 4.24 แสดงค่า  $a^*$  ของกุนเชียงสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากภาพทั้งสอง จะเห็นได้ว่า กุนเชียงดิบและสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการทดลอง มีค่า  $a^*$  ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เดิมบีบเอซซี นอกจากนี้ยังพบอีกว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า  $a^*$  ของกุนเชียงทุกตัวอย่างในทุกสภาวะการทดลองจะเริ่มมีค่า  $a^*$  ลดลงเรื่อยๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวันแรกที่ทำการเก็บรักษา โดยการลดลงของค่า  $a^*$  จะเห็นได้ชัดเจนมากในกุนเชียงสุก ซึ่งการลดลงของค่า  $a^*$  นี้แสดงถึงค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์กุนเชียงได้จางลงจากวันเริ่มต้นที่เก็บรักษา

จากผลการทดลองในเรื่องของสีของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ของระดับการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันกับการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้มีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อสีของตัวอย่างได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีอันเนื่องมาจากผลของไขมันและน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ เป็นต้น อีกทั้งระยะเวลาในการทดลองสั้นเกินไปที่จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีเนื่องจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันในแต่ละตัวอย่างได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงที่เก็บรักษาในทุกสภาวะมีแนวโน้มของค่า  $a^*$  ที่ลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น น่าจะเป็นผลเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบินอย่างช้าๆ แล้วมีผลต่อเนื่องกับการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ซึ่งขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสัตว์เนื่องจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้กล่าวถึงรายละเอียดต่างๆ ไว้แล้วในหัวข้อ 4.2.3

#### 4.3.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงที่เดิมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นและกุนเชียงดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) และ  $4^{\circ}\text{C}$  สำหรับหมูแผ่นและกุนเชียงสุกบรรจุถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยการดมกลิ่นหืนในตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน โดยใช้วิธีทดสอบแบบ multiple comparison test การทดสอบจะให้ผู้ทดสอบระบุคะแนนของกลิ่นหืนที่รับรู้ได้ โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง(reference) คือ หมูแผ่นหรือกุนเชียงที่เดิมบีบเอซซี 0.01% โดยน้ำหนัก ที่เก็บรักษาในสภาวะและเวลาเดียวกับตัวอย่างทดสอบ แบ่งระดับคะแนนเป็น 9 ระดับ คือ 1 = มีกลิ่นหืนน้อยที่สุด ถึง 9 = มีกลิ่นหืนมากที่สุด(ภาคผนวก ข.) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8-4.13

ตารางที่ 4.8 และ 4.9 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ  $4^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ และตารางที่ 4.10 แสดง

คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุก จากผลการทดลองในตารางที่ 3 ตาราง พบว่าหลังจากเก็บรักษาตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการเก็บรักษา จะมีคะแนนของกลิ่นหืนใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมบีเอชที เมื่อพิจารณาผลการทดสอบด้านกลิ่นหืนร่วมกับผลการวิเคราะห์ค่า TBARS (ค่า TBARS เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์) หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน ซึ่งจากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3.1 พบว่าหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°C และหมูแผ่นสุกเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยมีค่า TBARS ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม(ภาพที่ 4.15-4.17) ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน กล่าวคือ หมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการทดลองจะมีคะแนนด้านกลิ่นหืนใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมบีเอชทีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1% โดยน้ำหนัก สำหรับในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นการทดลองหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4.8 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของ สารสกัดเปลือกส้ม เขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบ ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	4.40±0.89 <sup>b</sup>	5.40±0.55 <sup>ab</sup>	6.20±1.92 <sup>a</sup>	6.40±1.51 <sup>a</sup>	6.80±0.89 <sup>a</sup>
0.1	4.40±0.55 <sup>c</sup>	4.60±1.14 <sup>bc</sup>	5.40±1.14 <sup>abc</sup>	6.00±1.22 <sup>ab</sup>	6.20±1.30 <sup>a</sup>
0.2	4.40±1.14 <sup>a</sup>	4.80±1.30 <sup>a</sup>	5.00±1.00 <sup>a</sup>	5.20±1.30 <sup>a</sup>	5.80±1.30 <sup>a</sup>
0.3	4.20±1.48 <sup>b</sup>	4.40±2.07 <sup>ab</sup>	5.00±1.00 <sup>ab</sup>	5.20±0.84 <sup>ab</sup>	6.20±1.09 <sup>a</sup>
บีเอชที 0.01	4.40±1.52 <sup>a</sup>	4.40±1.52 <sup>a</sup>	4.60±1.14 <sup>a</sup>	4.80±1.64 <sup>a</sup>	5.00±1.22 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	5.20±0.84 <sup>b</sup>	5.80±1.30 <sup>ab</sup>	6.20±1.30 <sup>ab</sup>	7.00±1.58 <sup>ab</sup>	7.20±1.30 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขบวนการแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หีนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หีนมากที่สุด

**ตารางที่ 4.9** คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C

ความเข้มข้นของ สารสกัดเปลือกส้ม เขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบ ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	4.80±0.84 <sup>a</sup>	5.40±1.14 <sup>a</sup>	5.80±1.30 <sup>a</sup>	6.20±1.64 <sup>a</sup>	6.40±1.64 <sup>a</sup>
0.1	5.40±1.14 <sup>a</sup>	5.60±0.89 <sup>a</sup>	6.00±0.71 <sup>a</sup>	5.80±0.45 <sup>a</sup>	6.20±0.89 <sup>a</sup>
0.2	5.20±0.84 <sup>a</sup>	5.20±1.30 <sup>a</sup>	5.60±0.55 <sup>a</sup>	5.40±0.55 <sup>a</sup>	5.88±0.84 <sup>a</sup>
0.3	5.00±0.71 <sup>a</sup>	5.20±0.45 <sup>a</sup>	5.20±1.30 <sup>a</sup>	5.40±0.54 <sup>a</sup>	5.80±0.45 <sup>a</sup>
ปีเอชที่ 0.01	4.40±0.89 <sup>a</sup>	4.40±1.14 <sup>a</sup>	4.60±1.51 <sup>a</sup>	4.40±1.94 <sup>a</sup>	4.80±1.64 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	4.80±0.84 <sup>b</sup>	5.60±0.55 <sup>ab</sup>	6.00±2.00 <sup>ab</sup>	6.20±1.30 <sup>ab</sup>	6.60±0.89 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หีนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หีนมากที่สุด

**ตารางที่ 4.10** คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของ สารสกัดเปลือกส้ม เขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุก ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	5.20±1.64 <sup>a</sup>	5.60±1.52 <sup>a</sup>	6.40±1.51 <sup>a</sup>	6.20±1.30 <sup>a</sup>	6.90±1.52 <sup>a</sup>
0.1	5.60±0.55 <sup>a</sup>	5.80±0.84 <sup>a</sup>	6.00±1.58 <sup>a</sup>	6.20±1.30 <sup>a</sup>	6.40±1.14 <sup>a</sup>
0.2	5.20±0.84 <sup>a</sup>	5.20±0.45 <sup>a</sup>	5.20±2.16 <sup>a</sup>	5.70±0.84 <sup>a</sup>	6.20±1.48 <sup>a</sup>
0.3	5.20±0.70 <sup>a</sup>	5.20±0.45 <sup>a</sup>	5.20±1.09 <sup>a</sup>	5.80±1.09 <sup>a</sup>	5.80±1.48 <sup>a</sup>
ปีเอชที่ 0.01	4.60±0.55 <sup>a</sup>	4.80±0.84 <sup>a</sup>	5.00±1.22 <sup>a</sup>	5.00±0.89 <sup>a</sup>	5.50±1.58 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	5.80±1.30 <sup>a</sup>	6.20±0.84 <sup>a</sup>	6.80±0.84 <sup>a</sup>	6.60±2.07 <sup>a</sup>	7.20±1.30 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หีนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หีนมากที่สุด

ตารางที่ 4.11 และ 4.12 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น หินของกุนเชียงดิบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°C ตามลำดับ และตารางที่ 4.13 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหินของกุนเชียงสุก จากผลการทดลองในตาราง ทั้ง 3 ตาราง พบว่าหลังจากเก็บรักษาตัวอย่างกุนเชียงเป็นเวลา 28 วัน กุนเชียงที่เดิมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°C จะมีคะแนนของกลิ่นหินใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เดิมบีเอชทีมากที่สุด สำหรับกุนเชียงสุกที่เดิมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะมีคะแนนของกลิ่นหินต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบกับหมูแผ่นสุกที่เดิมบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก จะเห็นได้ว่าตัวอย่างหมูแผ่นสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก มีคะแนนของกลิ่นหินใกล้เคียงกับหมูแผ่นที่เดิมบีเอชทีมากที่สุด เมื่อพิจารณาผลการทดสอบด้านกลิ่นหินร่วมกับผลการวิเคราะห์ค่า TBARS (ค่า TBARS เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเกิดกลิ่นหินในผลิตภัณฑ์) หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน ซึ่งผลการทดลองในหัวข้อ 4.3.1 พบว่ากุนเชียงดิบและสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไลปิโดออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยกุนเชียงที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับดังกล่าวมีค่า TBARS ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ภาพที่ 4.18-4.20) ผลการทดลองดังกล่าวมีแนวโน้มและทิศทางเดียวกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหิน กล่าวคือ กุนเชียงดิบที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°C และกุนเชียงสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก มีคะแนนด้านกลิ่นหินใกล้เคียงกับบีเอชทีมากที่สุด ดังนั้นเพื่อให้การใช้สารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาไลปิโดออกซิเดชันได้ดีที่สุด และใกล้เคียงกับบีเอชทีมากที่สุด จึงเลือกสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.2% โดยน้ำหนัก สำหรับในผลิตภัณฑ์กุนเชียงการทดลองหัวข้อถัดไป

**ตารางที่ 4.11** ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นหืนของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของกุนเชียงดิบ ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$5.26 \pm 1.22^b$	$5.53 \pm 0.83^{ab}$	$6.00 \pm 1.46^{ab}$	$6.00 \pm 1.46^{ab}$	$6.50 \pm 1.22^a$
0.1	$5.00 \pm 0.53^a$	$5.40 \pm 1.40^a$	$5.53 \pm 1.40^a$	$5.73 \pm 1.66^a$	$6.00 \pm 1.41^a$
0.2	$4.93 \pm 1.09^a$	$5.20 \pm 1.32^a$	$5.60 \pm 1.59^a$	$5.60 \pm 1.18^a$	$6.00 \pm 1.73^a$
0.3	$4.86 \pm 0.91^b$	$5.06 \pm 1.48^{ab}$	$5.26 \pm 1.16^{ab}$	$5.46 \pm 1.68^{ab}$	$6.00 \pm 1.46^a$
บีเอสที 0.01	$4.40 \pm 0.82^a$	$4.53 \pm 1.24^a$	$5.06 \pm 1.33^a$	$5.06 \pm 1.70^a$	$5.26 \pm 2.01^a$
ตัวอย่างควบคุม	$5.60 \pm 0.91^b$	$5.66 \pm 0.81^b$	$6.00 \pm 1.06^{ab}$	$6.66 \pm 1.54^a$	$6.73 \pm 1.53^a$

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หีนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หีนมากที่สุด

**ตารางที่ 4.12** คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C

ความเข้มข้นของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของกุนเชียงดิบ ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$5.13 \pm 0.74^c$	$5.60 \pm 0.30^{bc}$	$5.80 \pm 1.52^{abc}$	$6.06 \pm 0.96^{ab}$	$6.33 \pm 1.24^a$
0.1	$5.53 \pm 0.99^a$	$5.40 \pm 0.50^a$	$5.73 \pm 1.43^a$	$5.73 \pm 1.27^a$	$6.06 \pm 1.33^a$
0.2	$5.13 \pm 0.83^a$	$5.53 \pm 0.63^a$	$5.73 \pm 1.75^a$	$5.80 \pm 1.37^a$	$5.73 \pm 1.33^a$
0.3	$5.13 \pm 0.99^a$	$5.26 \pm 0.79^a$	$5.33 \pm 1.67^a$	$5.53 \pm 1.27^a$	$5.73 \pm 1.33^a$
บีเอสที 0.01	$5.00 \pm 0.75^a$	$5.00 \pm 0.75^a$	$5.26 \pm 1.03^a$	$5.20 \pm 1.37^a$	$5.33 \pm 1.29^a$
ตัวอย่างควบคุม	$5.53 \pm 1.18^a$	$5.73 \pm 0.70^a$	$5.80 \pm 1.26^a$	$6.33 \pm 1.34^a$	$6.46 \pm 1.49^a$

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หีนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หีนมากที่สุด

ตารางที่ 4.13 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุนเชียงสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของกุนเชียงสุก ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$5.20 \pm 1.08^b$	$5.46 \pm 1.24^b$	$6.06 \pm 1.27^{ab}$	$6.40 \pm 0.73^a$	$6.80 \pm 1.32^a$
0.1	$5.00 \pm 0.92^a$	$5.46 \pm 0.79^b$	$5.73 \pm 1.38^{ab}$	$6.06 \pm 1.22^a$	$6.20 \pm 1.14^a$
0.2	$5.13 \pm 0.99^b$	$5.40 \pm 0.73^{ab}$	$5.66 \pm 1.23^{ab}$	$6.00 \pm 1.00^a$	$6.06 \pm 0.25^a$
0.3	$4.93 \pm 1.57^a$	$5.13 \pm 1.45^a$	$5.66 \pm 1.34^a$	$5.80 \pm 1.69^a$	$5.80 \pm 0.86^a$
บีเอสที 0.01	$4.46 \pm 0.91^a$	$4.80 \pm 0.77^a$	$5.00 \pm 0.65^{ab}$	$5.53 \pm 0.99^a$	$5.53 \pm 0.51^a$
ตัวอย่างควบคุม	$5.26 \pm 1.62^b$	$6.26 \pm 1.43^{ab}$	$6.33 \pm 1.49^{ab}$	$6.66 \pm 1.34^a$	$7.20 \pm 1.14^a$

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเดิมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน 1-9; คะแนน = 1 หีนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หีนมากที่สุด

#### 4.4 การใช้สารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่นและกุนเชียง

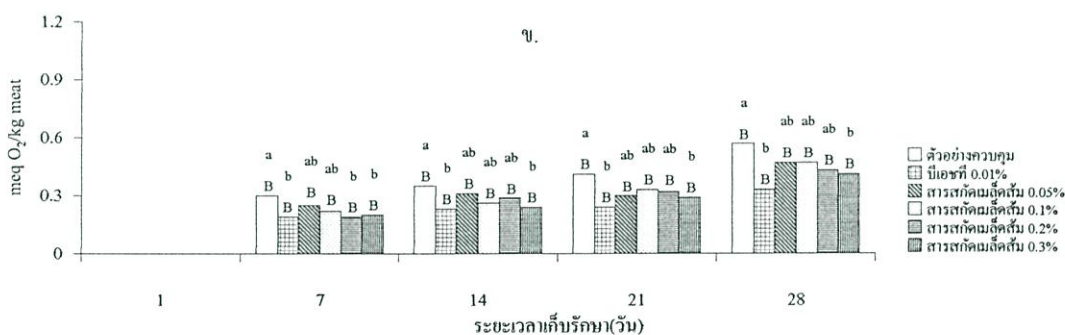
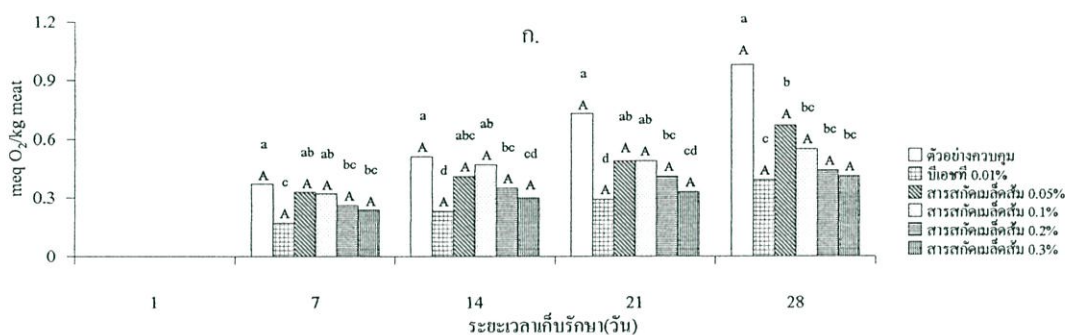
##### 4.4.1 ค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS

จากการศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียง โดยเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงที่เดิมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษา คือ หมูแผ่นและกุนเชียงดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30 \pm 3^\circ\text{C}$ ) และ  $4^\circ\text{C}$  สำหรับหมูแผ่นและกุนเชียงสุกบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.27-4.32

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของผลิตภัณฑ์หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ ) โดยหมูแผ่นและกุนเชียงดิบทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS สูงกว่าหมูแผ่นและกุนเชียงดิบทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^\circ\text{C}$

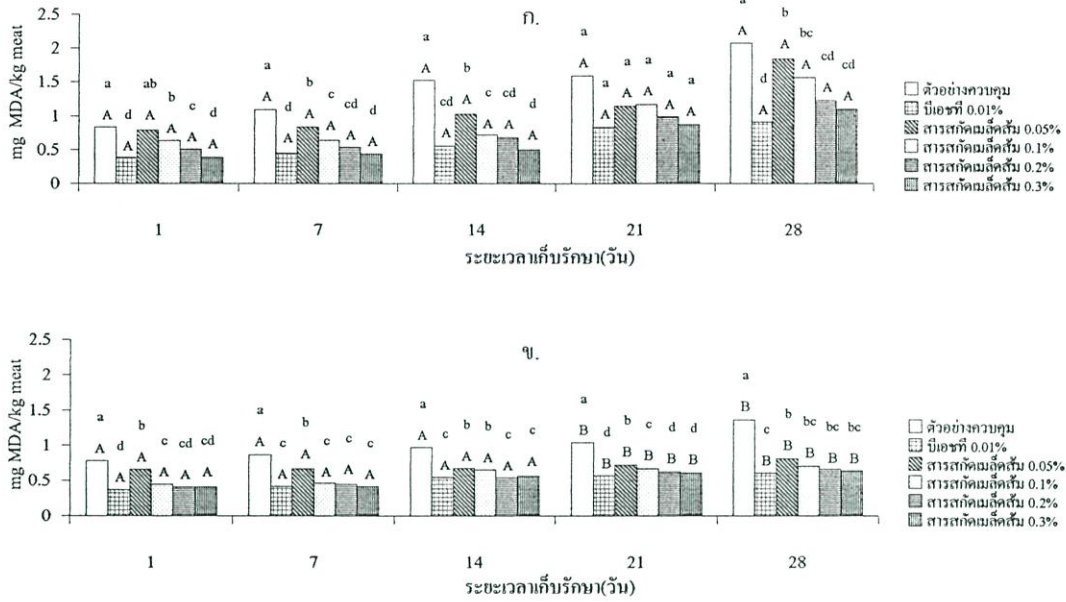
ภาพที่ 4.27 และ 4.28 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นดิบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°C ตามลำดับ และภาพที่ 4.29 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะเห็นได้ว่าการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานในส่วนผสมของหมูแผ่นดิบและสุกในทุกสภาวะการเก็บรักษาที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาช้ากว่าตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเปอร์ออกซิเดชันในหมูแผ่นได้ และเมื่อระดับของสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่เติมลงในส่วนผสมสูงขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นในระหว่างการเก็บรักษาจะมีค่าเพิ่มขึ้นช้าลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูแผ่นดิบและสุกที่ทุกสภาวะการทดลอง สำหรับตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานกับหมูแผ่นที่เติมบีเอชที จะเห็นได้ว่าในกรณีของหมูแผ่นดิบและสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะมีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมบีเอชที ในกรณีของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C จะมีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมบีเอชที แสดงว่าการใช้สารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่สภาวะการเก็บรักษาในระดับดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมการใช้สารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีมาก โดยหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน หมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS อยู่ในช่วง  $0.41 \pm 0.03$ - $0.55 \pm 0.20$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ  $1.10 \pm 0.10$ - $1.57 \pm 0.61$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ  $0.98 \pm 0.17$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น  $2.07 \pm 0.15$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในกรณีของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C จะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS อยู่ในช่วง  $0.41 \pm 0.02$ - $0.47 \pm 0.08$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ  $0.64 \pm 0.02$ - $0.81 \pm 0.01$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ  $0.57 \pm 0.02$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ  $1.36 \pm 0.24$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ สำหรับหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำ-

หนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS อยู่ในช่วง  $0.39 \pm 0.06 - 0.53 \pm 0.15$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ  $1.07 \pm 0.08 - 1.10 \pm 0.01$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ  $1.49 \pm 0.74$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ  $1.67 \pm 0.06$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ



ภาพที่ 4.27 ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

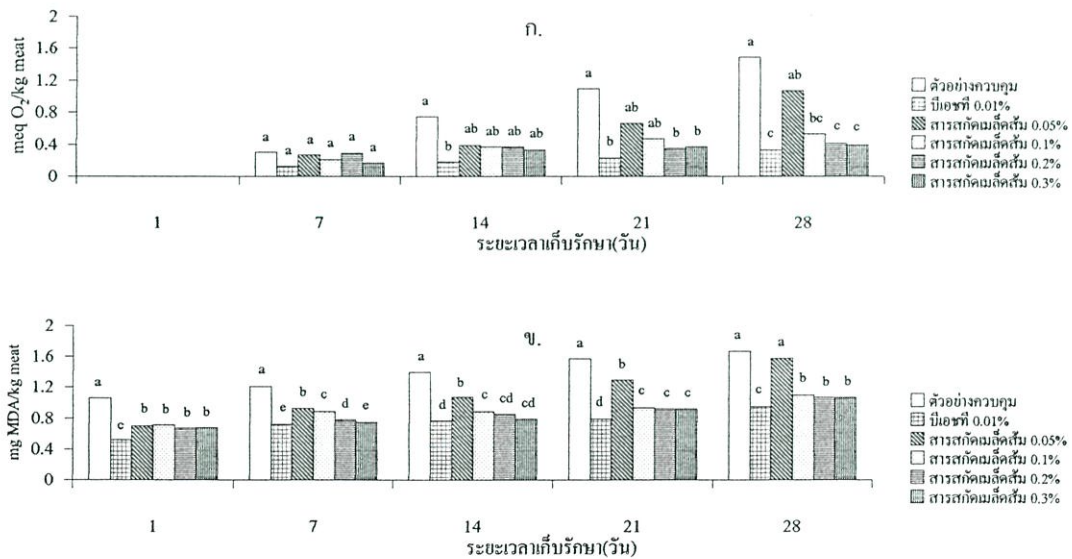
- หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของค่าเปอร์ออกไซด์เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
2. a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.28 ค่า TBARS ของหมูแผ่นคิปที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของค่า TBARS เนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

2. a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

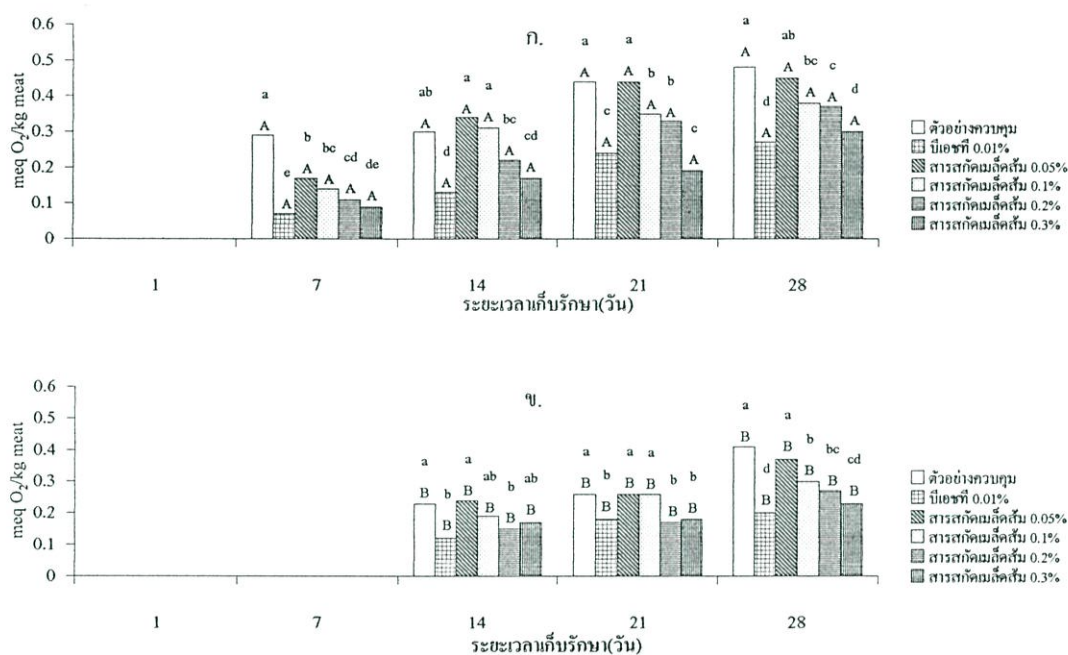


ภาพที่ 4.29 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

หมายเหตุ a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

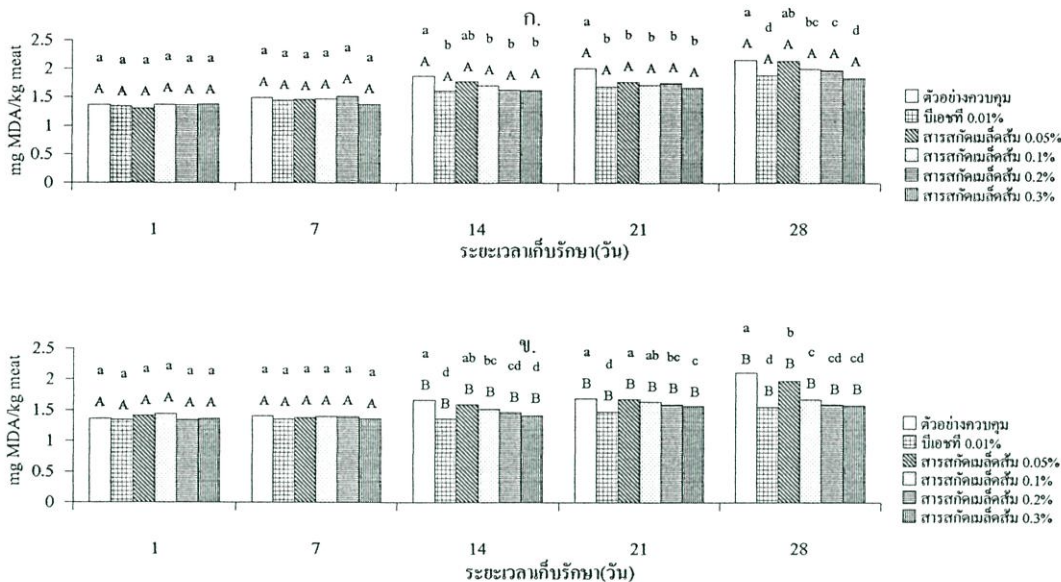
ภาพที่ 4.30 และ 4.31 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ของกุนเชียงดิบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°C และภาพที่ 4.32 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของกุนเชียงสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะเห็นได้ว่าการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานในส่วนผสมของกุนเชียงดิบและสุก ในทุกสภาวะการทดลองที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาซ้ำกว่าตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าการใช้สารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ และเมื่อระดับของสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่เติมลงในส่วนผสมสูงขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของกุนเชียงในระหว่างการเก็บรักษาจะมีค่าเพิ่มขึ้นช้าลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กุนเชียงดิบและสุกในทุกสภาวะการทดลอง สำหรับตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานกับตัวอย่างที่เติมบีเอชที จะเห็นได้ว่าตัวอย่างกุนเชียงดิบและกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C จะมีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมากที่สุด แสดงว่าการใช้สารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม กุนเชียงที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีมาก โดยหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน กุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์เท่ากับ  $0.30 \pm 0.02$  และ  $0.37 \pm 0.03$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมกุนเชียง ตามลำดับ และมีค่า TBARS เท่ากับ  $1.98 \pm 0.05$  และ  $1.84 \pm 0.04$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมกุนเชียง ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ  $0.48 \pm 0.07$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมกุนเชียง และ  $2.16 \pm 0.05$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมกุนเชียง ตามลำดับ ในกรณีของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C จะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง  $0.22 \pm 0.06$  -  $0.30 \pm 0.04$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมกุนเชียง และมีค่า TBARS อยู่ในช่วง  $1.58 \pm 0.04$  -  $1.67 \pm 0.01$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมกุนเชียง ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ  $0.41 \pm 0.06$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมกุนเชียง และ  $2.11 \pm 0.01$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมกุนเชียง ตามลำดับ สำหรับกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์เท่ากับ  $3.85 \pm 0.78$

และ  $3.40 \pm 0.58$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมเนื้อเยื่อ ตามลำดับ และมีค่า TBARS เท่ากับ  $4.93 \pm 0.06$  และ  $4.89 \pm 0.06$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมเนื้อเยื่อ ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสถานะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ  $5.99 \pm 0.14$  มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมเนื้อเยื่อ และ  $5.48 \pm 0.67$  มิลลิกรัมมาโลนไดอิลดีไฮด์/กิโลกรัมเนื้อเยื่อ ตามลำดับ



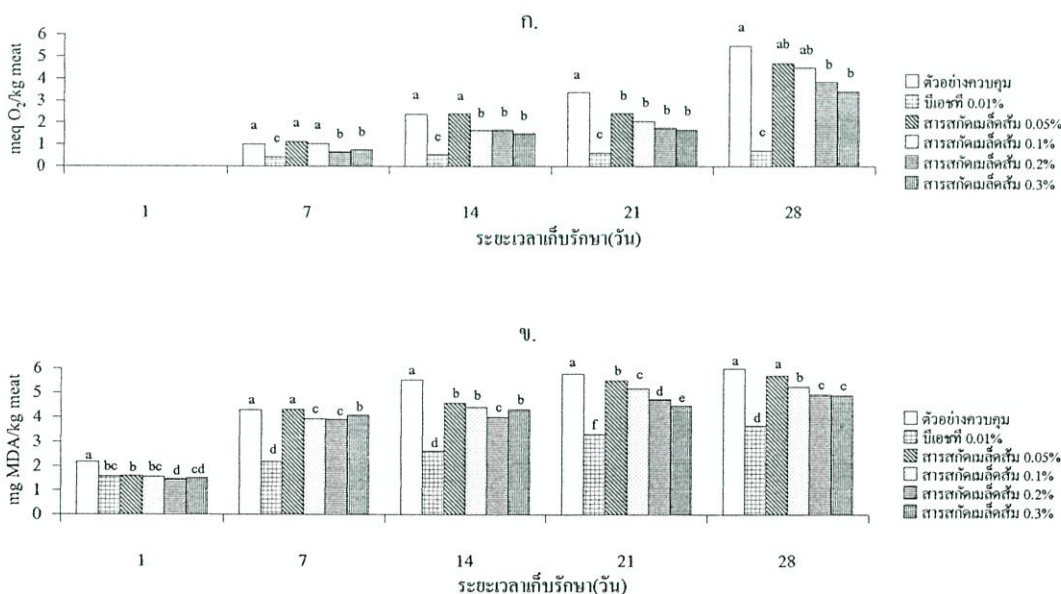
ภาพที่ 4.30 ค่าเปอร์ออกไซด์ของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

- หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของค่าเปอร์ออกไซด์เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
2. a-c ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.31 ค่า TBARS ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

- หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของค่า TBARS เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
2. a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.32 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

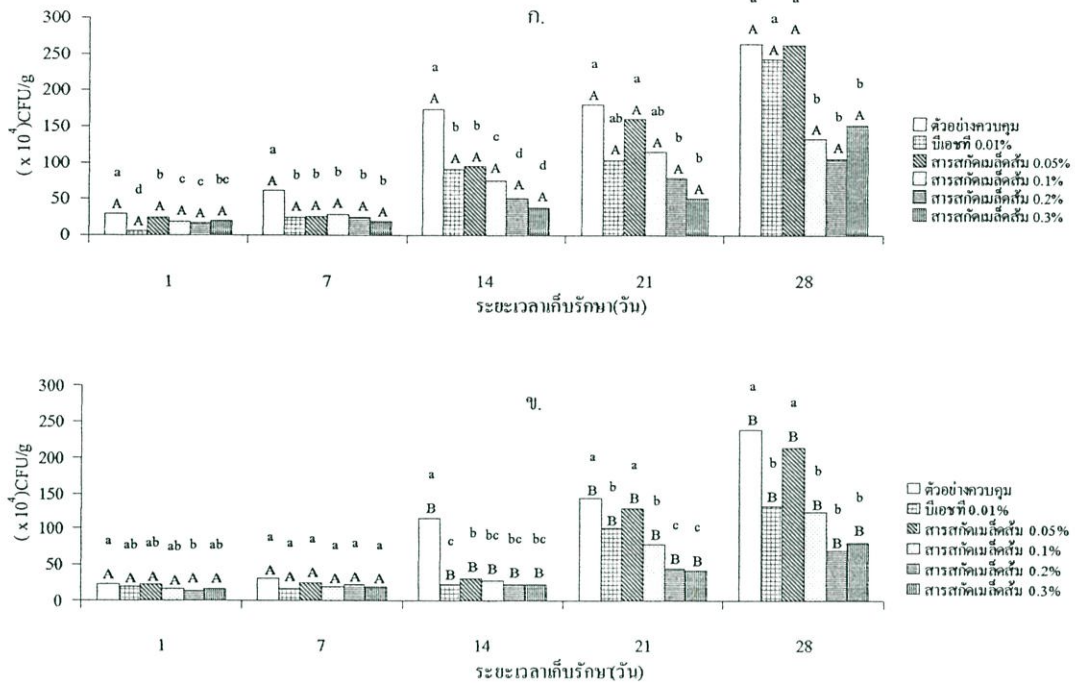
- หมายเหตุ a-f ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

#### 4.4.2 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียงที่เค็มสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสถานะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นและกุนเชียงดิบ บรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) และ  $4^{\circ}\text{C}$  สำหรับหมูแผ่นและกุนเชียงสุกบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บตัวอย่างของหมูแผ่นและกุนเชียงทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน มาตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.33-4.34

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน พบว่าหมูแผ่นและกุนเชียงดิบทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าหมูแผ่นและกุนเชียงดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ ) เนื่องจากอุณหภูมิห้องเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์มากกว่าอุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  จึงทำให้หมูแผ่นและกุนเชียงดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีจำนวนจุลินทรีย์ในปริมาณสูงกว่า

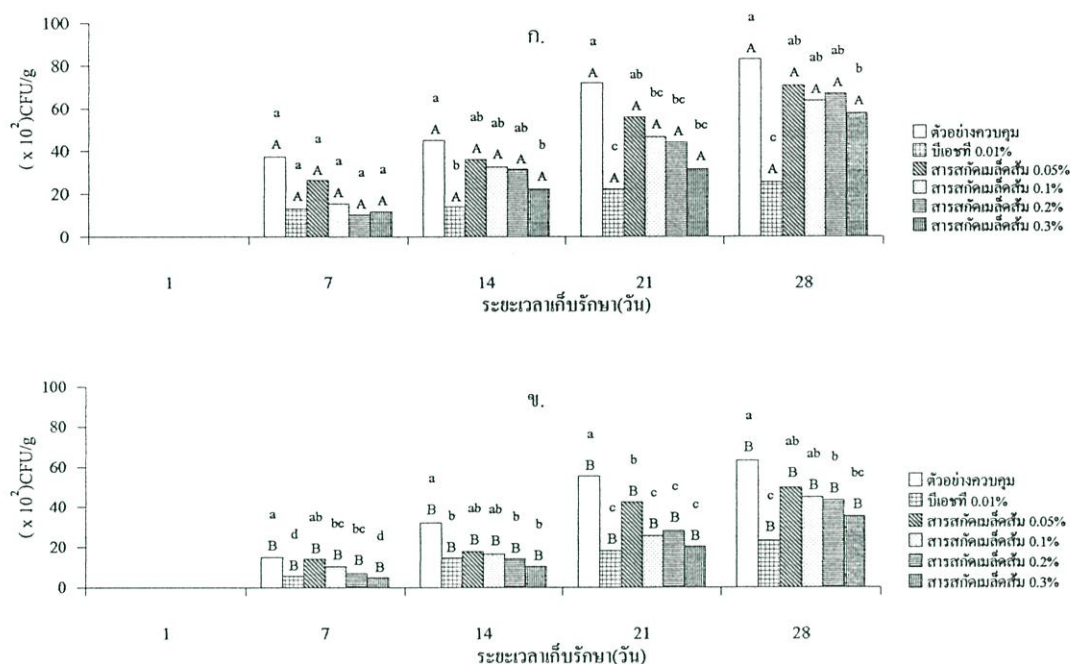
ภาพที่ 4.33 แสดงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ  $4^{\circ}\text{C}$  จะเห็นได้ว่า ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน หมูแผ่นดิบที่เค็มสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ ) โดยหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $133-151.5 \times 10^4$  CFU/g ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสถานะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $263.5 \times 10^4$  CFU/g สำหรับหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $69-123 \times 10^4$  CFU/g ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสถานะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $237.5 \times 10^4$  CFU/g



ภาพที่ 4.33 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นคิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

- หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
2. a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ภาพที่ 4.34 แสดงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุนเชียงคิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวาน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°C จะเห็นได้ว่า ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน กุนเชียงคิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม โดยกุนเชียงคิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $57.6-70.6 \times 10^2$  CFU/g ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $83 \times 10^2$  CFU/g สำหรับกุนเชียงคิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C จะมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $35.3-49.6 \times 10^2$  CFU/g ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $63 \times 10^2$  CFU/g



ภาพที่ 4.34 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

- หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
2. a-d ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

จากการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียงดิบ พบว่าการใช้สารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานเติมลงในส่วนผสมของหมูแผ่นและกุนเชียงจะมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ โดยจำนวนจุลินทรีย์ที่ตรวจนับได้ในหมูแผ่นและกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานจะมีปริมาณต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานประกอบด้วยสารประกอบในกลุ่มโพลีฟีนอล(polyphenol) และสารในกลุ่มของฟลาโวนอยด์(flavonoids) ซึ่งสารดังกล่าวมีสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้(Ramasawamy *et al.*, 1972) ดังนั้นการที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ในหมูแผ่นและกุนเชียงมีปริมาณน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม จึงน่าจะเป็นผลมาจากสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวาน นอกจากนี้หมูแผ่นและกุนเชียงดิบที่เติมบีโชนายังมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอีกด้วย ซึ่งจากรายงานของ Ayaz และคณะ(1980) และ Shih และ Harris(1977) พบว่าสารประกอบฟีนอลิกที่ได้จากการสังเคราะห์มีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้เช่นกัน

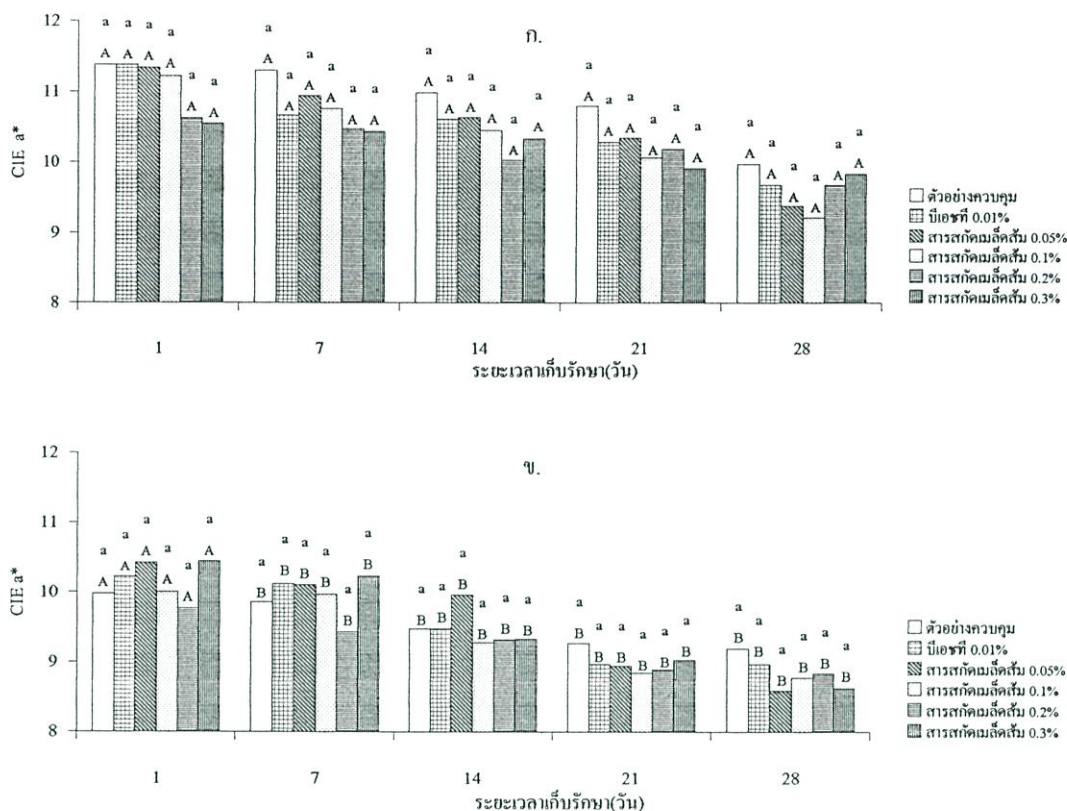
#### 4.4.3 ค่าสีของหมูแผ่นและกุนเชียง

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงที่เดิมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นและกุนเชียงดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) และ  $4^{\circ}\text{C}$  สำหรับหมูแผ่นและกุนเชียงสุกบรรจุถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง วัดสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta โดยแสดงผลในระบบ Commission International Eclairage(CIE) บันทึกค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ของตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.35-4.38 การทดลองนี้จะรายงานผลเฉพาะค่า  $a^*$  (สีแดง) ซึ่งเป็นค่าสีหลักและนิยมใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงสีอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้อย่างชัดเจน ซึ่งค่า  $a^*$  สามารถบอกลถึงการเปลี่ยนแปลงสีและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้อย่างชัดเจน โดยตัวอย่างที่มีค่า  $a^*$  สูง แสดงว่าตัวอย่างมีค่าสีแดงมากกว่าตัวอย่างที่มีค่า  $a^*$  ต่ำ ส่วนค่า  $L^*$  และ  $b^*$  จะแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยในภาคผนวก จ. ซึ่งค่าสีทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยและมีความแตกต่างของสีไม่ชัดเจน

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่า  $a^*$  ของผลิตภัณฑ์ ในช่วงระยะเวลา 28 วัน พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่า  $a^*$  ของตัวอย่างหมูแผ่นดิบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ ) โดยหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าสีแดงมากกว่าหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  อย่างไรก็ตามการที่ตัวอย่างหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  มีค่าสีแดงต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ไม่น่าจะแสดงถึงว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกิดการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุในผลิตภัณฑ์อาหารอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากผลการทดลองดังกล่าวไม่สอดคล้องกันแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ โดยตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าทั้งสองสูงกว่าตัวอย่างหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  (ภาพที่ 4.35 และ 4.36) ดังนั้นผลการทดลองข้างต้นจึงน่าจะเป็นผลมาจากไขมันหมูที่เป็นองค์ประกอบในหมูแผ่นมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง  $33-46^{\circ}\text{C}$  (นิริยา, 2545) ซึ่งขณะเก็บรักษาหมูแผ่นที่อุณหภูมิห้อง ไขมันบางส่วนจะเริ่มหลอมละลายเป็นของเหลวเป็นผลให้ขณะวัดสี จะไม่มีการสะท้อนของสีขาวขุ่นจากไขมัน ทำให้ค่า  $a^*$  ที่วัดได้มีค่าสูง ในทางตรงกันข้ามหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  ไขมันในผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นของแข็งสีขาวขุ่น ซึ่งขณะวัดสีจะเกิดการสะท้อนของสีขาวขุ่นจึงทำให้ค่า  $a^*$  ของหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  มีค่าน้อยถึงแม้ว่าก่อนวัดสีจะนำตัวอย่างหมูแผ่นมาไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างเท่ากับอุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามช่วงระยะเวลาดังกล่าวไม่เพียงพอที่จะทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวโดยสมบูรณ์ได้ ดังนั้นขณะวัดสีจึงเกิดการสะท้อนของสีขาวขุ่นทำให้ค่า  $a^*$  ของตัวอย่างหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  มีค่าน้อยกว่าหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

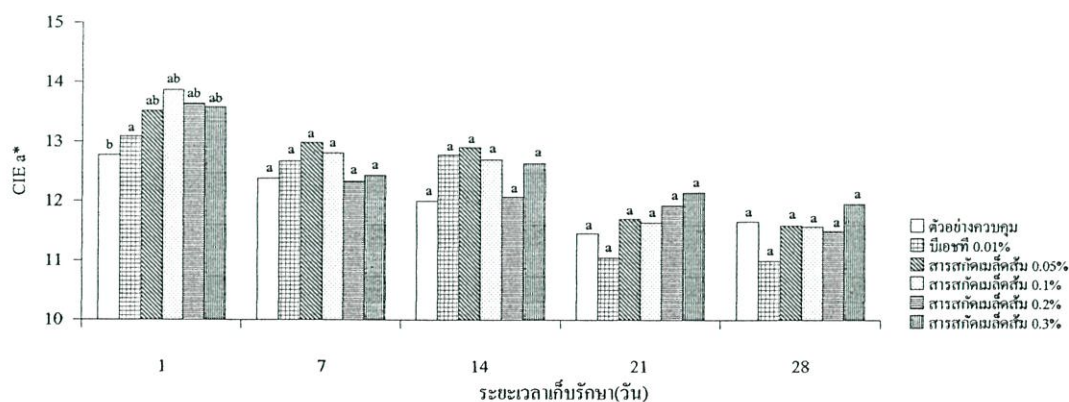
สำหรับกุนเชียงคิบนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า  $a^*$  ถึงแม้ว่าสภาวะการเก็บรักษาจะเหมือนกับหมูแผ่นก็ตาม ทั้งนี้เนื่องมาจากช่วงเวลาในการทำการทดลองที่แตกต่างกันสำหรับหมูแผ่นและกุนเชียง กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์หมูแผ่นทำการทดลองในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน ซึ่งอุณหภูมิห้องที่ใช้เก็บรักษาตัวอย่างอยู่ในช่วง  $30-33^{\circ}\text{C}$  แต่ผลิตภัณฑ์กุนเชียงทำการทดลองในช่วงเดือน พฤศจิกายน-มกราคม อุณหภูมิห้องโดยเฉลี่ยที่ใช้เก็บรักษาตัวอย่างที่วัดได้  $28-30^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าอุณหภูมิห้องที่ต่ำกว่าในกรณีการทดลองของกุนเชียงทำให้ไขมันที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ ยังคงอยู่ในสถานะใกล้เคียงกับตัวอย่างกุนเชียงที่เก็บรักษาไว้ที่  $4^{\circ}\text{C}$  (หลังจากตั้งทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องก่อนการวัดสี) ผลการวัดสีของตัวอย่างที่เก็บรักษาทั้งสองสภาวะจึงไม่แตกต่างกัน

ภาพที่ 4.35 แสดงค่า  $a^*$  ของหมูแผ่นคิบบนเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ  $4^{\circ}\text{C}$  และภาพที่ 4.36 แสดงค่า  $a^*$  ของหมูแผ่นสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากภาพทั้งสอง จะเห็นได้ว่าหมูแผ่นคิบและสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ  $0.05-0.3\%$  โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการเก็บรักษา มีค่า  $a^*$  ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเฮซที นอกจากนี้ยังพบอีกว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า  $a^*$  ของหมูแผ่นทุกตัวอย่างในทุกสภาวะการทดลองจะเริ่มมีค่า  $a^*$  ลดลงเรื่อยๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวันแรกทำการเก็บรักษา โดยการลดลงของค่า  $a^*$  จะเห็นได้ชัดเจนมากในหมูแผ่นสุก ซึ่งการลดลงของค่า  $a^*$  นี้แสดงถึงค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์หมูแผ่นได้จางลงจากวันเริ่มต้นที่เก็บรักษา



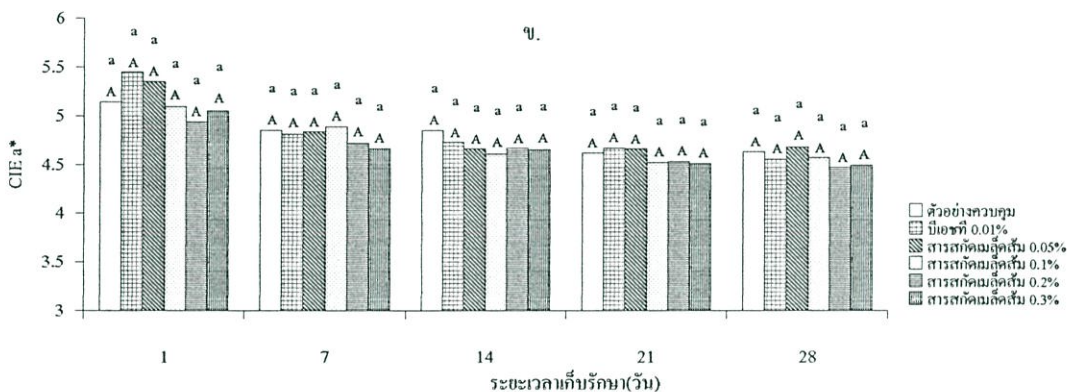
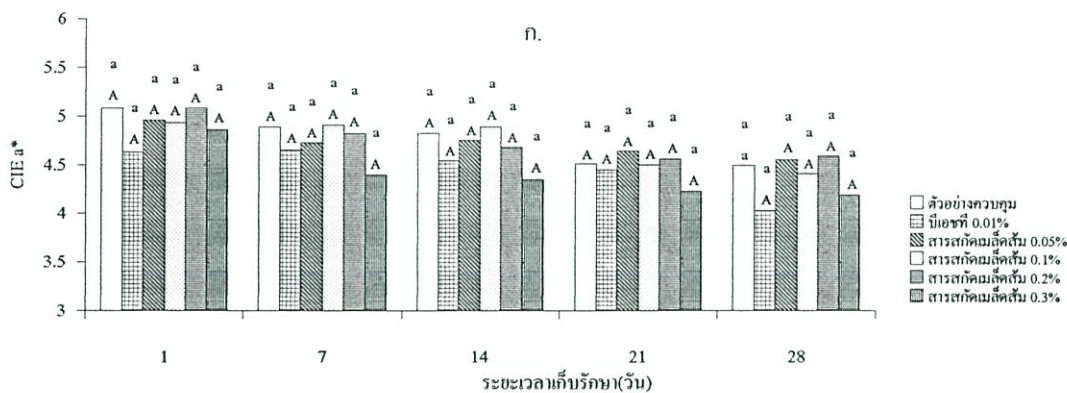
ภาพที่ 4.35 ค่า a\* ของหุ้มแผ่นคิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

หมายเหตุ 1. A-B ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของค่า a\* เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 2. a ที่ไม่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \geq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.36 ค่า a\* ของหุ้มแผ่นคิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

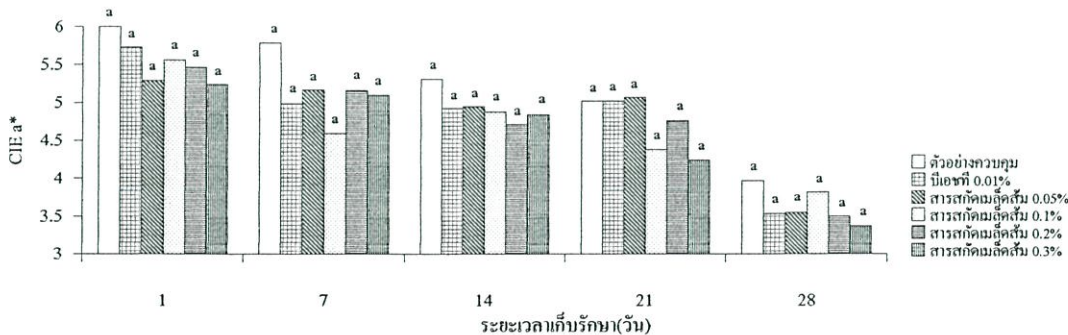
หมายเหตุ a-b ที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.37 ค่า a\* ของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°C(ข.)

หมายเหตุ 1. A ที่ไม่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติ( $p \geq 0.05$ )ของค่า a\* เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ที่ระดับของสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

2. a ที่ไม่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติ( $p \geq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน



ภาพที่ 4.38 ค่า a\* ของกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

หมายเหตุ a ที่ไม่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติ( $p \geq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

จากภาพที่ 4.37 แสดงค่า  $a^*$  ของกุนเชียงดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ  $4^{\circ}\text{C}$  และภาพที่ 4.38 แสดงค่า  $a^*$  ของกุนเชียงสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากภาพทั้งสอง จะเห็นได้ว่า กุนเชียงดิบและสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการเก็บรักษา มีค่า  $a^*$  ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า  $a^*$  ของกุนเชียงทุกตัวอย่างในทุกสภาวะการทดลองจะเริ่มมีค่า  $a^*$  ลดลงเรื่อยๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวันแรกที่เก็บรักษา โดยการลดลงของค่า  $a^*$  จะเห็นได้ชัดเจนมากในกุนเชียงสุก ซึ่งการลดลงของค่า  $a^*$  นี้แสดงถึงค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์ กุนเชียงได้จางลงจากวันเริ่มต้นที่เก็บรักษา

จากผลการทดลองในเรื่องของสีของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ของระดับการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันกับการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้มีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อสีของตัวอย่างได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีอันเนื่องมาจากผลของไขมันและน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ เป็นต้น และระยะเวลาในการทดลองสั้นเกินไปที่จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในแต่ละตัวอย่างได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงที่เก็บรักษาในทุกสภาวะมีแนวโน้มของค่า  $a^*$  ที่ลดลงเมื่อเก็บระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น น่าจะเป็นผลเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบินอย่างช้าๆ แล้วมีผลต่อเนื่องกับการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ซึ่งขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสัตว์เนื่องจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้กล่าวถึงรายละเอียดต่างๆ ไว้แล้วในหัวข้อ 4.2.3

#### 4.4.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงที่เติมสารสกัดจากเมล็ดเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นและกุนเชียงดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) และ  $4^{\circ}\text{C}$  สำหรับหมูแผ่นและกุนเชียงสุกบรรจุถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยการดมกลิ่นหืนในตัวอย่างหมูแผ่นและกุนเชียงทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน โดยใช้วิธีทดสอบแบบ multiple comparison test การทดสอบจะให้ผู้ทดสอบระบุคะแนนของกลิ่นหืนที่รับรู้ได้ โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง(reference) คือ หมูแผ่นหรือกุนเชียงที่เติมบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก ที่เก็บรักษาในสภาวะและเวลาเดียวกับตัวอย่างทดสอบ แบ่งระดับคะแนนเป็น 9 ระดับ คือ 1 = มีกลิ่นหืนน้อยที่สุด ถึง 9 = มีกลิ่นหืนมากที่สุด(ภาคผนวก ข.) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.14-4.19

ตารางที่ 4.14 และ 4.15 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ  $4^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ และตารางที่ 4.16 แสดง

คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุก จากผลการทดลองในตารางทั้ง 3 ตาราง พบว่าหลังจากเก็บรักษาตัวอย่างหมูแผ่นเป็นเวลา 28 วัน หมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการเก็บรักษา จะมีคะแนนของกลิ่นหืนใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมบีเอชทีมากที่สุด เมื่อพิจารณาผลการทดสอบด้านกลิ่นหืนร่วมกับผลการวิเคราะห์ค่า TBARS (ค่า TBARS เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์) หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน ซึ่งจากผลการทดลองในหัวข้อ 4.4.1 พบว่าหมูแผ่นดิบและสุกที่เติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยคุณเชิงที่เติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานดังกล่าวมีค่า TBARS ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ภาพที่ 4.27-4.29) ผลการทดลองดังกล่าวมีแนวโน้มและทิศทางเดียวกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน กล่าวคือ หมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการทดลองจะมีคะแนนด้านกลิ่นหืนใกล้เคียงกับบีเอชทีมากที่สุด ดังนั้นเพื่อให้การใช้สารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีที่สุด และใกล้เคียงกับบีเอชทีมากที่สุด จึงเลือกสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1% โดยน้ำหนัก สำหรับในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นการทดลองหัวข้อถัดไป

**ตารางที่ 4.14** คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของ สารสกัดเมล็ดส้ม เขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบ ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	4.80±0.84 <sup>a</sup>	5.40±1.14 <sup>a</sup>	5.40±0.55 <sup>a</sup>	5.80±0.45 <sup>ab</sup>	6.70±0.89 <sup>a</sup>
0.1	5.00±1.22 <sup>a</sup>	5.20±1.92 <sup>a</sup>	5.40±1.52 <sup>a</sup>	5.60±1.81 <sup>a</sup>	6.20±1.34 <sup>a</sup>
0.2	4.80±1.64 <sup>a</sup>	5.20±1.09 <sup>a</sup>	5.40±0.55 <sup>a</sup>	5.60±0.89 <sup>a</sup>	5.80±1.64 <sup>a</sup>
0.3	4.40±1.34 <sup>a</sup>	4.80±0.84 <sup>a</sup>	5.00±1.14 <sup>a</sup>	5.20±1.64 <sup>a</sup>	5.80±1.48 <sup>a</sup>
บีเอชที 0.01	4.40±0.89 <sup>a</sup>	4.40±1.14 <sup>a</sup>	4.20±1.48 <sup>a</sup>	4.60±1.52 <sup>a</sup>	5.00±0.70 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	5.40±1.82 <sup>a</sup>	5.40±1.14 <sup>a</sup>	5.60±0.89 <sup>a</sup>	6.60±1.52 <sup>a</sup>	7.00±0.71 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางกลิ่นหืน 1-9; คะแนน = 1 หินน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หินมากที่สุด

**ตารางที่ 4.15** คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นคิบที่เดิมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C

ความเข้มข้นของ สารสกัดเมล็ดส้ม เขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นคิบ ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$5.20 \pm 1.30^a$	$5.80 \pm 2.49^a$	$5.60 \pm 1.34^{ab}$	$6.20 \pm 1.09^a$	$6.40 \pm 1.67^a$
0.1	$4.80 \pm 1.30^a$	$5.20 \pm 2.68^a$	$5.20 \pm 1.09^a$	$5.80 \pm 1.30^a$	$5.80 \pm 1.81^{ab}$
0.2	$4.80 \pm 1.64^a$	$5.20 \pm 0.84^a$	$5.60 \pm 0.55^{ab}$	$5.60 \pm 0.89^{ab}$	$6.00 \pm 0.71^{ab}$
0.3	$5.00 \pm 0.89^a$	$5.40 \pm 1.87^a$	$5.40 \pm 0.55^{ab}$	$5.60 \pm 0.55^{ab}$	$5.80 \pm 0.84^{ab}$
ปีเอชที่ 0.01	$4.20 \pm 1.30^a$	$4.80 \pm 1.92^a$	$4.20 \pm 2.28^b$	$4.40 \pm 0.89^b$	$4.20 \pm 1.64^b$
ตัวอย่างควบคุม	$5.00 \pm 1.58^a$	$6.00 \pm 1.41^a$	$6.00 \pm 0.70^a$	$6.20 \pm 1.30^a$	$6.60 \pm 1.14^a$

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเดิมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน 1-9; คะแนน = 1 หินน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หินมากที่สุด

**ตารางที่ 4.16** คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุกที่เดิมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของ สารสกัดเมล็ดส้ม เขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุก ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$4.80 \pm 0.45^b$	$5.60 \pm 1.52^{ab}$	$6.20 \pm 1.09^{ab}$	$6.60 \pm 1.34^a$	$7.00 \pm 0.71^a$
0.1	$5.20 \pm 0.45^a$	$5.40 \pm 2.30^a$	$5.60 \pm 1.14^a$	$6.20 \pm 0.84^a$	$6.20 \pm 1.30^{ab}$
0.2	$5.40 \pm 0.55^a$	$4.60 \pm 0.55^a$	$5.60 \pm 1.14^a$	$5.60 \pm 0.55^a$	$6.20 \pm 0.84^{ab}$
0.3	$5.40 \pm 0.89^a$	$5.00 \pm 2.24^a$	$5.40 \pm 1.14^a$	$5.60 \pm 1.14^a$	$6.40 \pm 0.89^{ab}$
ปีเอชที่ 0.01	$4.60 \pm 0.55^a$	$4.60 \pm 0.55^a$	$4.80 \pm 0.84^a$	$5.00 \pm 0.71^a$	$5.00 \pm 1.41^a$
ตัวอย่างควบคุม	$5.50 \pm 0.71^b$	$6.00 \pm 1.58^{ab}$	$6.60 \pm 1.14^{ab}$	$6.80 \pm 1.92^{ab}$	$7.40 \pm 1.52^a$

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเดิมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน 1-9; คะแนน = 1 หินน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หินมากที่สุด

ตารางที่ 4.17 และ 4.18 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น หินของกุนเชียงดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°C ตามลำดับ และตารางที่ 4.19 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหินของกุนเชียงสุก จากผลการทดลองในตาราง ทั้ง 3 ตาราง พบว่าหลังจากเก็บรักษาตัวอย่างกุนเชียงเป็นเวลา 28 วัน กุนเชียงที่เดิมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการเก็บรักษา จะมีคะแนนของกลิ่นหินใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เดิมบีเอชทีมากที่สุด เมื่อพิจารณาผลการทดสอบด้านกลิ่นหินร่วมกับผลการวิเคราะห์ค่า TBARS (ค่า TBARS เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเกิดกลิ่นหินในผลิตภัณฑ์) หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน ซึ่งจากผลการทดลองในหัวข้อ 4.4.1 พบว่ากุนเชียงดิบและสุกที่เดิมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและกุนเชียงดิบที่เดิมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยมีค่า TBARS ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ภาพที่ 4.30-4.32) ผลการทดลองดังกล่าวมีแนวโน้มและทิศทางเดียวกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหิน กล่าวคือ กุนเชียงที่เดิมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการทดลองจะมีคะแนนด้านกลิ่นหินต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ดังนั้นเพื่อให้การใช้สารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีที่สุด และใกล้เคียงกับบีเอชทีมากที่สุด จึงเลือกสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.2% โดยน้ำหนัก สำหรับในผลิตภัณฑ์กุนเชียงการทดลองหัวข้อถัดไป

**ตารางที่ 4.17** คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุ้งแช่แข็งที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของ สารสกัดเมล็ดส้ม เขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของกุ้งแช่แข็ง ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	4.73±1.16 <sup>b</sup>	5.66±1.04 <sup>ab</sup>	5.86±0.91 <sup>a</sup>	6.20±2.11 <sup>a</sup>	6.40±1.16 <sup>a</sup>
0.1	4.80±1.14 <sup>b</sup>	5.40±0.98 <sup>ab</sup>	5.80±0.94 <sup>a</sup>	6.06±1.70 <sup>a</sup>	6.26±1.38 <sup>a</sup>
0.2	5.20±1.01 <sup>a</sup>	5.46±0.83 <sup>a</sup>	5.33±1.04 <sup>a</sup>	5.33±1.04 <sup>a</sup>	5.73±1.38 <sup>a</sup>
0.3	5.00±1.06 <sup>a</sup>	5.53±1.06 <sup>a</sup>	5.26±0.79 <sup>a</sup>	5.40±1.40 <sup>a</sup>	5.40±1.18 <sup>a</sup>
บีเอชที 0.01	4.60±0.73 <sup>a</sup>	5.00±0.92 <sup>a</sup>	5.06±1.03 <sup>a</sup>	5.00±1.30 <sup>a</sup>	5.13±0.74 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	5.20±0.86 <sup>c</sup>	5.73±1.43 <sup>bc</sup>	5.80±1.20 <sup>bc</sup>	6.40±1.40 <sup>ab</sup>	6.86±1.55 <sup>a</sup>

- หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา
2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน 1-9; คะแนน = 1 หินน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หินมากที่สุด

**ตารางที่ 4.18** คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุ้งแช่แข็งที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C

ความเข้มข้นของ สารสกัดเมล็ดส้ม เขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของกุ้งแช่แข็ง ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	4.53±1.06 <sup>c</sup>	5.26±0.59 <sup>bc</sup>	5.86±1.24 <sup>ab</sup>	6.06±1.09 <sup>a</sup>	6.13±0.99 <sup>a</sup>
0.1	4.46±1.30 <sup>b</sup>	5.13±1.45 <sup>ab</sup>	5.73±1.70 <sup>a</sup>	5.73±1.27 <sup>a</sup>	6.06±1.09 <sup>a</sup>
0.2	4.53±1.40 <sup>b</sup>	5.00±1.46 <sup>ab</sup>	5.33±0.81 <sup>ab</sup>	5.53±0.74 <sup>a</sup>	5.53±1.12 <sup>a</sup>
0.3	4.60±1.40 <sup>a</sup>	5.00±1.77 <sup>a</sup>	5.26±1.38 <sup>a</sup>	5.53±1.18 <sup>a</sup>	5.53±0.91 <sup>a</sup>
บีเอชที 0.01	4.00±1.69 <sup>b</sup>	5.00±1.00 <sup>a</sup>	5.06±0.79 <sup>a</sup>	5.33±0.60 <sup>a</sup>	5.46±0.74 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	4.60±1.05 <sup>c</sup>	5.40±0.91 <sup>bc</sup>	6.06±0.88 <sup>ab</sup>	6.26±1.38 <sup>a</sup>	6.40±1.24 <sup>a</sup>

- หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา
2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน
3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน 1-9; คะแนน = 1 หินน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หินมากที่สุด

ตารางที่ 4.19 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของ สารสกัดเมล็ดส้ม เขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของกุนเชียงสุก ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	5.06±0.59 <sup>b</sup>	5.93±0.88 <sup>ab</sup>	5.93±2.08 <sup>ab</sup>	6.33±1.34 <sup>a</sup>	6.46±0.52 <sup>a</sup>
0.1	5.13±1.24 <sup>b</sup>	5.73±1.62 <sup>ab</sup>	6.06±0.70 <sup>ab</sup>	6.06±1.22 <sup>ab</sup>	6.60±1.12 <sup>a</sup>
0.2	5.20±0.67 <sup>b</sup>	5.33±0.72 <sup>ab</sup>	5.73±0.88 <sup>ab</sup>	5.86±0.91 <sup>ab</sup>	6.00±1.41 <sup>a</sup>
0.3	5.40±0.74 <sup>a</sup>	5.86±1.24 <sup>a</sup>	5.86±1.24 <sup>a</sup>	6.00±1.19 <sup>a</sup>	6.00±1.19 <sup>a</sup>
บีเอชที 0.01	4.20±1.12 <sup>b</sup>	4.80±0.56 <sup>ab</sup>	4.86±0.79 <sup>ab</sup>	5.13±1.12 <sup>a</sup>	5.20±1.26 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	5.40±1.24 <sup>b</sup>	6.06±1.66 <sup>ab</sup>	6.33±1.17 <sup>ab</sup>	6.53±1.64 <sup>ab</sup>	6.80±1.65 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน 1-9; คะแนน = 1 หีนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หีนมากที่สุด

#### 4.5 ผลของการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานในหมูแผ่นและกุนเชียงต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส

จากการทดสอบสมบัติการด้านปฏิกริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานในหัวข้อ 4.2-4.4 พบว่าการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1% โดยน้ำหนัก เติมลงในส่วนผสมของหมูแผ่นจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ดังนั้นจึงใช้ระดับของสารสกัดดังกล่าวเติมลงในส่วนผสมของหมูแผ่น และทำการผลิตหมูแผ่นตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.4.3.2 จนกระทั่งได้หมูแผ่นดิบและนำมาทำให้สุกด้วยการอบที่อุณหภูมิ 200°C จนกระทั่งสุก จากนั้นนำหมูแผ่นสุกที่ได้มาทดสอบการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวมของผู้ทดสอบ โดยใช้วิธีทดสอบแบบ hedonic scale test แบ่งระดับคะแนนเป็น 7 ระดับ คือ 1 = ไม่ชอบมาก ถึง 7 = ชอบมาก (ภาคผนวก ข.) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.20

**ตารางที่ 4.20** การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมูแผ่น

ลักษณะทดสอบ	ตัวอย่างควบคุม	สารสกัดกระเจี๊ยบแดง 0.3%	สารสกัดเปลือกส้มเขียวหวาน 0.1%	สารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวาน 0.1%
สี	6.50±0.55 <sup>a</sup>	4.83±1.72 <sup>b</sup>	6.30±0.52 <sup>a</sup>	6.12±0.76 <sup>a</sup>
กลิ่น	5.12±1.33 <sup>a</sup>	4.83±1.17 <sup>a</sup>	4.50±1.64 <sup>a</sup>	4.50±1.52 <sup>a</sup>
รสชาติ	5.83±0.98 <sup>a</sup>	4.83±1.47 <sup>ab</sup>	4.33±1.21 <sup>b</sup>	1.17±0.52 <sup>c</sup>
การยอมรับรวม	6.00±1.09 <sup>a</sup>	4.50±1.05 <sup>b</sup>	4.50±0.84 <sup>b</sup>	1.83±0.75 <sup>c</sup>

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.20 แสดงการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1% โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม จะเห็นได้ว่าหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก มีคะแนนความชอบด้านสีแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม เนื่องจากหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับดังกล่าวจะมีพีเอชอยู่ในช่วง 5-6 ซึ่งที่พีเอชในช่วงนี้รงควัตถุแอนโทไซยานินที่เป็นองค์ประกอบหลักในกระเจี๊ยบแดงจะมีสีแดงม่วง(หัวข้อ 4.2.3) ดังนั้นสีของหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงจึงมีสีแดงคล้ำกว่าตัวอย่างควบคุม ทำให้คะแนนความชอบด้านสีของหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ ) สำหรับหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1% โดยน้ำหนัก มีคะแนนความชอบด้านสีไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ในกรณีของกลิ่นหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม( $p \geq 0.05$ ) สำหรับรสชาติและการยอมรับรวมของหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงมีคะแนนความชอบด้านรสชาติใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม แต่คะแนนการยอมรับรวมแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากสีของหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงมีสีแดงคล้ำเกินไปทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ ดังนั้นจึงทำให้คะแนนการยอมรับรวมค่อนข้างต่ำ ในกรณีของหมูแผ่นที่เติมสารสกัดเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน มีคะแนนความชอบด้านรสชาติและการยอมรับรวมแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากหมูแผ่นที่เติมสารสกัดเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานมีรสชาติขมทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ ดังนั้นคะแนนการยอมรับรวมของหมูแผ่นที่เติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานจึงค่อนข้างต่ำ สำหรับคะแนนการยอมรับรวมของหมูแผ่นที่เติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานอยู่ในระดับต่ำมาก ซึ่งเป็นระดับที่ผู้ทดสอบไม่ชอบมาก

จากการทดสอบสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานในหัวข้อ 4.3-4.4 พบว่าการใช้สารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ

0.2% โดยน้ำหนัก เติมลงในส่วนผสมของกุนเชียงจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ดังนั้นจึงใช้ระดับของสารสกัดดังกล่าวเติมนลงในส่วนผสมของกุนเชียง และทำการผลิตกุนเชียงตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.4.3.3 จนกระทั่งได้กุนเชียงดิบและนำมาทำให้สุกด้วยการอบที่อุณหภูมิ 200°C จนกระทั่งสุก จากนั้นนำกุนเชียงสุกที่ได้มาทดสอบการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวมของผู้ทดสอบ โดยใช้วิธีทดสอบแบบ hedonic scale test แบ่งระดับคะแนนเป็น 7 ระดับ คือ 1 = ไม่ชอบมาก ถึง 7 = ชอบมาก (ภาคผนวก ข.) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กุนเชียง

ลักษณะทดสอบ	ตัวอย่างควบคุม	สารสกัดเปลือก	สารสกัดเมล็ด
		ส้มเขียวหวาน 0.2%	ส้มเขียวหวาน 0.2%
สี	5.70±1.25 <sup>a</sup>	5.90±1.28 <sup>a</sup>	5.70±1.41 <sup>a</sup>
กลิ่น	6.00±0.94 <sup>a</sup>	5.30±1.56 <sup>a</sup>	5.60±1.07 <sup>a</sup>
รสชาติ	5.70±0.98 <sup>a</sup>	4.50±0.52 <sup>b</sup>	3.70±1.21 <sup>b</sup>
การยอมรับรวม	5.90±0.56 <sup>a</sup>	4.50±1.71 <sup>b</sup>	4.20±1.81 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.21 แสดงผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกุนเชียงที่เติมสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.2% โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม จะเห็นได้ว่า คะแนนความชอบด้านสีและกลิ่นของกุนเชียงที่เติมสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \geq 0.05$ ) สำหรับคะแนนความชอบด้านรสชาติและการยอมรับรวมของกุนเชียงที่เติมสารสกัดทั้งสองชนิดแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากกุนเชียงที่เติมสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานมีรสชาติขมทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ

ในกรณีของหมูแผ่นและกุนเชียงที่เติมสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน มีรสชาติขมนั้นเป็นผลมาจากความขมของสารประกอบในกลุ่มของลิโมนอยด์(limonoids) เช่น ลิโมนิน(limonin) และโนมิลิน(nomilin) ซึ่งมีอยู่ในสารสกัดเมื่อนำมาเติมในผลิตภัณฑ์จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติขม ดังนั้นถ้าจะนำสารสกัดทั้ง 2 ชนิดมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารควรจะแยกส่วนของสารประกอบในกลุ่มของลิโมนอยด์ออกก่อน ปัจจุบันมีวิธีกำจัดความขมของสารประกอบในกลุ่มของลิโมนอยด์หลายวิธีด้วยกัน เช่น การใช้เรซิน(resins) และสารดูดซับ(adsorbents) ตัวอย่างของเรซินและสารดูดซับที่นิยมใช้ได้แก่ โพลีเอไมด์เรซิน(polyamideresins) และเซลลูโลส

ไตรอะซิเทต(cellulose triacetate) อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือการใช้ออนไซม์ย่อยสลายสารขมลิโมนิน เอนไซม์ที่ใช้กันมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดคือ เอนไซม์ลิโมนิน ดีไฮโดรจีเนส(limonin dehydrogenase) และนารินจีเนส(naringinase) สำหรับวิธีสุดท้ายคือการใช้วิธีการของ supercritical extraction สกัดแยกส่วนของลิโมนอยด์ออก

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ 2 ชนิดคือหมูแผ่นและกุนเชียง พบว่า หมูแผ่นที่ผลิตได้มีปริมาณไขมันเท่ากับ  $10.67 \pm 0.05\%$  ความชื้นเท่ากับ  $24.69 \pm 0.95\%$  และค่าออกซิเจนเปอร์เซ็นต์เท่ากับ  $0.73 \pm 0.02$  ส่วนกุนเชียงที่ผลิตได้มีปริมาณไขมันเท่ากับ  $21.49 \pm 2.30\%$  ความชื้นเท่ากับ  $29.90 \pm 0.78\%$  และค่าออกซิเจนเปอร์เซ็นต์เท่ากับ  $0.77 \pm 0.03$

2. จากการศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่นและกุนเชียง พบว่า การใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ  $0.3\%$  โดยน้ำหนัก เติมลงในส่วนผสมของหมูแผ่นทั้งดิบและสุกจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม แต่การใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเติมนลงในส่วนผสมของกุนเชียงทั้งดิบและสุก จะไม่มีผลในการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันแต่มีผลในการเป็นโปรออกซิแดนซ์ สำหรับการใส่สารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ  $0.1\%$  และ  $0.2\%$  โดยน้ำหนัก เติมนลงในส่วนผสมของหมูแผ่นและกุนเชียงทั้งดิบและสุกจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามการใช้สารสกัดทั้ง 3 ชนิดที่ระดับดังกล่าวยังคงมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันต่ำกว่าการใช้บีเอชที  $0.01\%$  โดยน้ำหนัก

3. จากการศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ เมื่อเติมสารสกัดทั้ง 3 ชนิดลงในส่วนผสมของหมูแผ่นและกุนเชียง พบว่าผู้ทดสอบจะยอมรับผลิตภัณฑ์หมูแผ่นและกุนเชียงตัวอย่างควบคุมมากกว่า เนื่องจากหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ  $0.3\%$  โดยน้ำหนัก มีสีแดงคล้ำกว่าตัวอย่างควบคุมทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับดังกล่าว สำหรับหมูแผ่นและกุนเชียงที่เติมสารสกัดเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ  $0.1\%$  และ  $0.2\%$  โดยน้ำหนักมีรสชาติขมมาก ซึ่งแตกต่างจากหมูแผ่นและกุนเชียงตัวอย่างควบคุม ทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับหมูแผ่นและกุนเชียงที่เติมจากสารสกัดเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับดังกล่าว

## บรรณานุกรม

- ชัยณรงค์ คันธนมิตร. 2529. วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมี่อาหาร. กรุงเทพฯ: โอ เอส พริ้นติ้งเฮ้าส์.
- นิธิยา รัตนาปนนท์ และลักขณา รุจิไกรกานต์. 2541. หลักการวิเคราะห์อาหาร. เชียงใหม่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.
- นวลศรี รักษาริษธรรม และอัญญา เจนวิจิตรธรรม. 2545. แอนติออกซิเดนท์ สารต้านมะเร็งในผัก สมุนไพรไทย. เชียงใหม่: นพบุรีการพิมพ์.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2539. อาหารกึ่งแห้ง. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม และวันทนีย์ ช้างน้อย. 2545. การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเมล็ดพืชตระกูล สัมชนิดต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย. *อาหาร*. 32(4): 300-307.
- ปาริชาติ สักกะทำนุ. 2543. สัมเม็ด ฟลาโวนอยด์และวิตามินซีเสริมสุขภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: รวมทรรศน์.
- ศิวาพร ศิวเวชช. 2529. วัตถุเจือปนอาหาร เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- AOAC. **Official Method of Analysis**. 1995. 16<sup>th</sup> ed. The association of analysis chemists, Arlington, Virginia.
- Abuja, P.M., Murkovic, M. and Pfannhauser, W. 1998. Antioxidant and prooxidant activities of elderberry(*Sambucus nigra*) extract in low-density lipoprotein oxidation. **J. Agric Food Chem.** 46(10):4091-4096.
- Abu-Tarboush, H. M. 1994. Antibacterial effect of roselle(*Hibiscus Sabdariffa* L.) and its relation to pH. **Egypt J. Food Sci.** 22(2): 317-322.
- Ayaz, M., Luedecke, L.O. and Branen, A.L. 1980. Antimicrobial effect of butylated hydroxyanisole and butylated hydroxytoluene on *Staphylococcus aureus*. **J. Food Prot.** 43(1): 4-6.
- Benavente-Garcia, O.B., Castillo, J., Marin, F.R., Ortuno, A. and Del Rio, J.A. 1997. Uses and properties of citrus flavonoids. **J. Agric. Food Chem.** 45(12): 4505-4515.

- Bocco, A., Cuvelier, M.E., Richard, H. and Berset, C. 1998. Antioxidant activity and phenolic composition of citrus peel and seed extract. **J. Agric. Food Chem.** 46(6): 2123-2129.
- Braddock, R. J. 1995. By-products of citrus fruit. **Food Technol.** 49(9): 74-77.
- Bridle, P. and Timberlake, C.F. 1997. Anthocyanins as natural food colours-selected aspects. **Food Chem.** 58(1-2): 103-109.
- Braddock, R.J. and Cadwallader, K. R. 1992. Citrus by-products manufacture for food use. **Food Technol.** 46(2): 105-110.
- Chewonarin, T., Kinouchi, T., Kataoka, K., Arimochi, H., Kuwahara, T., Vinitketkumnuen, U. and Ohnishi, Y. 1999. Effect of roselle (*Hibiscus sabdariffa* Linn), a Thai medicinal plant, on the mutagenicity of various known mutagens in *Salmonella typhimurium* and on formation of aberrant crypt foci induced by the colon carcinogens azoxymethane and 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b] pyridine in F344 rats. **Food Chem. Toxicol.** 37(6): 591-601.
- Curl, A.L. and Bailey, G. F. 1956. Comparison of carotenoids of valencia orange peel and pulp. **J. Agric. Food Chem.** 4(2): 156-159.
- Das, N.P. and Pereira, T.A. 1990. Effects of flavonoids on thermal autoxidation of palm oil: structure-activity relationships. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 67(4): 255-258.
- Davidson, P.M. 1993. Parabens and phenolic compounds. In **Antimicrobials in food**, 2<sup>nd</sup> ed., edited by Davidson, P.M. and Brannen, A.L., New York, Marcel Dekker, pp 263-306.
- Du, C.T. and Francis, F. J. 1973. Anthocyanins of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). **J. Food Sci.** 38(5): 810-812.
- Duh, P.D. and Yen, G.C. 1997. Antioxidative activity of three herbal water extracts. **Food Chem.** 60(4): 639-645.
- Duffy, C.F. and Power, R.F. 2001. Antioxidant and antimicrobial properties of some Chinese plant extracts. **Int J. of Antimicrobial Agent.** 17(6): 527-529.
- El-Shayeb, N.M.A. and Mabrouk, S.S. 1984. Utilisation of some edible and medicinal plants to inhibit aflatoxin formation. **Nutr. Reports Int.** 29(2): 273-282.
- Erickson, M.C. 1997. Lipid oxidation of muscle food. In **Food Lipids(chemistry, nutrition and biotechnology)**, edited by Akoh, C.C. and Min, D.B., New York, Marcel Dekker. pp 297-332.

- Fernandez-Lopez, J., Fernandez-Gines, J.M., Aleson-Carbonell, L., Sendra, E. and Sayas-Barbera E. 2004. Application of functional citrus by-products to meat products. **Trends Food Sci. Technol.** 15(3-4): 176-185.
- Frankel, E.N. 1996. Antioxidants in lipid foods and their impact on food quality. **Food Chem.** 57(1): 51-55.
- Frankel, E.N. 1993. In search of better method to evaluate natural antioxidants and oxidative stability in food lipid. **Trends Food Sci. Technol.** 4(6): 220-225.
- Fukumoto, L.R. and Mazza, G. 2000. Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. **J. Agric. Food Chem.** 48(8): 3597-3604.
- Gorinstein, S., Martin-Belloso, O., Park, Y.S. Haruenkit, R., Lojek, A., Ciz, M., Caspi, A., Libman, I. and Tralchtenberg, S. 2001. Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruit. **Food Chem.** 74(2): 309-315.
- Govindarajan, S. 1973. Fresh meat color. **CRC Crit. Rev. Food Technol.** 4(1): 117-140.
- Greene, B.E. and Price, L. 1975. Oxidation induced color and flavor changes in meat. **J. Agric. Food Chem.** 23(2): 164-167.
- Huang, T.C. and Nip, W.K. 2001. Intermediate moisture meat and dehydrated meat. In **Meat science and application**, edited by Hui, Y.H., Nip, W.K, Rogers, R.W. and Yong, O.A., New York, Mercel Dekker. pp 403-442.
- Jamilah, B., Che-Man, Y.B. and Ching, T.L. 1998. Antioxidant activity of *Citrus hystrix* peel extract in RBD palm olein during frying of fish crackers. **J. Food lipids.** 5(2): 149-157.
- Jayaprakasha, G.K., Negi, P.S., Sikder, S., Mohanrao, L.J. and Sakariah, K.K. 2000. Antibacterial activity of *Citrus Reticulata* peel extracts. **Z. Naturforsch-C**(Journal of Bioscience). 55(11-12): 1030-1034.
- Kahkonen, M.P. and Heinonen, M. 2003. Antioxidant activity of anthocyanins and their aglycons. **J. Agric. Food Chem.** 51(3): 628-633.
- Kanner, J. 1994. Oxidative processes in meat and meat products: quality implication. **Meat Sci.** 36(1): 169-189.
- Kochhar, S.P. 1996. Oxidative pathways to the formation of off-flavours. In **Food taint and off-flavors**, 2<sup>nd</sup> ed., edited by Saxby, M.J., London, Champman and Hall. pp 168-225.
- Labuza, T.P., Macnally, L., Gallagher, D., Hawkes, J. and Hurtado, F. 1972. Stability of intermediate moisture foods 1. lipid oxidation. **J. Food Sci.** 37(1): 154-159.

- Larrauri, J.A., Ruperez, P., Bravo, L. and Calixto, F.S. 1996. High dietary fibre powders from orange and lime peels: associated polyphenols and antioxidant capacity. **Food Res Int.** 29(8): 757-762.
- Lee, M.J., Chou, F.P., Tseng, T.H., Hsieh, M.H., Lin, M.C. and Wang C.J. 2002. *Hibiscus* protocatechuic acid or esculetin can inhibit oxidative LDL induced by either copper ion or nitric oxide donor. **J. Agric. Food Chem.** 50(7): 2130-2136.
- Macheix, J.J., Fleuriet, A. and Billot, J. 1990. **Fruit phenolics**. Florida. CRC Press.
- Meilgaard, M., Civille, G.V. and Carr, B.T. 1987. **Sensory evaluation techniques I**. Florida. CRC Press.
- Milic, B.L., Djilas, S.M. and Canadanovic-Brunet, J.M. 1998. Antioxidative activity of phenolic compound on the metal-ion breakdown of lipid peroxidation system. **Food Chem.** 61(4): 443-447.
- Mishra, M., Shukla, Y.N., Jain, S.P. and Kumar, S. 1999. Chemistry and pharmacology of some *Hibiscus spp.*- a review. **J. of Medicinal and Aromatic Plant Science.** 21(4): 1169-1186.
- Mitsumoto, M., Faustman, C., Cassens, R.G., Arnold, R.N., Schaefer, D.M. and Scheller, K.K. 1991. Vitamins E and C improve pigment and lipid stability in ground beef. **J. Food Sci.** 56(1): 194-197.
- Moure, A., Cruz, J.M., Franco, D., Dominguez, J.M., Sineiro, J., Dominguez, H., Nunez, M.J. and Parajo, J.C. 2001. Natural antioxidants from residual sources. **Food Chem.** 72(2): 145-171.
- Nagata, Y., Yoza, K.I., Kusumoto, K.I., Kohyama, N., Sekiya, K. and Ohta, H. 1996. Screening for inhibitory activity of citrus fruit extracts against platelet cyclooxygenase and lipoxygenase. **J. Agric. Food Chem.** 44(3): 725-729.
- Pearson, A.M. and Gillett, T.A. 1996. **Processed meats**. 3<sup>rd</sup> ed. New York. Chapman and Hall.
- Ramanathan, L. and Das, N.P. 1992. Studies on the control of lipid oxidation in ground fish by some polyphenolic natural products. **J. Agric. Food Chem.** 40(1): 17-21.
- Ramaswamy, A.S., Jayaraman, S., Sirsi, M. and Rao, K.H. 1972. Antibacterial action of some naturally occurring citrus bioflavonoids. **Indian J. Exp. Biol.** 10(1): 72-73.
- Rhee, K.S., Anderson, L.M. and Sams, A.R. 1996. Lipid oxidation potential of beef, chicken, and pork. **J. Food Sci.** 61(1): 8-12.

- Rice-Evans, C.A., Miller, N.J. and Paganga, G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends in Plant Sci.** 2(4): 152-159.
- Rikert, J.A., Bressler, L., Ball, C.O. and Stier, E.F. 1957. Factors affecting quality of prepackaged meat II. Color studies. B. effects of storage time, storage temperature, antioxidants, bacteria, light, freezing and fat upon color of product. **Food Technol.** 11(11): 567-573.
- Shahidi, F., Rubin, L.J., Diosady, L.L. and Wood, D.F. 1985. Effect of sulfanilamide on the TBA values of cured meats. **J. Food Sci.** 50(7): 274-275.
- Shih, A. and Harris, N.D. 1977. Antimicrobial activity of selected antioxidants. **J. Food Prot.** 40(8): 520-522.
- Tanizawa, H., Ohkawa, Y., Takino, Y., Miyase, T., Ueno, A., Kageyama, T. and Hara, S. 1992. Studies on natural antioxidants in citrus species I. Determination of antioxidative activities of citrus fruits. **Chem. Pharm. Bull.** 40(7): 1940-1942.
- Tinsley, I.J. and Bockian, A.H., 1960. Some effects of sugars on the breakdown of pelargonidin-3-glucoside in model systems at 90°C. **Food Res.** 25(2): 161-173.
- Tee, P.L., Yusof, S. and Mohamed. 2002. Antioxidative properties of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in linolic acid model system. **Nutr. Food Sci.** 32(1): 17-20.
- Tsai, P.J., Mcintosh, J., Pearce, P., Camden, B. and Jordan, B.R. 2002. Anthocyanin and antioxidant capacity in roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L.) extract. **Food Res Int.** 35(4): 351-356.
- Tseng, T.H., Kao, E.S. Chu, C.Y., Chou, F.P. Lin Wu, H.W. and Wang, C.J. 1997. Protective effects of dried flower extracts of *Hibiscus Sabdariffa* L. against oxidative stress in rat primary hepatocytes. **Food Chem. Toxicol.** 35(1): 1159-1164.
- Wanasundara, U.N. and Shahidi, F. 1994. Stabilization of canola oil with flavonoids. **Food Chem.** 50(4): 393-396.
- Wang, C.J., Wang, J.M., Lin, W.L. Chu, C.Y., Chou, F.P. and Tseng, T.H. 2000. Protective effect of *Hibiscus* anthocyanins against ter-butyl hydroperoxide-induced hepatic toxicity in rats. **Food Chem. Toxicol.** 38(6): 411-416.
- Wang, F.S., Jiang, Y.N. and Lin, C.W. 1995. Lipid and cholesterol oxidation in Chinese-style sausage using vacuum and modified atmosphere packaging. **Meat Sci.** 40(1): 93-101.

- Williams, N. and Harris, N.D. 1985. Antioxidant activity in dried orange. **J. Food Sci.** 48(2): 644-645.
- Witte, V.C., Krause, G.F. and Bailey, M.E. 1970. A new extraction method for determining-2 thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. **J. Food Sci.** 35(1): 582-585.
- Wong, P.K., Yusof, S., Ghazali, H.M. and Che Man, Y.B. 2002. Physico-chemical characteristics of roselle(*Hibiscus Sabdariffa* L.). **Nutr. Food Sci.** 32(2): 68-73.
- Yen, W.J. and Chen, B.H. 1995. Isolation of xanthophylls from Taiwanese orange peels and their effects on the oxidation stability of soybean oil. **Food Chem.** 53(4): 471-425.
- Zipser, M.W. and Watts, B.M. 1962. A modified 2-thiobarbituric acid(TBA) method for the determination of malonaldehyde in cured meats. **Food Technol.** 16(7): 102-104.

## ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก.

### วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์

#### 1. ความชื้น(AOAC, 1995)

ชั่งตัวอย่างอาหารประมาณ 5 กรัมใส่ลงในจานโลหะที่ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำจานโลหะไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 102-105°C นาน 3 ชั่วโมง นำตัวอย่างออกมาจากตู้อบและปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก นำไปอบซ้ำหลายๆ ครั้งจนได้น้ำหนักคงที่ซึ่งค่าที่ได้ต้องไม่แตกต่างกันเกิน 0.05 กรัม ชั่งน้ำหนักของของแข็งที่เหลืออยู่และคำนวณหา น้ำหนักที่หายไปโดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}-\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

#### 2. Water Activity(Thermoconstanter)

- 2.1 หมุนปุ่มสี่เหลี่ยมของเครื่อง thermoconstanter ในตำแหน่งที่ (1)
- 2.2 นำดิสก์พลาสติก(sample cup) มาใส่ตัวอย่างให้ได้ปริมาตรประมาณ 80-90%
- 2.3 นำดิสก์ตัวอย่างมาใส่ไว้ใน measuring chamber และปิดฝาให้เรียบร้อย
- 2.4 ตั้งอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ เช่น ถ้าต้องการควบคุมตัวอย่างให้ได้ 25°C ก็ให้ตั้งปุ่มสี่เหลี่ยมตรงขวามือให้ได้หมายเลข 190 เป็นต้น
- 2.5 จากนั้นรอนจนกระทั่งอ่านอุณหภูมิได้ตามที่ตั้งไว้ และ relative humidity ของอากาศที่วัดได้อยู่ในสภาวะที่สมดุลกับตัวอย่างสภาวะนี้เรียกว่า equilibrium relative humidity (ERH) เมื่อหารด้วย 100 ก็จะได้ค่า  $a_w$  (water activity) ตามต้องการ

#### 3. ปริมาณไขมันทั้งหมด

- 3.1 เตรียมตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาปริมาณไขมันโดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 102-105°C
- 3.2 อบบีกเกอร์ไขมันจนแห้ง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน
- 3.3 ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว 10 กรัม ใส่ลงใน thimble ปิดด้านบนด้วยกระดาษกรอง
- 3.4 บรรจุ thimble ลงในชุดสกัดไขมัน soxhlet โดยให้ thimble อยู่ใน extraction tube ซึ่งด้านบนต่อกับคอนเดนเซอร์ ด้านล่างต่อกับ round bottom flask ชนิด 2 หรือ 3 คอ

- 3.5 ตวงปิโตรเลียมอีเทอร์จุดเดือด 40-60°C จำนวน 170 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ไขมัน เปิดน้ำเย็นให้ไหลผ่านคอนเดนเซอร์ เปิดสวิตซ์เตา heating mantle ปรับระดับความร้อนให้เหมาะสม เพื่อให้ไอของปิโตรเลียมอีเทอร์ควบแน่นลงบนตัวอย่างนาน 3 ชั่วโมง
- 3.6 แยกปิโตรเลียมอีเทอร์ออกโดยนำไประเหยในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100°C นาน 1 ชั่วโมงจากนั้นนำไปทำให้เย็นใน โถดูดความชื้นก่อนนำไปชั่งน้ำหนักของ crude fat และคำนวณเปอร์เซ็นต์ไขมันดังนี้

$$\% \text{ไขมัน} = \frac{(\text{น้ำหนักบีกเกอร์และไขมัน} - \text{น้ำหนักบีกเกอร์})}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

#### 4. การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์(peroxide value, PV) (นิรียาและลักษณะ, 2541; AOAC, 1995)

เป็นค่าที่ชี้วัดคุณภาพของอาหารประเภทไขมัน เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นเริ่มต้น โดยจะตรวจสอบสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์(hydroperoxide, ROOH) ที่เกิดขึ้น ซึ่งสารนี้เป็นผลิตภัณฑ์แรกที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆขณะที่ไขมันหรือน้ำมันสัมผัสกับอากาศ จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและลดลง เนื่องจากไฮโดรเปอร์ออกไซด์เกิดการแตกหักได้สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อจากนี้จะเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนที่สอง สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นไม่มีสีและกลิ่นรส ดังนั้นการตรวจวัดปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นทำได้โดยใช้ความสามารถของเปอร์ออกไซด์ทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไอโอไดด์ ได้เป็นไอโอดีน แล้วหาปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นโดยการไตเตรชันหรือไอโอดิเมตรี(iodimetry) ซึ่งค่าเปอร์ออกไซด์ที่ได้จะรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อกิโลกรัมของตัวอย่าง(milliequivalents(meq) of peroxide oxygen/kg of sample) โดยมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

- 4.1 ชั่งตัวอย่างจำนวน 10 กรัมใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 4.2 เติมสารละลายผสมระหว่าง กรดอะซีติก : คลอโรฟอร์ม(3 : 1) จำนวน 30 มิลลิลิตร
- 4.3 เติมสารละลายอิมตัวโปแตสเซียมไอโอไดด์จำนวน 0.5 มิลลิลิตร เขย่า 1 นาที
- 4.4 เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
- 4.5 เติมน้ำแข็ง 1% จำนวน 0.5 มิลลิลิตร สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน
- 4.6 ไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไรโอซัลเฟต 0.002 นอร์มอล จนสารละลายสีน้ำเงินจางหายไปและจดปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรท
- 4.7 ทำการวิเคราะห์อีกครั้งโดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง(blank)

#### 4.8 คำนวณค่า peroxide value(PV) จากสูตร

$$\text{ค่า PV (milliequivalent peroxide oxygen/ kg sample)} = \frac{(S-B) \times N \times 1000}{W}$$

เมื่อ S คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐาน โซเดียมโซ โยซัลเฟต 0.002 นอร์มอลที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง(มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐาน โซเดียมโซ โยซัลเฟต 0.002 นอร์มอลที่ใช้ในการไตเตรทน้ำกลั่น(มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน โซเดียมโซ โยซัลเฟตเป็นนอร์มอล

W คือ น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม

#### 5. การวิเคราะห์ค่า thiobarbituric acid reactive substance, TBARS(Wittle และคณะ, 1970: aqueous acid extraction method)

TBARS เป็นค่าที่ใช้วัดคุณภาพของอาหารประเภทไขมัน เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นตอนที่สอง หลังจากไฮโดรเปอร์ออกไซด์เกิดการแตกตัวได้เป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ สารที่เกิดขึ้นจะมีกลิ่นรส ได้แก่ อัลเคน(alkanes) อัลคีน(alkenes) อัลดีไฮด์(aldehydes) คีโตน(ketones) แอลกอฮอล์(alcohols) เอสเทอร์(esters) และกรด สารในกลุ่มนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีกลิ่นหืน การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ ทำได้โดยใช้หลักการของวิธีการวัดความเข้มสีของสีชมพูแดงที่ความยาวคลื่น 530-532 นาโนเมตร ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดโซโอบาร์บิทรिक(thiobarbituric) กับ oxidized lipids ได้เป็นสารประกอบที่มีสีชมพูแดง ซึ่งสารประกอบดังกล่าวเกิดจากปฏิกิริยา condensation ของมาโลนไดอัลดีไฮด์(malondialdehyde, MDA) กับกรดโซโอบาร์บิทรिक 2 โมเลกุล อย่างไรก็ตามการเกิดออกซิเดชันไม่จำเป็นต้องได้มาโลนไดอัลดีไฮด์เสมอไป เพราะสารประกอบประเภทแอลคานอล(alkanals) แอลคีนอล(alkenals) และ 2,4-ไดอีนาล(2,4-dienals) สามารถทำปฏิกิริยากับกรดโซโอบาร์บิทรिकได้และดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530-532 นาโนเมตรได้เช่นเดียวกับมาโลนไดอัลดีไฮด์ ดังนั้นจึงเปลี่ยนการเรียกชื่อวิธีการวิเคราะห์จาก TBA เป็น TBARS เนื่องจากการเรียกชื่อแบบเดิมจะหมายถึงสารมาโลนไดอัลดีไฮด์เพียงชนิดเดียว แต่ TBARS จะหมายถึงกลุ่มของสารดังกล่าวด้วย การรายงานผลการวิเคราะห์ค่า TBARS จะรายงานผลเป็น มิลลิกรัมของมาโลนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง(milligrams of malondialdehyde equivalents/kg of sample) โดยมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

- 5.1 ชั่งตัวอย่างที่บดหยาบแล้วจำนวน 10 กรัม ใส่ลงในฟาส์กรูบมะเฟือง
- 5.2 เติมสารละลายกรดไทรคลอโรโรอะซีติก 20% ที่ละลายในกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์จำนวน 50 มิลลิลิตร(สารละลายที่ใช้ต้องมีอุณหภูมิ 4<sup>o</sup>ซ)
- 5.3 ปั่นผสมตัวอย่างด้วยเครื่อง Homogenizer ที่ความเร็วสูงนาน 1.5 นาที
- 5.4 เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
- 5.5 กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 จนได้ส่วนใสจำนวน 50 มิลลิลิตร
- 5.6 บีบอัดส่วนใสที่กรองได้จำนวน 5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลอง เติมสารละลาย 0.005 โมลาร์ กรดไฮโอบาร์บิฟูริกจำนวน 5 มิลลิลิตร เขย่าด้วย vortex mixer 5 วินาที แล้วเก็บในที่มืด นาน 15 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง
- 5.7 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร
- 5.8 คำนวณค่า TBARS จากสูตร  
ค่า TBARS number (mg malondialdehyde/ kg sample) = 5.2 × absorbance

**6. การวิเคราะห์ค่า thiobarbituric acid reactive substance(Shahidi และคณะ(1985) ดัดแปลง จาก Zipser and watts, 1962: Distillation method) ตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง**

- 6.1 ชั่งตัวอย่างที่บดหยาบแล้วจำนวน 10 กรัมใส่ฟาส์กรูบมะเฟืองแล้วปั่นกับน้ำกลั่น 96.5 มิลลิลิตรนาน 2 นาที
- 6.2 ถ่ายตัวอย่างใส่ขวดกั้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริก 4 โมลาร์จำนวน 1.5 มิลลิลิตรและเติมสารละลายซัลฟานิลาร์ไมด์ 0.5% ที่ละลายในกรดไฮโดรคลอริก 20% จำนวน 2 มิลลิลิตร
- 6.3 นำตัวอย่างไปกลั่นจนได้ส่วนใสจำนวน 50 มิลลิลิตร(ใช้เวลา 30-45 นาที)
- 6.4 นำส่วนใสที่กลั่นได้จำนวน 5 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมกรดไฮโอบาร์บิฟูริก 0.02 โมลาร์ที่ละลายใน 90% กรดอะซีติกจำนวน 5 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดทดลอง
- 6.5 เขย่าสารละลายและจุ่มลงในอ่างน้ำเดือดนานประมาณ 35 นาที
- 6.6 เมื่อครบกำหนดเวลาทำให้เย็นลงภายในเวลา 10 นาที
- 6.7 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร
- 6.8 คำนวณค่า TBARS จากสูตร  
ค่า TBARS number (mg malondialdehyde/ kg sample) = 8.1 × absorbance

หมายเหตุ : เนื่องจากการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเติมลงในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ เนื้อสัตว์แล้วใช้วิธีการทดสอบ TBARS ด้วยวิธีการสกัดด้วยกรดไม่ได้(aqueous acid extraction

method : เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการตรวจสอบการเกิดออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์) เนื่องจากสารแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดงที่เติมลงในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จะละลายออกมาด้วยขณะทำการทดลอง ซึ่งทำให้การวัดค่าดูดกลืนแสงผิดพลาด(ที่ความยาวคลื่น 530-532 ดูดกลืนแสงสีชมพูแดง) ดังนั้นจึงใช้วิธีการกลั่นแทน(steam distillation method) แต่วิธีการกลั่นจะไม่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่มีสารประกอบประเภทไนเตรตและไนไตรต์อยู่ในส่วนผสม เนื่องจากสารนี้จะทำให้เกิด interfere ขณะกลั่นตัวอย่าง ดังนั้นจึงต้องเติมสารซัลฟานิลาร์ไมด์ขณะทำการทดลอง เพื่อลดการเกิด interfere แต่ไม่สามารถลดการเกิด interfere ได้ทั้งหมด

## 7. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

- 7.1 ชั่งตัวอย่างอาหาร 20 กรัม เติม 0.1% peptone water 180 มิลลิลิตร นำไปตีปั่นด้วยเครื่อง stomacher ด้วยความเร็วสูงนาน 2 นาที จะได้ตัวอย่างอาหารความเข้มข้น 1 : 10
- 7.2 เจือจางตัวอย่างอาหารให้ได้ความเข้มข้น  $10^{-2}$  โดยนำตัวอย่างอาหารจากข้อ 7.1 มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอด 0.1% peptone water 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันจะได้ตัวอย่างอาหารเข้มข้น  $10^{-2}$
- 7.3 ทำการเจือจางตัวอย่างอาหารตามวิธีในข้อ 7.2 จนได้ความเข้มข้นของตัวอย่างอาหารเท่ากับ  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  และ  $10^{-6}$  ตามลำดับ ตัวอย่างอาหารที่ได้จะใช้ในการทดลองต่อไป
- 7.4 หลอมอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar(PCA) แล้วแช่ใน water bath ที่อุณหภูมิ 45-50 °ซ
- 7.5 ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างอาหารที่ความเข้มข้น  $10^{-2}$  มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ
- 7.6 ทำการ pour plate โดยเท plate count agar ลงในจานเลี้ยงเชื้อ โดยใช้เทคนิคปิดเชื้อหมุนจานเลี้ยงเชื้อวนตามเข็มนาฬิกาอย่างน้อย 10 ครั้ง และทวนเข็มนาฬิกาอย่างน้อย 10 ครั้ง จากนั้นทิ้งไว้ให้อาหารแข็งตัว
- 7.7 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °ซ เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง
- 7.8 นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่เจริญบนผิวหน้าอาหารและที่เจริญฝังในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีจำนวนระหว่าง 30-300 โคโลนี
- 7.9 รายงานผลการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ต่อกรัมของตัวอย่างอาหาร โดยคูณจำนวนที่นับกับระดับความเจือจาง

## ภาคผนวก ข.

## แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

## แบบทดสอบ multiple comparison test

ชื่อผู้ทดสอบ ..... วันที่.....

คำแนะนำ : ท่านจะได้รับตัวอย่าง 6 ตัวอย่าง ที่มีรหัสกำกับไว้เพื่อทำการเปรียบเทียบในเรื่องกลิ่น  
 หิน และระดับความแตกต่างกับตัวอย่างอ้างอิงที่มีเครื่องหมาย R ที่ละตัวอย่างโดยทำเครื่องหมาย  
 ✓ ลงในช่องว่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง	กลิ่นหิน			ระดับความแตกต่าง				
	น้อยกว่า R	เท่ากับ R	มากกว่า R	ไม่มี	เล็กน้อย	ปานกลาง	มาก	มากพิเศษ

การแปลผลการทดสอบเป็นคะแนน

- |   |            |          |
|---|------------|----------|
| 1 | น้อยกว่า R | มากพิเศษ |
| 2 | น้อยกว่า R | มาก      |
| 3 | น้อยกว่า R | ปานกลาง  |
| 4 | น้อยกว่า R | เล็กน้อย |
| 5 | เท่ากับ R  |          |
| 6 | มากกว่า R  | เล็กน้อย |
| 7 | มากกว่า R  | ปานกลาง  |
| 8 | มากกว่า R  | มาก      |
| 9 | มากกว่า R  | มากพิเศษ |

## แบบทดสอบสำหรับ Hedonic scale test

ตัวอย่าง : ผลิตภัณฑ์หมูแผ่น

ชื่อ ..... วันที่.....

คำแนะนำ : โปรดทดสอบตัวอย่างต่อไปนี้ และให้คะแนนแสดงความพอใจในผลิตภัณฑ์

ชอบมาก	ให้คะแนนเท่ากับ	7
ชอบปานกลาง	ให้คะแนนเท่ากับ	6
ชอบเล็กน้อย	ให้คะแนนเท่ากับ	5
เฉยๆ	ให้คะแนนเท่ากับ	4
ไม่ชอบเล็กน้อย	ให้คะแนนเท่ากับ	3
ไม่ชอบปานกลาง	ให้คะแนนเท่ากับ	2
ไม่ชอบมาก	ให้คะแนนเท่ากับ	1

ทดสอบด้าน	ตัวอย่างทดสอบ			
สี				
กลิ่น				
รสชาติ				
การยอมรับรวม				

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ก.

ค่า CIE L\* และ CIE b\* ของหมูแผ่นและกุนเชียงที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง

ตารางที่ ค1. ค่า CIE L\* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°C) และ 4°C

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของสารสกัด กระเจี๊ยบแดง (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		1	7	14	21	28
30±3°C	0.05	<sup>a</sup> 45.89±0.91 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 46.83±2.91 <sup>a</sup>	<sup>ab</sup> 45.62±1.29 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.48±0.65 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.11±2.20 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 47.11±0.65 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.83±1.34 <sup>ab</sup>	<sup>abc</sup> 45.04±0.78 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 45.47±0.92 <sup>ab</sup>	<sup>a</sup> 44.92±1.35 <sup>b</sup>
	0.2	<sup>a</sup> 47.30±2.05 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.37±2.98 <sup>ab</sup>	<sup>c</sup> 43.51±0.12 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 43.03±0.78 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 43.68±1.38 <sup>b</sup>
	0.3	<sup>a</sup> 45.62±1.85 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.28±0.89 <sup>a</sup>	<sup>bc</sup> 44.01±0.61 <sup>a</sup>	<sup>ab</sup> 44.81±1.98 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 43.48±0.92 <sup>a</sup>
	ปีเอชที่ 0.01	<sup>a</sup> 46.13±3.80 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 46.44±0.12 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 46.04±0.80 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.65±0.83 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.60±0.71 <sup>a</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>a</sup> 47.35±2.15 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 46.36±0.13 <sup>ab</sup>	<sup>ab</sup> 45.47±1.02 <sup>ab</sup>	<sup>a</sup> 45.94±1.73 <sup>ab</sup>	<sup>a</sup> 44.41±0.82 <sup>b</sup>
4°C	0.05	<sup>a</sup> 46.35±1.65 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.34±0.25 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.61±2.06 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 46.30±1.65 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.98±1.72 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 46.08±1.08 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.27±3.68 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.97±2.65 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.95±0.52 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.14±0.14 <sup>a</sup>
	0.2	<sup>a</sup> 44.55±1.53 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.26±0.52 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.57±3.27 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.02±3.60 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.04±1.36 <sup>a</sup>
	0.3	<sup>a</sup> 43.92±2.30 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 43.76±3.42 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 43.84±0.45 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 43.64±0.93 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.11±0.86 <sup>a</sup>
	ปีเอชที่ 0.01	<sup>a</sup> 46.45±3.43 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.61±1.07 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.79±3.73 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.91±0.81 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.70±0.69 <sup>a</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>a</sup> 45.50±0.26 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.82±3.39 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.05±0.85 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.51±1.26 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.43±0.30

- หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขบวนการ แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
 2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)ของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 3. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)ของการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ จ7. ค่า CIE L\* ของกุนเชียงสุกที่เดิมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัด เมล็ดส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	41.71±0.07 <sup>ab</sup>	40.74±0.85 <sup>b</sup>	41.40±0.03 <sup>ab</sup>	42.39±1.25 <sup>ab</sup>	42.45±1.19 <sup>a</sup>
0.1	41.57±0.97 <sup>b</sup>	40.57±1.27 <sup>b</sup>	41.45±0.57 <sup>b</sup>	43.85±1.07 <sup>a</sup>	43.99±1.55 <sup>a</sup>
0.2	41.70±0.64 <sup>a</sup>	42.01±2.09 <sup>a</sup>	42.14±1.07 <sup>a</sup>	42.14±1.35 <sup>a</sup>	42.65±2.07 <sup>a</sup>
0.3	40.44±0.12 <sup>a</sup>	41.46±0.76 <sup>a</sup>	42.89±0.54 <sup>a</sup>	42.93±3.92 <sup>a</sup>	43.59±1.44 <sup>a</sup>
บีเอชที 0.01	40.96±0.81 <sup>a</sup>	40.86±1.29 <sup>a</sup>	41.48±0.81 <sup>a</sup>	43.02±1.93 <sup>a</sup>	43.05±2.21 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	41.11±2.07 <sup>b</sup>	40.71±1.37 <sup>b</sup>	41.45±1.11 <sup>ab</sup>	42.53±2.37 <sup>ab</sup>	44.10±1.32 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของการเติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ จ8. ค่า CIE b\* ของกุนเชียงสุกที่เดิมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัด เมล็ดส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	2.83±1.12 <sup>a</sup>	3.18±0.47 <sup>a</sup>	3.12±0.64 <sup>a</sup>	3.47±1.04 <sup>a</sup>	4.20±0.95 <sup>a</sup>
0.1	2.82±0.42 <sup>a</sup>	3.21±0.27 <sup>a</sup>	3.13±0.85 <sup>a</sup>	3.72±1.02 <sup>a</sup>	3.98±1.74 <sup>a</sup>
0.2	2.96±1.03 <sup>a</sup>	3.28±0.72 <sup>a</sup>	3.48±0.75 <sup>a</sup>	3.89±1.05 <sup>a</sup>	4.87±1.56 <sup>a</sup>
0.3	2.98±0.58 <sup>a</sup>	3.03±1.53 <sup>a</sup>	3.17±1.14 <sup>a</sup>	4.04±0.97 <sup>a</sup>	5.02±1.72 <sup>a</sup>
บีเอชที 0.01	2.89±0.38 <sup>a</sup>	3.08±0.67 <sup>a</sup>	3.08±0.95 <sup>a</sup>	3.72±1.02 <sup>a</sup>	4.32±1.38 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	2.61±0.53 <sup>b</sup>	2.65±0.47 <sup>b</sup>	2.82±0.26 <sup>b</sup>	3.42±2.04 <sup>ab</sup>	4.54±0.96 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของการเติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ ๑๖. ค่า CIE b\* ของกุนเชียงคิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°C) และ 4°C

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของสารสกัด เมล็ดส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		1	7	14	21	28
30±3°C	0.05	<sup>a</sup> 2.51±0.47 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.34±0.66 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.55±1.61 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 4.04±1.28 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 4.03±0.03 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 2.78±1.60 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.49±0.53 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.32±0.87 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.79±1.12 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.89±0.79 <sup>a</sup>
	0.2	<sup>a</sup> 3.10±0.99 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.32±0.34 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 4.14±1.79 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.97±1.47 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 4.01±0.57 <sup>a</sup>
	0.3	<sup>a</sup> 3.05±0.16 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 3.41±0.01 <sup>ab</sup>	<sup>a</sup> 3.93±0.71 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.82±0.18 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 4.02±0.28 <sup>a</sup>
	บีมืดที่ 0.01	<sup>a</sup> 3.15±0.79 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 2.82±0.68 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.07±1.07 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.47±0.89 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 4.11±1.97 <sup>a</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>a</sup> 3.01±0.53 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.60±0.58 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 4.06±0.25 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.69±0.90 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.92±1.26 <sup>a</sup>
4°C	0.05	<sup>a</sup> 2.97±0.59 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.19±0.43 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.57±1.09 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.77±0.25 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 3.83±0.33 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 2.96±0.63 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.17±0.54 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.31±0.33 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.81±0.34 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 3.68±0.32 <sup>a</sup>
	0.2	<sup>a</sup> 3.06±0.65 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.39±0.20 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.33±1.81 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.91±0.63 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 3.91±0.54 <sup>a</sup>
	0.3	<sup>a</sup> 2.99±0.49 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.34±0.40 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.28±0.99 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.92±1.58 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 3.82±0.95 <sup>a</sup>
	บีมืดที่ 0.01	<sup>a</sup> 2.72±0.17 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 3.50±0.23 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.07±0.79 <sup>ab</sup>	<sup>a</sup> 3.43±0.55 <sup>ab</sup>	<sup>b</sup> 3.40±0.34 <sup>ab</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>a</sup> 2.23±0.48 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.09±0.99 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.21±1.48 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 3.49±1.15 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 3.66±0.17 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขบวนการ แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
 2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)ของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 3. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)ของการเติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ ๑5. ค่า CIE L\* ของกุนเชียงดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°C) และ 4°C

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของสารสกัด เมล็ดส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		1	7	14	21	28
30±3°C	0.05	<sup>a</sup> 41.09±0.98 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.51±0.23 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.57±2.19 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 41.02±3.30 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.63±5.41 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 40.18±2.03 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.63±0.07 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.17±3.29 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.30±0.67 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.17±2.04 <sup>a</sup>
	0.2	<sup>a</sup> 42.39±1.09 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.58±0.81 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.63±0.97 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 40.87±1.90 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.56±0.29 <sup>a</sup>
	0.3	<sup>a</sup> 42.70±2.36 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.44±0.02 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.53±1.75 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 40.88±0.55 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.01±0.82 <sup>a</sup>
	ปีเอชที่ 0.01	<sup>a</sup> 39.87±3.14 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.68±1.33 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.36±0.17 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 41.30±2.89 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.15±1.31 <sup>a</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>a</sup> 39.26±2.32 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 41.48±1.87 <sup>ab</sup>	<sup>a</sup> 42.92±0.36 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 41.68±0.80 <sup>ab</sup>	<sup>a</sup> 41.55±0.85 <sup>ab</sup>
4°C	0.05	<sup>b</sup> 40.59±1.06 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.52±0.60 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.76±0.63 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.81±2.27 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.59±3.32 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 42.76±0.26 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.88±2.05 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.36±0.03 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.16±0.39 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.79±1.13 <sup>a</sup>
	0.2	<sup>ab</sup> 41.40±0.64 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 43.62±2.29 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.66±1.67 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.42±0.39 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 43.09±1.14 <sup>a</sup>
	0.3	<sup>ab</sup> 42.37±1.57 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.69±2.87 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.70±1.19 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.81±2.04 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.79±4.56 <sup>a</sup>
	ปีเอชที่ 0.01	<sup>b</sup> 40.51±0.26 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.74±2.64 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.00±1.84 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.28±3.65 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.52±2.40 <sup>a</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>b</sup> 40.40±1.44 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.81±0.32 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.49±0.19 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.77±1.84 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.17±3.62 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขบวนการ แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
 2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 3. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ จ3. ค่า CIE L\* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัด เมล็ดส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	46.06±1.87 <sup>a</sup>	46.03±0.89 <sup>a</sup>	45.30±10.8 <sup>a</sup>	45.27±2.71 <sup>a</sup>	45.90±1.42 <sup>a</sup>
0.1	46.56±0.39 <sup>a</sup>	45.48±1.32 <sup>a</sup>	46.37±0.67 <sup>a</sup>	45.88±0.44 <sup>a</sup>	46.69±0.46 <sup>a</sup>
0.2	45.80±2.66 <sup>a</sup>	45.28±2.17 <sup>a</sup>	45.48±1.32 <sup>a</sup>	44.90±0.70 <sup>a</sup>	45.18±1.27 <sup>a</sup>
0.3	46.21±2.39 <sup>a</sup>	45.49±0.79 <sup>a</sup>	45.53±0.45 <sup>a</sup>	45.58±1.71 <sup>a</sup>	43.83±0.68 <sup>a</sup>
บีเอสที 0.01	46.87±0.61 <sup>a</sup>	46.62±1.38 <sup>a</sup>	45.57±1.85 <sup>a</sup>	45.27±1.27 <sup>a</sup>	45.81±2.00 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	48.23±1.71 <sup>a</sup>	47.15±0.72 <sup>a</sup>	46.55±1.64 <sup>a</sup>	46.70±0.81 <sup>a</sup>	45.89±1.18 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ จ4. ค่า CIE b\* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัด เมล็ดส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	11.24±0.51 <sup>ab</sup>	10.53±2.81 <sup>a</sup>	10.24±2.16 <sup>a</sup>	10.56±2.86 <sup>a</sup>	10.76±1.70 <sup>ab</sup>
0.1	11.72±0.58 <sup>a</sup>	11.87±1.46 <sup>a</sup>	10.56±1.11 <sup>a</sup>	11.32±0.21 <sup>a</sup>	11.95±1.17 <sup>ab</sup>
0.2	10.74±0.45 <sup>ab</sup>	10.16±1.00 <sup>a</sup>	9.69±1.04 <sup>a</sup>	10.38±0.53 <sup>a</sup>	11.61±0.75 <sup>b</sup>
0.3	10.19±0.63 <sup>b</sup>	10.31±0.74 <sup>a</sup>	10.15±1.82 <sup>a</sup>	10.45±0.27 <sup>a</sup>	10.20±1.33 <sup>ab</sup>
บีเอสที 0.01	10.33±0.53 <sup>ab</sup>	9.66±1.16 <sup>a</sup>	10.70±0.37 <sup>a</sup>	11.20±2.81 <sup>a</sup>	11.46±1.53 <sup>ab</sup>
ตัวอย่างควบคุม	10.83±1.01 <sup>ab</sup>	11.75±0.80 <sup>a</sup>	12.24±1.01 <sup>a</sup>	11.93±0.45 <sup>a</sup>	12.14±0.48 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ ๑๒. ค่า CIE  $b^*$  ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) และ  $4^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของสารสกัด เมล็ดส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		1	7	14	21	28
$30\pm 3^{\circ}\text{C}$	0.05	$^{a}10.09\pm 1.28^a$	$^{a}9.23\pm 4.45^a$	$^{a}10.50\pm 1.57^a$	$^{a}10.12\pm 1.80^a$	$^{a}11.75\pm 0.80^a$
	0.1	$^{a}9.57\pm 0.77^a$	$^{a}10.12\pm 1.57^a$	$^{a}9.95\pm 4.19^a$	$^{a}11.15\pm 2.95^a$	$^{a}11.36\pm 2.21^a$
	0.2	$^{a}9.42\pm 0.86^a$	$^{a}10.63\pm 1.59^a$	$^{a}11.24\pm 0.85^a$	$^{a}11.16\pm 1.23^a$	$^{a}12.07\pm 3.70^a$
	0.3	$^{a}8.77\pm 0.56^b$	$^{a}10.29\pm 0.97^{ab}$	$^{a}9.02\pm 2.15^{ab}$	$^{a}11.54\pm 1.18^{ab}$	$^{a}12.25\pm 2.66^a$
	บีเอชที 0.01	$^{a}9.27\pm 0.98^a$	$^{a}9.98\pm 4.58^a$	$^{a}10.09\pm 4.16^a$	$^{a}10.96\pm 0.12^a$	$^{a}11.44\pm 2.33^a$
	ตัวอย่างควบคุม	$^{a}9.05\pm 1.98^a$	$^{a}9.20\pm 3.58^a$	$^{a}9.02\pm 0.07^a$	$^{a}10.04\pm 2.89^a$	$^{a}11.36\pm 0.91^a$
	$4^{\circ}\text{C}$	0.05	$^{a}9.22\pm 1.43^a$	$^{a}9.97\pm 0.61^a$	$^{b}10.13\pm 2.05^a$	$^{b}9.07\pm 1.57^a$
0.1	$^{a}8.77\pm 1.94^a$	$^{a}8.64\pm 1.38^a$	$^{b}8.44\pm 1.21^a$	$^{b}8.43\pm 0.07^a$	$^{b}9.05\pm 1.51^a$	
0.2	$^{a}9.10\pm 0.73^a$	$^{a}10.18\pm 1.43^a$	$^{b}9.99\pm 1.22^a$	$^{b}8.85\pm 0.46^a$	$^{b}9.37\pm 1.34^a$	
0.3	$^{a}8.00\pm 0.15^c$	$^{a}8.37\pm 0.84^{bc}$	$^{b}9.27\pm 0.11^{ab}$	$^{b}9.14\pm 0.67^{ab}$	$^{b}9.81\pm 0.13^a$	
บีเอชที 0.01	$^{a}8.32\pm 0.89^a$	$^{a}8.82\pm 0.57^a$	$^{b}8.37\pm 2.01^a$	$^{b}9.75\pm 2.48^a$	$^{b}9.27\pm 0.74^a$	
ตัวอย่างควบคุม	$^{a}9.64\pm 0.07^a$	$^{a}8.41\pm 1.32^a$	$^{b}8.45\pm 1.89^a$	$^{b}9.37\pm 1.34^a$	$^{b}9.86\pm 0.14^a$	

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
 2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ )ของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 3. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ภาคผนวก จ.

ค่า CIE L\* และ CIE b\* ของหมูแผ่นและกุนเชียงที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวาน

ตารางที่ จ1. ค่า CIE L\* ของหมูแผ่นคิปที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°C) และ 4°C

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของสารสกัด เมล็ดส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		1	7	14	21	28
30±3°C	0.05	<sup>a</sup> 46.11±0.20 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.11±1.04 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.83±4.17 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.22±0.56 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.32±0.45 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 45.38±2.38 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.16±3.85 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.56±0.23 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.58±4.12 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 43.81±1.79 <sup>a</sup>
	0.2	<sup>a</sup> 45.87±1.79 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.54±0.45 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.79±1.22 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.60±4.73 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.77±0.58 <sup>a</sup>
	0.3	<sup>a</sup> 45.20±0.05 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.18±0.93 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.68±0.93 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 43.87±1.81 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.55±1.03 <sup>a</sup>
	บีสเอชที่ 0.01	<sup>a</sup> 45.38±2.19 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.25±3.62 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.44±1.22 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.29±1.40 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 43.89±2.50 <sup>a</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>a</sup> 45.69±3.67 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.37±1.17 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.12±2.51 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.71±1.75 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.04±0.48 <sup>a</sup>
4°C	0.05	<sup>a</sup> 44.57±1.41 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.88±3.64 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.64±0.91 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.82±1.59 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.30±2.51 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 44.15±1.04 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 43.86±2.86 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.07±0.53 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.83±1.38 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 43.57±1.45 <sup>a</sup>
	0.2	<sup>a</sup> 45.64±1.35 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.13±1.87 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.79±1.16 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.12±3.18 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.06±1.43 <sup>a</sup>
	0.3	<sup>a</sup> 45.66±1.69 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.25±1.72 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.30±1.68 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.41±3.79 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.37±0.79 <sup>a</sup>
	บีสเอชที่ 0.01	<sup>a</sup> 45.95±2.95 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.32±3.29 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.25±0.69 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.29±2.06 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.51±1.50 <sup>a</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>a</sup> 45.75±1.07 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.05±1.95 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 43.72±0.34 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.04±1.89 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 43.73±0.50 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขบวนการ แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
 2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)ของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 3. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)ของการเติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ ๗. ค่า CIE L\* ของกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัด เปลือกส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	41.61±1.06 <sup>a</sup>	41.96±0.31 <sup>a</sup>	42.13±0.49 <sup>a</sup>	40.73±2.90 <sup>a</sup>	42.12±0.22 <sup>a</sup>
0.1	40.78±1.07 <sup>a</sup>	42.05±0.59 <sup>a</sup>	41.80±1.44 <sup>a</sup>	42.75±0.73 <sup>a</sup>	42.65±2.62 <sup>a</sup>
0.2	41.96±1.16 <sup>a</sup>	40.93±1.29 <sup>a</sup>	42.04±1.12 <sup>a</sup>	42.08±0.73 <sup>a</sup>	42.32±2.50 <sup>a</sup>
0.3	42.12±1.24 <sup>a</sup>	41.61±2.03 <sup>a</sup>	41.69±0.06 <sup>a</sup>	41.63±0.10 <sup>a</sup>	41.84±0.44 <sup>a</sup>
บีเอชที 0.01	41.45±0.79 <sup>a</sup>	41.28±1.92 <sup>a</sup>	40.90±1.30 <sup>a</sup>	42.27±0.65 <sup>a</sup>	42.83±3.00 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	41.11±0.28 <sup>a</sup>	41.56±0.32 <sup>a</sup>	40.71±2.43 <sup>a</sup>	42.04±0.96 <sup>a</sup>	42.42±3.07 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
 2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของการเติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ ๘. ค่า CIE b\* ของกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัด เปลือกส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	2.70±0.29 <sup>a</sup>	2.88±0.23 <sup>a</sup>	2.95±0.08 <sup>a</sup>	3.65±1.35 <sup>a</sup>	3.86±0.79 <sup>a</sup>
0.1	2.84±0.37 <sup>b</sup>	2.99±0.72 <sup>b</sup>	3.16±0.17 <sup>ab</sup>	3.62±0.27 <sup>ab</sup>	4.06±0.61 <sup>a</sup>
0.2	2.70±0.37 <sup>c</sup>	2.90±0.04 <sup>c</sup>	3.13±0.23 <sup>bc</sup>	3.56±0.24 <sup>ab</sup>	3.78±0.28 <sup>a</sup>
0.3	2.66±0.15 <sup>b</sup>	2.80±0.87 <sup>b</sup>	2.91±0.48 <sup>b</sup>	3.51±0.25 <sup>ab</sup>	3.91±0.45 <sup>a</sup>
บีเอชที 0.01	2.65±0.65 <sup>a</sup>	2.54±0.95 <sup>a</sup>	3.08±0.94 <sup>a</sup>	3.64±0.10 <sup>a</sup>	3.80±0.64 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	2.61±0.52 <sup>b</sup>	2.55±0.73 <sup>b</sup>	2.93±0.88 <sup>ab</sup>	3.15±0.43 <sup>ab</sup>	4.14±0.55 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
 2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของการเติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ 6. ค่า CIE  $b^*$  ของกุ้งแช่แข็งดิบเต็มสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) และ  $4^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		1	7	14	21	28
$30\pm 3^{\circ}\text{C}$	0.05	$2.80\pm 0.34^a$	$3.08\pm 0.14^a$	$2.99\pm 0.14^a$	$3.12\pm 0.47^a$	$3.12\pm 0.74^a$
	0.1	$2.78\pm 0.45^a$	$2.87\pm 0.33^a$	$3.21\pm 0.12^a$	$3.13\pm 0.04^a$	$3.44\pm 0.17^a$
	0.2	$2.86\pm 0.44^a$	$2.74\pm 0.31^a$	$3.38\pm 0.05^a$	$3.10\pm 0.35^a$	$3.30\pm 0.28^a$
	0.3	$2.89\pm 0.41^a$	$2.92\pm 0.17^a$	$3.06\pm 0.58^a$	$3.31\pm 0.33^a$	$3.40\pm 0.36^a$
	บีเอชที 0.01	$2.82\pm 0.51^a$	$2.88\pm 0.45^a$	$3.04\pm 0.69^a$	$3.34\pm 0.54^a$	$3.23\pm 0.32^a$
	ตัวอย่างควบคุม	$2.83\pm 0.51^a$	$3.02\pm 0.48^a$	$3.12\pm 0.11^a$	$3.17\pm 0.31^a$	$3.29\pm 0.05^a$
$4^{\circ}\text{C}$	0.05	$2.96\pm 0.12^a$	$2.88\pm 0.01^a$	$2.98\pm 0.39^a$	$3.01\pm 0.41^a$	$3.57\pm 0.15^a$
	0.1	$2.70\pm 0.31^a$	$2.99\pm 0.15^a$	$2.80\pm 0.28^a$	$2.89\pm 0.17^a$	$3.54\pm 0.12^a$
	0.2	$2.83\pm 0.51^a$	$2.94\pm 0.38^a$	$2.73\pm 0.21^a$	$2.91\pm 0.17^a$	$3.61\pm 0.90^a$
	0.3	$2.83\pm 0.20^a$	$3.09\pm 0.50^a$	$3.01\pm 1.09^a$	$2.97\pm 0.50^a$	$3.21\pm 0.11^a$
	บีเอชที 0.01	$2.78\pm 0.42^a$	$2.72\pm 0.71^a$	$2.68\pm 0.32^a$	$2.76\pm 0.17^a$	$2.89\pm 0.08^a$
	ตัวอย่างควบคุม	$2.75\pm 0.22^a$	$2.93\pm 0.42^a$	$3.09\pm 0.34^a$	$3.12\pm 0.41^a$	$3.14\pm 0.19^a$

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขบวนการ แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
 2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ )ของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 3. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ )ของการเต็มสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ ๓5. ค่า CIE L\* ของกุ้งแช่แข็งที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°C) และ 4°C

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		1	7	14	21	28
30±3°C	0.05	<sup>a</sup> 41.50±4.41 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.66±0.73 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.25±1.06 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.59±0.94 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.63±0.16 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 40.26±0.82 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.91±0.80 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.10±0.67 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.21±0.31 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.64±0.56 <sup>a</sup>
	0.2	<sup>a</sup> 41.28±1.48 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.16±0.98 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.43±0.98 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.09±0.24 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.16±0.78 <sup>a</sup>
	0.3	<sup>a</sup> 40.08±0.59 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 39.39±1.78 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.17±1.05 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.10±1.76 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.97±0.30 <sup>a</sup>
	บ๊วยที่ 0.01	<sup>a</sup> 40.16±0.55 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.57±0.28 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.06±0.79 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.08±1.41 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.81±0.75 <sup>a</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>a</sup> 40.00±0.66 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.00±1.06 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.21±1.72 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.06±1.87 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.25±1.08 <sup>a</sup>
4°C	0.05	<sup>a</sup> 41.79±3.14 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.43±0.13 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 43.40±1.40 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.96±2.51 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.16±3.14 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 41.52±0.32 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.76±0.16 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.43±1.26 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 39.96±2.82 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 39.83±1.17 <sup>a</sup>
	0.2	<sup>a</sup> 41.54±2.10 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.68±1.44 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.18±0.56 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.07±1.74 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.20±0.50 <sup>a</sup>
	0.3	<sup>a</sup> 41.05±0.52 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.92±1.16 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.23±1.64 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.45±1.19 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.30±0.86 <sup>a</sup>
	บ๊วยที่ 0.01	<sup>a</sup> 40.20±1.24 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 39.74±0.33 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.94±0.78 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.37±2.63 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.88±1.25 <sup>a</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>a</sup> 42.24±2.62 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.65±0.39 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.68±0.14 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.64±2.58 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.74±0.53 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขบวนการ แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
 2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 3. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ 3. ค่า CIE L\* ของหมูแผ่นสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัด เปลือกส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	45.94±1.91 <sup>a</sup>	45.86±2.29 <sup>a</sup>	45.10±2.05 <sup>a</sup>	44.39±1.12 <sup>a</sup>	43.83±0.58 <sup>a</sup>
0.1	45.59±2.86 <sup>a</sup>	45.11±1.34 <sup>a</sup>	44.57±0.53 <sup>a</sup>	43.21±2.59 <sup>a</sup>	43.41±2.36 <sup>a</sup>
0.2	45.86±1.21 <sup>a</sup>	45.14±2.25 <sup>a</sup>	45.02±2.20 <sup>a</sup>	44.78±0.99 <sup>a</sup>	43.80±0.70 <sup>a</sup>
0.3	45.27±0.51 <sup>a</sup>	45.27±3.47 <sup>a</sup>	44.11±0.14 <sup>a</sup>	43.55±3.32 <sup>a</sup>	43.52±2.04 <sup>a</sup>
บีเอสที 0.01	45.21±1.57 <sup>a</sup>	44.22±0.64 <sup>a</sup>	44.37±0.10 <sup>a</sup>	44.94±1.15 <sup>a</sup>	43.79±1.33 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	44.10±1.56 <sup>a</sup>	45.60±1.50 <sup>a</sup>	44.57±1.84 <sup>a</sup>	46.00±0.34 <sup>a</sup>	45.53±1.63 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ 4. ค่า CIE b\* ของหมูแผ่นสุกที่เดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัด เปลือกส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	8.93±0.73 <sup>b</sup>	8.36±0.75 <sup>b</sup>	8.31±0.74 <sup>b</sup>	9.39±0.19 <sup>ab</sup>	10.24±0.69 <sup>a</sup>
0.1	7.49±0.34 <sup>b</sup>	8.87±0.20 <sup>ab</sup>	8.95±1.73 <sup>ab</sup>	8.82±0.31 <sup>ab</sup>	9.52±0.92 <sup>a</sup>
0.2	7.26±0.20 <sup>b</sup>	8.18±0.69 <sup>ab</sup>	9.31±1.60 <sup>a</sup>	9.22±1.40 <sup>a</sup>	9.99±0.28 <sup>a</sup>
0.3	8.26±1.07 <sup>a</sup>	9.11±0.69 <sup>a</sup>	9.45±1.12 <sup>a</sup>	9.38±0.32 <sup>a</sup>	8.98±1.04 <sup>a</sup>
บีเอสที 0.01	8.79±1.05 <sup>a</sup>	8.27±0.19 <sup>a</sup>	9.77±1.37 <sup>a</sup>	8.47±0.52 <sup>a</sup>	9.76±1.98 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	8.39±1.57 <sup>a</sup>	8.81±0.41 <sup>a</sup>	8.68±1.87 <sup>a</sup>	10.24±1.21 <sup>a</sup>	9.79±1.34 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเดิมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ ๓2. ค่า CIE  $b^*$  ของหมูแผ่นดิบเต็มสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) และ  $4^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		1	7	14	21	28
$30\pm 3^{\circ}\text{C}$	0.05	$^{a}11.33\pm 2.08^a$	$^{a}10.04\pm 0.03^a$	$^{a}12.40\pm 1.23^a$	$^{a}12.05\pm 3.42^a$	$^{a}13.07\pm 3.24^a$
	0.1	$^{a}8.86\pm 1.58^b$	$^{a}11.21\pm 1.21^{ab}$	$^{a}10.45\pm 2.05^{ab}$	$^{a}11.65\pm 0.05^a$	$^{a}12.10\pm 0.78^a$
	0.2	$^{a}11.15\pm 2.45^a$	$^{a}10.13\pm 0.57^a$	$^{a}11.50\pm 0.40^a$	$^{a}11.19\pm 1.75^a$	$^{a}12.48\pm 2.39^a$
	0.3	$^{a}10.28\pm 1.99^a$	$^{a}11.27\pm 0.79^a$	$^{a}10.68\pm 2.50^a$	$^{a}10.72\pm 1.77^a$	$^{a}11.78\pm 2.63^a$
	ปีเอชที่ 0.01	$^{a}9.18\pm 0.48^b$	$^{a}10.41\pm 1.24^b$	$^{a}11.41\pm 2.48^{ab}$	$^{a}11.04\pm 3.23^{ab}$	$^{a}14.29\pm 1.09^a$
	ตัวอย่างควบคุม	$^{a}9.31\pm 0.91^b$	$^{a}9.60\pm 2.04^b$	$^{a}11.87\pm 1.09^{ab}$	$^{a}11.21\pm 3.50^{ab}$	$^{a}13.80\pm 1.59^a$
$4^{\circ}\text{C}$	0.05	$^{a}10.68\pm 1.61^a$	$^{a}9.65\pm 1.66^a$	$^{a}9.15\pm 0.33^a$	$^b9.67\pm 2.20^a$	$^b10.43\pm 0.45^a$
	0.1	$^{a}8.09\pm 2.24^a$	$^{a}9.42\pm 0.42^a$	$^{a}10.56\pm 1.63^a$	$^b9.64\pm 0.67^a$	$^b8.99\pm 1.06^a$
	0.2	$^{a}10.69\pm 1.13^a$	$^{a}9.72\pm 0.74^a$	$^{a}10.04\pm 0.58^a$	$^b9.80\pm 0.79^a$	$^b10.25\pm 1.12^a$
	0.3	$^{a}9.77\pm 1.73^a$	$^{a}9.03\pm 0.61^a$	$^{a}9.81\pm 1.22^a$	$^b9.64\pm 0.34^a$	$^b9.13\pm 0.15^a$
	ปีเอชที่ 0.01	$^{a}9.04\pm 0.25^a$	$^{a}10.02\pm 2.79^a$	$^{a}10.32\pm 0.22^a$	$^b9.01\pm 1.00^a$	$^b10.49\pm 1.86^a$
	ตัวอย่างควบคุม	$^{a}8.76\pm 1.42^a$	$^{a}10.12\pm 2.73^a$	$^{a}10.53\pm 0.94^a$	$^b10.89\pm 1.35^a$	$^b10.12\pm 1.26^a$

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
 2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ )ของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 3. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ )ของการเต็มสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ภาคผนวก ง.

ค่า CIE L\* และ CIE b\* ของหมูแผ่นและกุนเชียงที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน

ตารางที่ ง1. ค่า CIE L\* ของหมูแผ่นคิปที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°C) และ 4°C

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวาน (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		1	7	14	21	28
30±3°C	0.05	<sup>a</sup> 45.36±1.17 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.28±2.78 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.81±0.09 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.54±2.26 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.45±3.61 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 45.56±1.02 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.72±0.61 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.49±1.83 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.36±1.27 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.95±2.57 <sup>a</sup>
	0.2	<sup>a</sup> 45.37±1.76 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 46.46±2.66 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.59±2.42 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.88±1.80 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 43.81±0.65 <sup>a</sup>
	0.3	<sup>a</sup> 46.15±0.31 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 46.40±2.63 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.46±0.87 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.19±0.52 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.33±2.50 <sup>a</sup>
	บ๊อชที่ 0.01	<sup>a</sup> 44.76±2.05 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.96±0.72 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 46.02±1.68 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 46.03±3.57 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.34±2.58 <sup>a</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>a</sup> 45.37±2.60 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.90±3.50 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.62±1.36 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.63±1.55 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.08±1.91 <sup>a</sup>
4°C	0.05	<sup>a</sup> 43.31±1.78 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 46.60±3.93 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.10±0.35 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.14±1.01 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.25±1.04 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 44.15±0.85 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.73±2.42 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.74±1.86 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.96±2.97 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.32±2.07 <sup>a</sup>
	0.2	<sup>a</sup> 43.52±0.85 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.95±1.16 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.45±1.47 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.84±0.86 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.19±0.19 <sup>a</sup>
	0.3	<sup>a</sup> 46.00±2.03 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.17±0.66 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.06±2.82 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.39±1.57 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.11±2.52 <sup>a</sup>
	บ๊อชที่ 0.01	<sup>a</sup> 45.67±1.00 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.43±1.22 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 46.33±2.11 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 46.40±1.44 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.26±0.74 <sup>a</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>a</sup> 44.75±1.69 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.15±1.47 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 46.03±2.01 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 45.40±2.28 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 44.73±0.90 <sup>a</sup>

- หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขบวนการ แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
 2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)ของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 3. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)ของการเติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ ๑๗. ค่า CIE L\* ของกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัด กระเจี๊ยบแดง (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	41.89±1.76 <sup>a</sup>	41.34±0.52 <sup>a</sup>	41.78±1.57 <sup>a</sup>	41.60±2.50 <sup>a</sup>	42.12±1.64 <sup>a</sup>
0.1	40.72±0.57 <sup>b</sup>	41.09±1.33 <sup>ab</sup>	41.65±2.32 <sup>ab</sup>	41.87±1.06 <sup>ab</sup>	43.67±0.82 <sup>a</sup>
0.2	40.58±0.36 <sup>a</sup>	42.25±1.15 <sup>a</sup>	41.46±2.33 <sup>a</sup>	42.36±2.67 <sup>a</sup>	43.18±1.50 <sup>a</sup>
0.3	41.25±0.99 <sup>b</sup>	41.02±0.66 <sup>b</sup>	42.47±1.05 <sup>ab</sup>	42.34±1.27 <sup>ab</sup>	43.32±0.35 <sup>a</sup>
บีเอสที 0.01	41.65±1.41 <sup>a</sup>	41.54±0.70 <sup>a</sup>	42.88±0.47 <sup>a</sup>	42.62±2.98 <sup>a</sup>	42.71±0.60 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	40.46±0.23 <sup>a</sup>	41.57±0.26 <sup>a</sup>	42.27±2.52 <sup>a</sup>	42.30±0.84 <sup>a</sup>	42.81±1.34 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ ๑๘. ค่า CIE b\* ของกุนเชียงสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัด กระเจี๊ยบแดง (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	2.21±0.41 <sup>b</sup>	2.36±0.49 <sup>ab</sup>	2.43±0.31 <sup>ab</sup>	3.38±0.67 <sup>ab</sup>	3.75±1.41 <sup>a</sup>
0.1	2.24±0.54 <sup>ab</sup>	2.17±0.27 <sup>ab</sup>	2.27±0.25 <sup>ab</sup>	2.62±0.19 <sup>ab</sup>	3.65±0.22 <sup>a</sup>
0.2	2.04±0.20 <sup>c</sup>	2.45±0.24 <sup>bc</sup>	2.43±0.31 <sup>bc</sup>	3.00±0.68 <sup>ab</sup>	3.47±0.63 <sup>a</sup>
0.3	2.28±0.58 <sup>b</sup>	2.29±0.46 <sup>b</sup>	2.69±0.77 <sup>ab</sup>	3.00±0.51 <sup>ab</sup>	3.57±0.02 <sup>a</sup>
บีเอสที 0.01	2.34±0.41 <sup>b</sup>	2.31±0.35 <sup>b</sup>	2.98±0.45 <sup>ab</sup>	2.74±0.60 <sup>ab</sup>	3.54±0.91 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	2.06±0.02 <sup>b</sup>	2.26±0.13 <sup>b</sup>	2.50±0.38 <sup>b</sup>	2.78±0.64 <sup>b</sup>	3.84±0.41 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ ๓6. ค่า CIE  $b^*$  ของกุ้งแช่แข็งที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง( $30\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) และ  $4^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของสารสกัด กระเจี๊ยบแดง (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		1	7	14	21	28
$30\pm 3^{\circ}\text{C}$	0.05	$2.37\pm 0.38^a$	$2.43\pm 0.41^a$	$2.79\pm 0.75^a$	$3.52\pm 1.17^a$	$3.66\pm 1.11^a$
	0.1	$2.40\pm 0.25^b$	$2.46\pm 0.01^b$	$2.49\pm 0.17^b$	$2.56\pm 0.40^b$	$3.25\pm 0.37^a$
	0.2	$2.41\pm 0.18^b$	$2.63\pm 0.70^{ab}$	$2.35\pm 0.30^b$	$2.45\pm 0.31^{ab}$	$3.17\pm 0.20^a$
	0.3	$2.55\pm 0.05^{ab}$	$2.43\pm 0.50^a$	$2.57\pm 0.62^a$	$2.57\pm 0.40^a$	$2.89\pm 0.69^a$
	ปีเอชที่ 0.01	$2.44\pm 0.03^a$	$2.89\pm 0.47^a$	$2.73\pm 0.77^a$	$3.09\pm 0.77^a$	$3.19\pm 0.77^a$
	ตัวอย่างควบคุม	$2.48\pm 0.24^b$	$2.97\pm 0.31^{ab}$	$2.81\pm 2.23^{ab}$	$3.17\pm 0.23^{ab}$	$3.28\pm 0.62^a$
$4^{\circ}\text{C}$	0.05	$2.72\pm 0.56^a$	$2.74\pm 1.37^a$	$2.89\pm 0.84^a$	$2.82\pm 0.19^a$	$3.07\pm 0.11^a$
	0.1	$2.18\pm 0.18^a$	$2.58\pm 0.22^a$	$2.94\pm 0.42^a$	$2.91\pm 0.24^a$	$2.71\pm 0.22^a$
	0.2	$2.22\pm 0.06^a$	$2.80\pm 0.54^a$	$2.89\pm 0.35^a$	$2.80\pm 0.22^a$	$2.80\pm 0.47^a$
	0.3	$2.59\pm 0.05^a$	$2.78\pm 1.56^a$	$2.76\pm 0.23^a$	$2.88\pm 0.14^a$	$2.95\pm 0.29^a$
	ปีเอชที่ 0.01	$2.57\pm 0.99^a$	$2.77\pm 0.39^a$	$3.05\pm 0.55^a$	$2.78\pm 0.59^a$	$2.76\pm 0.97^a$
	ตัวอย่างควบคุม	$2.54\pm 0.49^a$	$2.52\pm 0.82^a$	$2.69\pm 0.60^a$	$2.76\pm 0.31^a$	$3.40\pm 0.08^a$

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
 2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ )ของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 3. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p\leq 0.05$ )ของสารการเติมสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ ๓5. ค่า CIE L\* ของกลิ่นเขียวคิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°C) และ 4°C

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของสารสกัด กระเจี๊ยบแดง (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		1	7	14	21	28
30±3°C	0.05	<sup>a</sup> 40.61±1.00 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 39.61±2.68 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 40.12±3.07 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 40.25±2.58 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 40.08±2.94 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 39.67±0.68 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 40.67±2.25 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 39.85±1.40 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.53±0.30 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 39.40±1.34 <sup>a</sup>
	0.2	<sup>a</sup> 40.67±2.75 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 41.36±0.56 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 40.68±5.05 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 40.36±1.85 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 39.29±1.80 <sup>a</sup>
	0.3	<sup>a</sup> 40.11±1.14 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 39.91±3.57 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 39.47±2.89 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 39.35±0.23 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 39.36±1.77 <sup>a</sup>
	บีเอชที 0.01	<sup>a</sup> 40.16±1.42 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 40.26±1.78 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 40.19±1.24 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 40.41±0.24 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 39.14±0.62 <sup>a</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>a</sup> 40.29±1.33 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 40.35±1.57 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 41.17±4.52 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 40.45±0.64 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 39.93±1.20 <sup>a</sup>
4°C	0.05	<sup>a</sup> 41.65±1.70 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.51±2.33 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.56±1.12 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.86±2.12 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.75±0.45 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 42.02±1.53 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.33±1.92 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.32±2.47 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.43±0.11 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.42±2.42 <sup>a</sup>
	0.2	<sup>a</sup> 40.38±0.26 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.29±1.71 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.74±5.90 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.55±0.68 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.81±0.93 <sup>a</sup>
	0.3	<sup>a</sup> 41.03±1.03 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.57±3.77 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.60±2.37 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.67±0.68 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.11±2.22 <sup>a</sup>
	บีเอชที 0.01	<sup>a</sup> 41.70±1.23 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.03±0.99 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.69±3.33 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 42.75±1.08 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.30±0.68 <sup>a</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>a</sup> 40.38±0.36 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.09±2.31 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.72±0.15 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 41.83±0.88 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 40.51±1.14 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
 2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)ของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 3. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)ของการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ ค3. ค่า CIE L\* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัด กระเจี๊ยบแดง (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	45.15±2.05 <sup>a</sup>	44.98±1.22 <sup>a</sup>	45.79±2.05 <sup>a</sup>	46.04±3.35 <sup>a</sup>	45.70±2.35 <sup>a</sup>
0.1	45.13±2.04 <sup>a</sup>	46.63±1.96 <sup>a</sup>	46.74±1.17 <sup>a</sup>	46.56±1.51 <sup>a</sup>	45.04±3.35 <sup>a</sup>
0.2	43.75±0.47 <sup>a</sup>	45.23±1.13 <sup>a</sup>	45.82±2.49 <sup>a</sup>	45.64±0.72 <sup>a</sup>	46.18±1.02 <sup>a</sup>
0.3	44.18±1.11 <sup>a</sup>	45.49±1.33 <sup>a</sup>	45.61±1.11 <sup>a</sup>	45.34±1.47 <sup>a</sup>	45.22±2.42 <sup>a</sup>
บีเอสที 0.01	45.24±2.11 <sup>a</sup>	44.77±2.65 <sup>a</sup>	44.80±1.61 <sup>a</sup>	46.16±2.93 <sup>a</sup>	45.77±0.27 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	45.39±2.59 <sup>a</sup>	45.08±1.46 <sup>a</sup>	45.30±4.05 <sup>a</sup>	46.64±0.65 <sup>a</sup>	46.10±0.57

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ ค4. ค่า CIE b\* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัด กระเจี๊ยบแดง (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	10.34±0.45 <sup>b</sup>	10.02±0.78 <sup>b</sup>	11.93±0.58 <sup>a</sup>	12.71±0.60 <sup>a</sup>	12.09±0.95 <sup>a</sup>
0.1	10.40±5.62 <sup>b</sup>	10.91±0.41 <sup>ab</sup>	12.64±1.10 <sup>a</sup>	11.54±1.25 <sup>ab</sup>	12.60±0.99 <sup>a</sup>
0.2	9.05±0.71 <sup>a</sup>	9.26±0.58 <sup>a</sup>	11.97±1.59 <sup>a</sup>	10.29±2.83 <sup>a</sup>	11.70±1.38 <sup>a</sup>
0.3	10.47±2.04 <sup>a</sup>	10.61±0.67 <sup>a</sup>	11.59±1.28 <sup>a</sup>	10.61±1.38 <sup>a</sup>	10.86±1.45 <sup>a</sup>
บีเอสที 0.01	9.43±1.24 <sup>a</sup>	9.92±0.41 <sup>a</sup>	10.77±0.61 <sup>a</sup>	10.79±2.39 <sup>a</sup>	10.04±1.24 <sup>a</sup>
ตัวอย่างควบคุม	11.75±0.68 <sup>a</sup>	10.30±0.19 <sup>a</sup>	10.38±2.81 <sup>a</sup>	12.25±0.15 <sup>a</sup>	10.96±3.34 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

ตารางที่ ก2. ค่า CIE b\* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°C) และ 4°C

อุณหภูมิ	ความเข้มข้นของสารสกัด กระเจี๊ยบแดง (%)	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)				
		1	7	14	21	28
30±3°C	0.05	<sup>a</sup> 9.46±1.40 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 10.02±0.82 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 11.27±2.51 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 11.96±1.15 <sup>a</sup>	<sup>ab</sup> 11.91±0.67 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 8.86±2.16 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 8.72±1.75 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 10.27±1.23 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 10.03±0.64 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 10.59±1.40 <sup>a</sup>
	0.2	<sup>a</sup> 10.77±0.66 <sup>ab</sup>	<sup>a</sup> 10.16±1.31 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 10.68±2.08 <sup>ab</sup>	<sup>a</sup> 10.74±0.39 <sup>ab</sup>	<sup>ab</sup> 12.61±0.94 <sup>a</sup>
	0.3	<sup>a</sup> 8.15±1.48 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 9.39±1.49 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 8.56±1.47 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 9.84±0.97 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 10.70±1.16 <sup>a</sup>
	ปีเอชที่ 0.01	<sup>a</sup> 9.66±2.53 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 10.32±0.47 <sup>ab</sup>	<sup>a</sup> 10.04±2.23 <sup>ab</sup>	<sup>a</sup> 10.52±1.74 <sup>ab</sup>	<sup>a</sup> 13.47±1.26 <sup>a</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>a</sup> 8.64±0.41 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 10.46±1.49 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 10.39±2.23 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 11.47±2.30 <sup>a</sup>	<sup>ab</sup> 11.79±1.42 <sup>a</sup>
4°C	0.05	<sup>a</sup> 9.79±1.76 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 9.83±0.82 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 8.49±0.18 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 9.40±2.53 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 9.52±0.91 <sup>a</sup>
	0.1	<sup>a</sup> 8.73±2.13 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 8.18±1.04 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 9.16±3.23 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 8.34±0.44 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 8.30±1.46 <sup>a</sup>
	0.2	<sup>a</sup> 7.82±1.48 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 8.42±0.91 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 7.64±1.64 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 7.76±0.64 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 8.27±1.31 <sup>a</sup>
	0.3	<sup>a</sup> 9.31±0.66 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 9.44±1.18 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 8.43±1.42 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 7.93±2.36 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 8.83±0.52 <sup>a</sup>
	ปีเอชที่ 0.01	<sup>a</sup> 9.67±0.26 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 8.54±0.92 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 9.37±0.88 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 9.04±2.14 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 8.42±0.95 <sup>a</sup>
	ตัวอย่างควบคุม	<sup>a</sup> 8.56±0.38 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 8.96±2.00 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 9.63±1.54 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 8.84±0.60 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 8.86±0.41 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของระยะเวลาในการเก็บรักษา  
 2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายบน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน  
 3. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่าง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )ของการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิและวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุริยญา โพธิ์ชัยศิริ เกิดวันที่ 15 สิงหาคม 2521 ที่จังหวัดฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาวិทยาสาตร์บัณฑิต(วทบ.) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร จากมหาวิทยาลัยหอการค้าไทยเมื่อปี พ.ศ. 2544 และศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(วทม.) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2547