สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การใช้สารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน เป็นสารต้านปฏิกริยาออกซิเดชั่นธรรมชาติในหมูแผ่น

Utilization of red sorrel, tangerine peel and tangerine seed extracts as the natural antioxidant in pork chips

โดย

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์

รายงานผลงานวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้ของ
โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำปีงบประมาณ 2546

RCH
TX
556
.P8
ย547ก
เลขหมู่.....
58917
เลขทะเบียน.....
17 ก.พ. 2549
วัน เดือน ปี.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b.11485784
i.....

ชื่อโครงการวิจัย : การใช้สารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นธรรมชาติในหมูแผ่น

ชื่อผู้วิจัย : นางสาวเยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย : จากเงินรายได้ของโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ 2546

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย : 1 ปี ตั้งแต่ตุลาคม 2545 ถึง กันยายน 2546

หน่วยงานที่สังกัด : โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การศึกษาการใช้สารสกัดกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน เติมลงในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์หมูแผ่นที่ระดับ 0.05, 0.1, 0.2 และ 0.3%โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านปฏิกิริยา ไลโปเปอร์ออกซิเดชของสารสกัดดังกล่าวกับสารบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก โดยการวิเคราะห์ ค่า PV และ TBARS ในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นดิบบรรจุแบบสุญญากาศในถุงพลาสติกชนิด nylon/LLDPE เก็บรักษาที่อุณห- ภูมิห้อง($30\pm3^{\circ}$ซ) และ 4°ซ และผลิตภัณฑ์หมูแผ่นสุกบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลิน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 28วัน พบว่าการใช้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก สารสกัดเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1% โดยน้ำหนัก เติมลงในส่วนผสมทั้งของหมูแผ่นดิบและสุก จะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามการใช้สารสกัดทั้ง 3 ชนิดที่ระดับดังกล่าวยังคงมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันต่ำกว่าการใช้สารบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก แม้ว่าสารสกัดทั้ง 3 ชนิดจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันได้ดีเมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์หมูแผ่น แต่ก็ยังมีปัญหาในด้านสีและรสชาติซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Utilization of red sorrel , tangerine peel and tangerine seed extracts as the natural antioxidant in pork chips

ABSTRACT

Antilipoperoxidant capacities of red sorrel, tangerine peel , and tangerine seed extracts in raw and cooked pork chips 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 were vacuum-packed in laminated nylon/ LLDPE bags and stored at room temperature (30±3°C) or at 4°C, while the cooked products were packed in PP bags and stored at room temperature (30±3°C). During 28-day storage, red sorrel extract at 0.3% w/w, tangerine peel and tangerine seed extracts at 0.1% w/w showed antilipoperoxidant property in pork chip for both raw and cooked products. However, the three extracts at all concentrations evaluated exhibited less effective antilipoperoxidant 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....

สารบัญ.....I

สารบัญตาราง..... III

สารบัญภาพ..... ...V

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 ปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน.....3

2.2 ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง.....15

2.3 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....16

2.4 กระเจี๊ยบแดง.....18

2.5 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบในกระเจี๊ยบแดง.....19

2.6 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง.....23

2.7 เปลือกและเมล็ดพืชตระกูลส้ม.....24

2.8 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบในพืชตระกูลส้ม.....26

2.9 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดเปลือกและเมล็ดพืชตระกูลส้ม.....34

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....36

3.1 วัตถุดิบ.....36

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....37

3.3 สถานที่ดำเนินงาน..... 38

3.4 วิธีดำเนินงาน.....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 43

4.1 สมบัติทางเคมีบางประการของหมูแผ่น.....43

4.2 การใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่น.....43

4.3 การใช้สารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่น.....55

4.4 การใช้สารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่น.....66

4.5 ผลของการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานในหมูแผ่นต่อการยอมรับด้านประสาทสัมผัส.....77

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....80

บรรณานุกรม.....81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ปริมาณไขมันที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อสัตว์ชนิดต่าง.....7

2.2 โครงสร้างทางเคมีที่สำคัญและลักษณะการแทนที่ด้วยหมู่ต่างๆ บนโมเลกุลของเฟลโวนอยด์ที่พบในพืชตระกูลส้ม.....29

2.3 หมู่ฟังก์ชันของเฟลโวนอยด์ชนิดต่างๆ ที่พบในพืชตระกูลส้มซึ่งมีผลต่อสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....31

4.1 สมบัติทางเคมีบางประการของหมูแผ่น.....43

4.2 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....54

4.3 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ.....54

4.4 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....55

4.5 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....65

4.6 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ.....65

4.7 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....66

4.8 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....76

4.9 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ.....76

4.10 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....77

4.11 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมูแผ่น.....78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ค1 ค่า L* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°ซ....95

ค2 ค่า b* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°ซ....96

ค3 ค่า L* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง....97

ค4 ค่า b* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง....97

ง1 ค่า L* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°ซ....98

ง2 ค่า b* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°ซ.... 99

ง3 ค่า L* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง....100

ง4 ค่า b* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง....100

จ1 ค่า L* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°ซ....101

จ2 ค่า b* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°ซ.... .102

จ3 ค่า L* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง....103

จ4 ค่า b* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง....103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอคติวิตี้กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน....8

2.2 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เกี่ยวข้องกับการเร่งปฏิกิริยาของสารประกอบฮีมาติน....9

2.3 อัตราการเกิดออกซิเดชันของเอทิลลิโนลีเอทที่ 55°ซ ความดัน 46 มิลลิเมตรปรอท....10

2.4 โครงสร้างของแอนโธไซยานิน....20

2.5 โครงสร้างของแอนโธไซยานินที่พบในกระเจี๊ยบแดง....21

2.6 โครงสร้างของไฮบิสซีทินและไฮบิสซิทริน....22

2.7 โครงสร้างของไฮบิสคัสและกรดโปรโตแคทีชิวอิค....23

2.8 โครงสร้างของเฟลโวนอยด์....27

2.9 โครงสร้างของเฟลวาโนน....27

2.10 โครงสร้างของเฟลโวน....28

2.11 โครงสร้างของเฟลโวนอล....28

2.12 หมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างของเฟลโวนอยด์ในลักษณะต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน....30

4.1 ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.)....45

4.2 ค่า TBARS ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.)....46

4.3 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง....46

4.4 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.)....48

4.5 ค่า a* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.)....50

4.6 ค่า a* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง....51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.7 ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.).....57
4.8 ค่า TBARS ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.).....58
4.9 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....58
4.10 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.).....60
4.11 ค่า a* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.).....62
4.12 ค่า a* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....63
4.13 ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.).....68
4.14 ค่า TBARS ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.).....69
4.15 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....69
4.16 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.).....71
4.17 ค่า a* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.).....73
4.18 ค่า a* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง การใช้สารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยา ออกซิเดชัน ธรรมชาติในหมูแผ่น

(Utilization of red sorrel, tangerine peel and tangerine seed extracts as natural antioxidant in pork chips.)

Key words : red sorrel extract, angerine peel extract , pork chips , tangerine seed extract , natural antioxidant

บทคัดย่อ

การศึกษาการใช้สารสกัดกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน เติมลงในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์หมูแผ่นที่ระดับ 0.05, 0.1, 0.2 และ 0.3% โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชของสารสกัดดังกล่าวกับสารบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนักโดยการวิเคราะห์ ค่า PV และ TBARS ในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นดิบบรรจุแบบสุญญากาศในถุงพลาสติกชนิด nylon/LLDPE เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง($30\pm3^{\circ}$ซ) และ 4°ซ และผลิตภัณฑ์หมูแผ่นสุกบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลิน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 28 วัน พบว่าการใช้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก สารสกัดเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1% โดยน้ำหนัก เติมลงในส่วนผสมทั้งของหมูแผ่นดิบและสุก จะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามการใช้สารสกัดทั้ง 3 ชนิดที่ระดับดังกล่าวยังคงมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันต่ำกว่าการใช้สารบีเอชที 0.01%โดยน้ำหนัก และแม้ว่าสารสกัดทั้ง3ชนิดจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันได้ดีเมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์หมูแผ่น แต่ก็ยังมีปัญหาในด้านสีและรสชาติซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ABSTRACT

Antilipoperoxidant capacities of red sorrel , tangerine peel , and tangerine seed extracts in raw and cooked pork chips 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 were vacuum-packed in laminated nylon/ LLDPE bags and stored at room temperature ($30\pm3^{\circ}$C) or at 4°C, while the cooked products were packed in PP bags and stored at room temperature ($30\pm3^{\circ}$C). During 28-day storage, red sorrel extract at 0.3% w/w, tangerine peel and tangerine seed extracts at 0.1% w/w showed antilipoperoxidant property in pork chip for both raw and cooked products. However, the three extracts at all concentrations evaluated exhibited less effective antilipoperoxidant 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เป็นอาหารที่มีโปรตีนคุณภาพสูงและมีไขมันเป็นองค์ประกอบปริมาณมาก จึงมักประสบปัญหาการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันและรงควัตถุไมโอโกลบิน(myoglobin) ทำให้เกิดกลิ่นหืน กลิ่นรสที่ผิดปกติ และสีเปลี่ยนไปจากเดิม ส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการลดลง และทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค หมูแผ่นเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กึ่งแห้งที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้(water activity)อยู่ในช่วง 0.65-0.85 สามารถเก็บรักษาและวางจำหน่ายภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้อง ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นได้เป็นระยะเวลานานโดยไม่เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์แต่มักจะมีการเหม็นหืนเกิดขึ้น ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน ดังนั้นจึงนิยมใช้วัตถุเจือปนที่มีฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน(สารกันหืน) เช่น บีเอชเอ บีเอชที และโพรพิลแกลเลต เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารสังเคราะห์ที่มีราคาแพงและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ ถ้าได้รับในปริมาณมาก(Moure *et al.*,2001) ด้วยเหตุผลดังกล่าวนักวิทยาศาสตร์การอาหารจึงให้ความสนใจสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ(natural antioxidant)มากขึ้น ตัวอย่างของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากธรรมชาติได้แก่ วิตามินอี และสารสกัดจากเครื่องเทศและสมุนไพรต่างๆ แต่การใช้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติมักประสบปัญหาในเรื่องของประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันไม่ดีพอ ความสามารถในการละลายได้เฉพาะในไขมัน รวมทั้งกลิ่นรสเฉพาะของเครื่องเทศและสมุนไพรที่อาจมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารได้ ดังนั้นการวิจัยเพื่อหาแหล่งของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติจากพืชชนิดต่างๆ จึงเป็นการเพิ่มฐานข้อมูลและแนวทางในการประยุกต์ใช้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ได้มีรายงานว่าสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดพืชตระกูลส้ม(ประพันธ์ และวันทนีย์, 2545; Bocco *et al.*, 1998) รวมทั้งสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง(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 และสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมาใช้เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในผลิต-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภัณฑ์เนื้อสัตว์จึงเป็นอีกหัวข้อที่น่าสนใจ และเป็นแนวทางในการนำมาใช้ทดแทนสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสังเคราะห์(synthetic antioxidants)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการของหมูแผ่น

1.2.2 ศึกษาการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่น

1.2.3 ศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานในหมูแผ่นต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่มีสารออกฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์หมูแผ่น และศึกษาผลของการใช้สารสกัดดังกล่าวต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยจะเป็นแนวทางในการนำสารสกัดจากพืชมาใช้เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ เพื่อทดแทนการใช้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากการสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน(lipid peroxidation)

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเสื่อมคุณภาพ(deterioration) นอกเหนือจากการเสื่อมคุณภาพจากจุลินทรีย์ การเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน มักจะเกิดกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวเช่น กรดลิโนลีอิค(linoleic acid) กรดลิโนลีนิค(linolenic acid) และกรดอะราชิโดนิค(arachidonic acid) เป็นต้น ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้เป็นกรดไขมันที่มีจำนวนพันธะคู่มากกว่าหนึ่งพันธะในโครงสร้าง ซึ่งมีความว่องไวสูงจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศ

ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ การเสื่อมคุณภาพเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันอาจเกิดจากกลไกที่เกี่ยวข้องหรือไม่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ก็ได้ การเสื่อมคุณภาพที่มีสาเหตุมาจากการทำงานของเอนไซม์เช่น การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติก(hydrolytic)ในเนยเหลว(butter) โดยเอนไซม์ไลเปสจะไปย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ในไตรกลีเซอร์ไรด์(triglyceride) แล้วให้กรดไขมันสายสั้นเช่น กรดบิวทีริค(butyric acid) กรดคาไพรริค(caprylic acid) และกรดคาพริค(capric acid) เป็นต้น ซึ่งผลผลิตที่ได้จะเข้าสู่วงจรของปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไป ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ในเนยเหลว เอนไซม์อีกชนิดหนึ่งที่มีส่วนสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันคือ เอนไซม์ไลพอกซิเจนเนส(lipoxigenase)พบมากในพืชตระกูลถั่ว การทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิเจนเนสจะไปออกซิไดซ์กรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะที่หมู่เมทีลีน(methylene) ซึ่งอยู่ระหว่างพันธะคู่ที่มีโครงสร้างแบบซีส(cis) เช่น กรดลิโนลีอิค กรดลิโนลีนิค และกรดอะราชิโดนิค ทำให้เกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว จนกระทั่งได้อนุมูลอิสระไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และเมื่อไฮโดรเปอร์ออกไซด์เกิดการแตกตัวจะให้อนุมูลอิสระในแบบต่างๆทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ การทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิเจนเนสไม่ขึ้นกับจำนวนพันธะคู่ของกรดไขมันแต่ขึ้นกับความจำเพาะของเอนไซม์ไลพอกซิเจนเนส โดยจะแปรตามปริมาณซีส(cis) และหน่วยของ 1,4-เพนตะไดอีน(1,4 penta diene unit)เท่านั้น การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีสาเหตุมาจากเอนไซม์สามารถทำได้โดยทำลายเอนไซม์ให้หมดสภาพ เช่น การใช้ความร้อน การลดปริมาณความชื้นให้ต่ำหรือการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิต่ำ

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหารไม่ได้มีสาเหตุมาจากการทำงานของเอนไซม์เพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิ่มตัวอิสระหรือที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอร์รอลที่อยู่ในในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบ ซึ่งก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างต่อเนื่องเมื่อไขมันหรือหรือน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารสัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศ อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ(free radical chain reation) ซึ่งมีกลไกการเกิดได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1) Initiation เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ

$$RH \xrightarrow{\text{แสง ความร้อน และโลหะ}} R^{\bullet} + H^{\bullet}$$

โมเลกุลของลิปิด → อนุมูลอิสระ

$$ROOH + M^{3+} \longrightarrow ROO^{\bullet} + H^{\bullet} + M^{2+}$$

$$ROOH + M^{2+} \longrightarrow RO^{\bullet} + OH^{\bullet} + M^{3+}$$

$$2ROOH \longrightarrow RO^{\bullet} + ROO^{\bullet} + H_2O$$

2) Propagation เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ

$$R^{\bullet} + O_2 \longrightarrow ROO^{\bullet}$$

$$ROO^{\bullet} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\bullet}$$

3) Termination เป็นปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้ผลผลิตที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระ(non - radical)

$$R^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow 2R$$

$$R^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR$$

$$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR + O_2$$

$$RO^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow ROR$$

$$2RO^{\bullet} + 2ROO^{\bullet} \longrightarrow 2ROOR + O_2$$

ขั้นตอนแรกของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเรียกว่า initiation เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิดการสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมตรงตำแหน่งพันธะคู่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระคือ อนุมูลไฮโดรคาร์บอน และไฮโดรเจนอะตอม ในขั้นตอนนี้อาจมี ความร้อน แสง และโลหะเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น หลังจากนั้นก็จะเข้าสู่ขั้นตอน propagation คือ อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนต่อเนื่องไปเรื่อยๆได้เป็นอนุมูลเปอร์ออกซี(peroxy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

radical, ROO•) ไฮโดรเปอร์ออกไซด์(hydroperoxide, ROOH) และอนุมูลไฮโดรคาร์บอน อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นใหม่นี้ก็จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนต่อไป เมื่ออัลคิลเรดิเคิล(alkyl radical, R•) ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซีซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่ไม่เสถียร สามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยไปดึงไฮโดรเจนอะตอมที่บริเวณพันธะคู่จากโมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัวโมเลกุลใหม่ ทำให้ได้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์และมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นใหม่คืออัลคิลเรดิเคิล ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้ก็จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนใหม่และปฏิกิริยาจะเกิดวนเวียนซ้ำๆเช่นนี้เรื่อยไป ไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นผลผลิตเริ่มต้นของปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน สารนี้เป็นสารไม่คงตัวจึงเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้โดยการสลายตัวหรือทำปฏิกิริยากับสารอื่น ทำให้เกิดสารประกอบชนิดใหม่ที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดต่างๆกัน ทำให้เกิดสารให้กลิ่นเช่น แอลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ คีโตน และไฮโดรคาร์บอน และเมื่อใดก็ตามที่อนุมูลอิสระมาทำปฏิกิริยากันเองจะเกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระปฏิกิริยาก็จะหยุดลงดังขั้นตอน 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 หลายชนิด ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี รวมทั้งความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้ส่วนประกอบอื่นๆในอาหารอาจทำหน้าที่ร่วมกันออกซิไดซ์(co-oxidize)หรือทำปฏิกิริยากับไขมันหรือน้ำมันที่ถูกออกซิไดซ์แล้ว หรือผลผลิตที่เกิดจากการออกซิเดชัน ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและค่อนข้างสลับซับซ้อน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.1 ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากชนิดของกรดไขมันในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันมีผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งการเกิดออกซิเดชันสามารถเกิดได้ทั้งกับกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว แต่อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันและระดับความไม่อิ่มตัว โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากจะเกิดได้เร็วกว่าดังนี้ กรดอะราชิโดนิค(20:4) > กรดลิโนเลนิค(18:3) > กรดลิโนเลอิค(18:2) > กรดโอเลอิค(18:1) นอกจากนี้ตำแหน่งและโครงสร้างของพันธะคู่ยังมีผลด้วยคือ กรดไขมันที่มีโครงสร้างแบบซีสไอโซเมอร์(cis isomer) จะถูกออกซิไดส์ได้เร็วกว่าทรานไอโซเมอร์(trans isomer)และตำแหน่งที่เป็นพันธะคู่แบบคอนจูเกท(conjugated double bond) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วกว่าพันธะคู่ที่ไม่ใช่แบบคอนจูเกท(non conjugated double bond) การเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิห้องไม่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันอิ่มตัว แต่จะมีผลในการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว และเมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการแปรรูปอาหารเช่น การทอด กรดไขมันชนิดอิ่มตัวก็อาจเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันได้เช่นเดียวกัน

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) เนื่องจากในเนื้อวัวและเนื้อหมูมีรงควัตถุฮีมเป็นองค์ประกอบมากกว่าเนื้อไก่ แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อนำเนื้อสัตว์ดังกล่าวมาทำให้สุก เนื้อไก่จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากที่สุดเนื่องจากตำแหน่งของเนื้อไก่ที่นำมาใช้มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าเนื้อวัวและเนื้อหมู ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจำนวนกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบอยู่ตามเนื้อเยื่อต่างๆเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เนื้อสัตว์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกัน จากตารางที่ 2.1 เนื้อปลาทิลาเปีย(tilapia) มีไขมันเป็นองค์ประกอบ 1.7-1.9% ซึ่งน้อยกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆแต่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากที่สุด(24.5-26.1%) จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่น และยังพบอีกว่าตำแหน่งของเนื้อเยื่อที่แตกต่างกันก็มีผลทำให้มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบที่แตกต่างกันจึงมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 โลหะอิออน โลหะอิออนที่สำคัญและมีผลในการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่น Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, Cu^{2+}, และ Co^{6+} (0.1 ppm) โลหะอิออนเหล่านี้เป็นองค์ประกอบอยู่ในอาหาร ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปอิสระหรือจับอยู่กับสารอื่นๆก็ได้ เมื่อได้รับการกระตุ้นจากความร้อนหรือแสง โลหะอิออนเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปอิสระซึ่งจะไปเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้นโดยเฉพาะไปเร่งการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ทำให้เกิดอนุมูลอิสระต่างๆดังสมการ

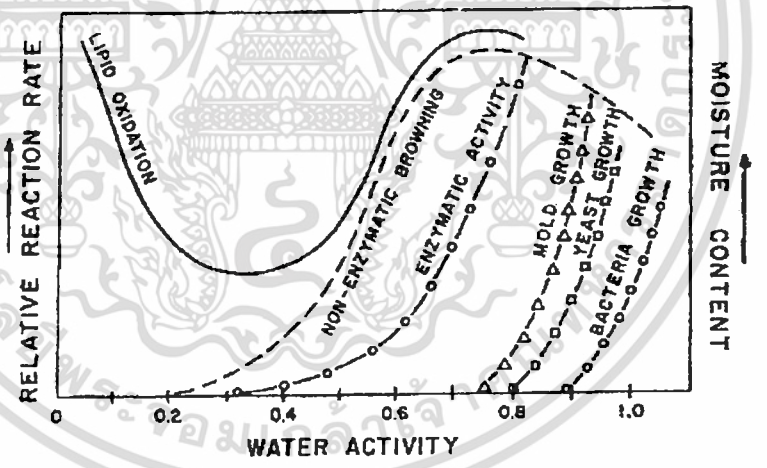
$$ROOH + Fe^{2+} \longrightarrow RO^{\bullet} + OH^{\bullet} + Fe^{3+}$$

$$ROOH + Fe^{3+} \longrightarrow ROO^{\bullet} + H^{\bullet} + Fe^{2+}$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.4 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้(water activity, a_w) การลดความชื้นมีผลทำให้อัตราความร้อนของปฏิกิริยาเคมีต่างๆเปลี่ยนแปลงไป สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันก็เช่นเดียวกัน(ภาพที่ 2.1) อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันยังขึ้นอยู่กับค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ด้วยคือ อาหารที่มีความชื้นต่ำมาก(ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ประมาณ 0.1) ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นทำหน้าที่เป็นตัวเร่งฏิกิริยา ซึ่งจะมีมากขึ้นเมื่อค่าวอเตอร์-แอคติวิตี้ลดลงต่ำกว่า 0.1 การหืนของไขมันหรือน้ำมันจะเกิดเร็วขึ้นมากเมื่ออาหารมีความชื้นต่ำกว่าจุดนี้ เมื่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เพิ่มขึ้นถึง 0.3 จะยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมันให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด เนื่องจากน้ำจะไม่สามารถนำโลหะไปยังจุดที่เกิดปฏิกิริยาได้อีกต่อไปปฏิกิริยาจึงเกิดช้าที่สุด และที่ผิวของไขมันหรือน้ำมันจะมีน้ำเกาะอยู่โดยจับตัวกับสารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ปฏิกิริยาดำเนินช้าลง อีกทั้งน้ำยังเกาะและหุ้มผิวของโลหะที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไว้ทั้งหมดซึ่งก็ช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดช้าลงเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามเมื่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เพิ่มมากขึ้นอยู่ในช่วง 0.55-0.85 อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากมีปริมาณน้ำมากพอที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโลหะอิออนและออกซิเจนจึงมีผลไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

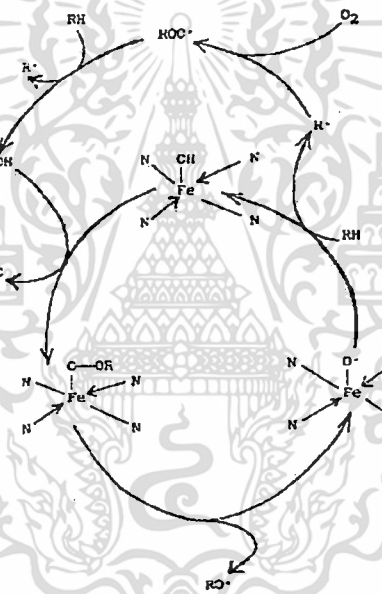


ภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอคติวิตี้กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
ที่มา : Labuza และคณะ(1972)

2.1.1.5 สารประกอบฮีมาติน(haematin compounds) สารประกอบฮีมาตินพบได้ทั่วไปในอาหาร โดยเฉพาะรงควัตถุในเนื้อสัตว์ได้แก่ ฮีม(heam, Fe^{2+}) และฮีมิน(heamin, Fe^{3+}) สารประกอบฮีมาตินดังกล่าวมีสมบัติเป็นโปรออกซิแดนซ์(pro-oxidant) ที่ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้เอนไซม์แคทาเลสและเปอร์ออกซิเดสยังเป็นโปรตีนที่มีองค์ประกอบของฮีมในโมเลกุลพบได้ในพืชหลายชนิด สำหรับฮีโมโกลบิน(haemoglobin) ไมโอโกลบิน(myo-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

globin) และไซโตโครม C (cytochrome C) จะพบได้ในเนื้อเยื่อของสัตว์ โดยสารประกอบดังกล่าวจะมีผลเร่งปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันของไขมัน(lipid autoxidation)ให้เกิดเร็วขึ้น สารประกอบฮีมาตินจะมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกัน โดยความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฮีมาตินเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยดังนี้ ไซโตโครม C > ฮีมิน > ฮีโมโกลบิน > แคทาเลส ตามลำดับ การใช้ความร้อนกับเอนไซม์ที่มีฮีมเป็นองค์ประกอบจะทำให้โปรตีนของเอนไซม์เสียสภาพได้ แต่สภาวะดังกล่าวจะส่งผลให้องค์ประกอบของฮีมมีสมบัติเป็นโปรออกซิแดนซ์หลายเท่า ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการคลายตัวของสายโปรตีนทำให้ไอออนของธาตุเหล็กไม่ถูกบดบังและสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ง่ายขึ้น กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เกี่ยวข้องกับการเร่งปฏิกิริยาของสารประกอบฮีมาติน แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เกี่ยวข้องกับการเร่งปฏิกิริยาของสารประกอบฮีมาติน

ที่มา : Kochhar(1996)

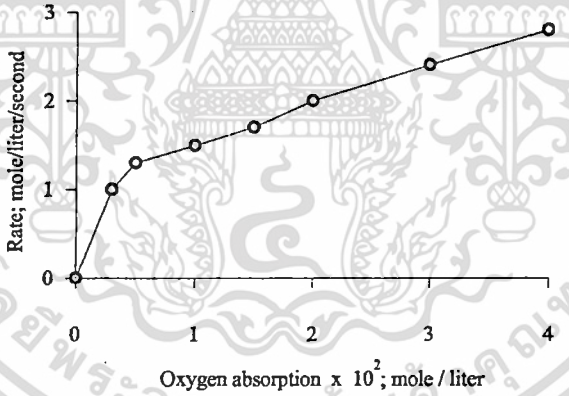
จากภาพสารประกอบฮีมาตินจะไปเร่งการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ได้เป็นอนุมูลอิสระชนิดใหม่คือ FeOOR เมื่ออนุมูลอิสระนี้เกิดการแตกหักจะให้อนุมูลอิสระคือ $FeO^{\bullet}$ และอัลคอซิล(alkoxy radical,$RO^{\bullet}$) ซึ่งอัลคอซิลจะเข้าสู่ขั้นตอน initiator ของปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไป สำหรับ $FeO^{\bullet}$ เป็นอนุมูลอิสระที่ขาดไฮโดรเจนอะตอมก็จะไปดึงไฮโดรเจนอะตอมของกรดไขมัน(RH) เพื่อทำให้ตัวเองอยู่ในสภาพที่เสถียรเมื่อโมเลกุลของไขมันขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรเจนอะตอมก็จะกลายเป็นอัลคิลเรดิเคิล(alkyl radical,$R^{\bullet}$) ซึ่งก็จะเข้าสู่ขั้นตอนของปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไป

2.1.1.6 ความร้อนและแสงสว่าง ความร้อนจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10°ซ การเพิ่มอุณหภูมิจะเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอน propagation และเร่งการสลายตัวของเปอร์ออกไซด์ซึ่งจะให้อนุมูลอิสระมากขึ้น เช่น ในกรรมวิธีการทอดอาหารด้วยน้ำมันท่วม(deep fat frying) ในทำนองเดียวกันแสงอุลตราไวโอเลทก็จะเร่งการสลายตัวของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์

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°ซ ความดัน 46 มิลลิเมตรปรอท
ที่มา : ไพโรจน์(2539)

ในกรณีที่มีออกซิเจนจำกัด เช่น การบรรจุแบบสุญญากาศ การเกิดเปอร์ออกไซด์จะค่อยๆลดต่ำลงเมื่อออกซิเจนอิสระ(free oxygen)ถูกใช้ไป แต่อย่างไรก็ตามการเกิดเปอร์ออกไซด์ยังคงดำเนินต่อไปเป็นระยะเวลานึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความคงตัวของเปอร์ออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้นแล้วการเกิดเปอร์ออกไซด์ก็จะหมดไป ไขมันหรือน้ำมันก็จะเกิดผลิตผลในขั้นที่สอง(secondary products)และเกิดกลิ่นเหม็นหืน การเกิดผลิตผลในขั้นที่สองจะดำเนินต่อไปในไขมันหรือน้ำมันที่เก็บไว้ในที่มีออกซิเจนจำกัด จนกระทั่งซับสเตรต(substance)และเปอร์ออกไซด์ของไขมัน ถูกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.1.1.8 พื้นที่ผิวและการเกิดอิมัลซิฟิเคชัน(emulsification) อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อพื้นที่ผิวของไขมันหรือน้ำมันที่สัมผัสกับอากาศ ดังนั้นถ้าหากอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้นการเกิดออกซิเดชันจะเกิดเร็วขึ้น สำหรับอาหารที่เป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ การเกิดออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจายของออกซิเจนเข้าไปยังส่วนที่เป็นน้ำมัน ซึ่งในอาหารประเภทนี้หยดน้ำมันจะกระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ ออกซิเจนจะต้องแพร่กระจายผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำเข้าไปยังหยดน้ำมันผ่านชั้นระหว่างผิวของน้ำกับน้ำมัน ดังนั้นอัตราการเกิดออกซิเดชันจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วยเช่น ชนิดและความเข้มข้นของสารที่ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์(emulsifier) ขนาดของอนุภาค หยดน้ำมัน พื้นที่ผิวของหน้าสัมผัส(interface) ความหนืดของตัวกลางที่เป็นน้ำ ค่าพีเอช ส่วนประกอบและความพรุน(porosity)ของตัวกลาง

2.1.1.9 เอนไซม์ไลพอกซิเจนเนส(lipoxigenase) เอนไซม์ไลพอกซิเจนเนสสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมันในกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนพันธะคู่หลายพันธะ(polyunsaturated fatty acid) โดยมี cis,cis-1,4-pentadiene unit ดังนั้นกรดลิโนลีอิคกรดลิโนลีนิค และกรดอะราชิโดนิคหรือเอสเทอร์(ester) และไตรเอซิลกลีเซอร์ไรด์ของกรดไขมันเหล่านี้จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี นอกจากนี้เอนไซม์ไลพอกซิเจนเนสยังทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนพันธะคู่หลายพันธะดังกล่าวเกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์โดยใช้พลังงานกระตุ้น(activated energy)ต่ำเพียง 4.3 กิโลแคลอรีโมลของสารตั้งต้นเท่านั้น จึงเป็นเหตุผลสนับสนุนที่แสดงว่ากรดไขมันเหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายมากที่อุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้เอนไซม์ไลพอกซิเจนเนสยังสามารถเปลี่ยนกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดซีส(cis-unsaturated fatty acid)ให้เป็นชนิดทราน(trans-unsaturated fatty acid)ได้ อย่างไรก็ตามในการผลิตถั่วเมล็ดแห้งเอนไซม์ไลพอกซิเจนเนสจะถูกกระตุ้นด้วยน้ำที่มีอยู่ในถั่วเมล็ดแห้งได้ โดยเอนไซม์ดังกล่าวจะเพิ่มออกซิเจนให้แก่กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวในน้ำมันของถั่วเมล็ดแห้ง โดยเฉพาะกรดลิโนลิอิคจะก่อให้เกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งสลายตัวต่อไปให้ถั่วเมล็ดแห้งมีกลิ่นรสเสียไป ดังนั้นการผลิตถั่วเมล็ดแห้งจึงจำเป็นต้องทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าวโดยการใช้ไอน้ำเดือดที่ 1 บรรยากาศนาน 15 นาที ปรากฏว่าวิธีนี้สามารถทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซิเจนเนสได้ถึง 95% จากนั้นจึงเก็บถั่วเมล็ดแห้งไว้ในภาชนะบรรจุภายใต้สุญญากาศได้นาน 8 เดือนที่อุณหภูมิห้องโดยถั่วเมล็ดแห้งจะไม่เกิดการเหม็นหืน

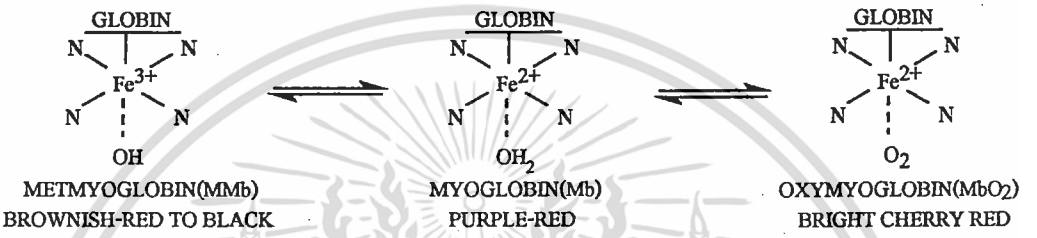
2.1.2 ผลที่เกิดจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน

เมื่อไขมันและน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารเสื่อมคุณภาพเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้บริโภคและระบบชีวภาพของสิ่งมีชีวิตคือในขั้นตอนแรกของการเกิดปฏิกิริยาจะได้สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีกลิ่นรส แต่เมื่อสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์สลายตัวจะให้สารประกอบในกลุ่มของแอลดีไฮด์ สารประกอบคาร์บอนิล กรดต่างๆเช่น กรดฟอร์มิค(formic acid) กรดอะซีติค(acetic acid) กรดโพรพิออนิค(propionic acid) และกรดไอโซเลอริค(isovaleric acid) ซึ่งผลิตผลที่ได้ในขั้นตอนนี้ส่วนมากจะเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติได้ในผลิตภัณฑ์อาหาร สำหรับผลกระทบต่อระบบชีวภาพของสิ่งมีชีวิตเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันคือทำให้การเจริญเติบโตช้าลงเนื่องจากขาดโปรตีน และวิตามินที่เป็นสารอาหารสำคัญไป จากการศึกษาของนักวิจัยพบว่าเมื่อใช้น้ำมันข้าวโพดที่ถูกให้ความร้อนถึง 200°ซ นาน 24 ชั่วโมงมาเป็นอาหารของหนูทดลอง ผลปรากฏว่าหนูทดลองจะป่วยเป็นโรคท้องร่วงอย่างรุนแรง ขนฝ่อ และเบื่ออาหาร จากผลการทดลองนี้ได้ยืนยันว่าความเป็นพิษที่เกิดขึ้นในหนูทดลองเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น ซึ่งการเลี้ยงหนูทดลองด้วยไขมันที่ถูกออกซิไดซ์แล้วจะทำให้หนูทดลองต้องการอาหารเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าหนูทดลองจะต้องการโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะมีผลไปทำลายกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในโปรตีนทำให้โปรตีนในอาหารเสื่อมคุณภาพ

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

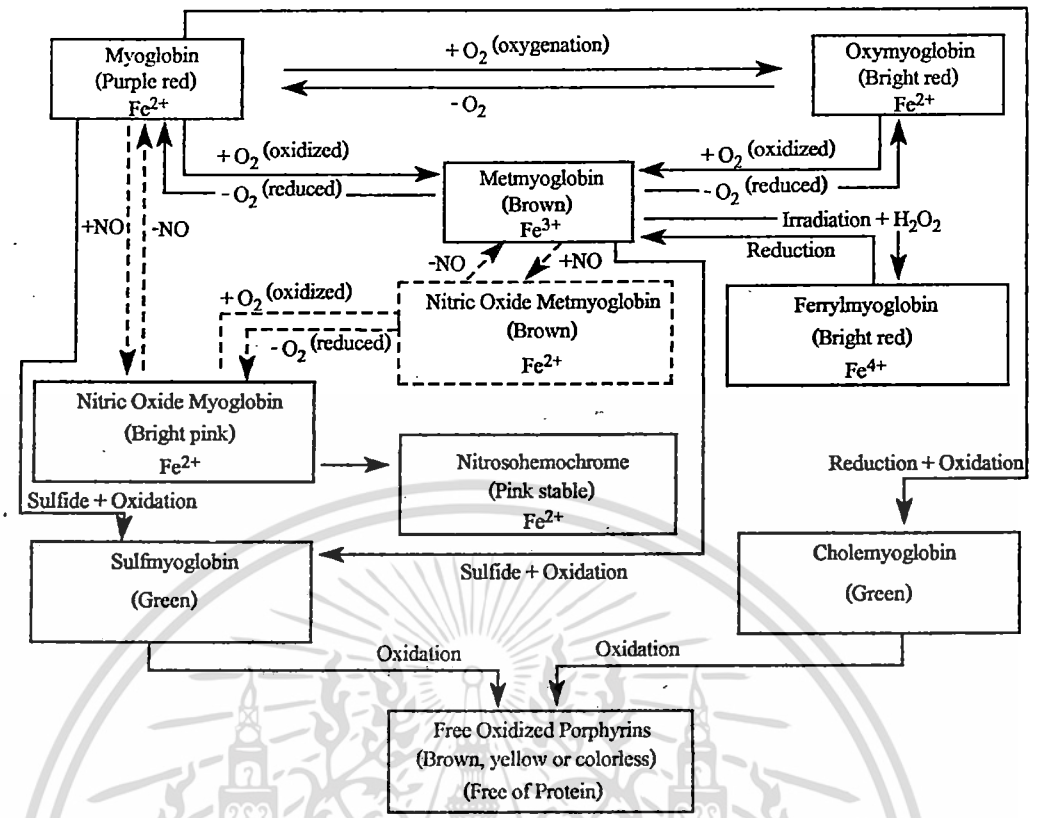
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสดเริ่มต้นจากเนื้อสัตว์ที่อยู่ในภาวะที่มีออกซิเจน ไมโอโกลบินจะรวมตัวกับออกซิเจนด้วยพันธะโคเวเลนต์เป็นออกซีไมโอโกลบิน(oxymyoglobin, MbO_2) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซีจีเนชัน(oxygenation)และย้อนกลับเปลี่ยนไปมาได้ ทั้งไมโอโกลบินและออกซี-ไมโอโกลบิน จะมีเหล็กไอออนอยู่ในโมเลกุลในรูปของเฟอร์รัสไอออน(Fe^{2+})ซึ่งทำให้เนื้อสัตว์มีสีแดง เมื่อไมโอโกลบินเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเฟอร์รัสไอออนจะเปลี่ยนรูปเป็นเฟอร์ริกไอออน(Fe^{3+})ทำให้เนื้อสัตว์มีสีน้ำตาล สารประกอบที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าเมทไมโอโกลบินทำให้เนื้อสัตว์มีสีเปลี่ยนไปดังขั้นตอนข้างล่าง



ปฏิกิริยานี้เป็น dymamic colour cycle ของเนื้อสดที่เปลี่ยนกลับไปมาได้ การที่เนื้อสดมีสีแดงเนื่องจากไมโอโกลบินอยู่ในรูปของออกซีไมโอโกลบิน หลังจากนั้นสีจะเปลี่ยนไปเป็นสีม่วงแดงและสีน้ำตาลในที่สุด ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสีคือสภาวะออกซิเดชัน(oxidation state) ของเหล็กไอออนว่าอยู่ในรูปเฟอร์รัสไอออนหรือเฟอร์ริกไอออนและภาวะทางกายภาพของโปรตีนโกลบิน ดังนั้นถ้าเหล็กไอออนในโมเลกุลของรงควัตถุเนื้อสัตว์อยู่ในรูปของเฟอร์รัสไอออนเนื้อสัตว์จะมีสีแดง แต่ถ้าเหล็กไอออนในโมเลกุลของรงควัตถุไมโอโกลบินอยู่ในรูปของเฟอร์ริกไอออนเนื้อสัตว์จะมีสีน้ำตาล ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงสีในเนื้อสดและในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถสรุปได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่มา : Pearson and Gillett(1996)

ในกรณีของผลิตภัณฑ์ที่เติมสารประกอบไนเตรต เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีการเปลี่ยนแปลงสีดังนี้ กล่าวคือ เมื่อรงควัตถุไมโอโกลบินในเนื้อสัตว์ทำปฏิกิริยากับไนตริกออกไซด์ซึ่งเกิดจากสารประกอบไนเตรตขณะได้รับความร้อน จะได้เป็นไนตริกออกไซด์ไมโอโกลบินซึ่งทำให้เนื้อสัตว์มีสีแดง เมื่อไนตริกออกไซด์ไมโอโกลบินทำปฏิกิริยากับออกซิเจน(ถูก oxidized)จะได้ไนตริกออกไซด์เมทไมโอโกลบิน จากนั้นจะเกิดการแยกตัวของไนตริกออกไซด์ออกจากรงควัตถุไมโอโกลบิน สุดท้ายรงควัตถุไมโอโกลบินจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจนกระทั่งได้เมทไมโอโกลบิน ซึ่งสีของเนื้อสัตว์จะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำตาลอย่างสมบูรณ์ ถ้าอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมหรือมีการเติมสารรีดิวซ์(reducing agent) เช่น แอสคอร์เบต ปฏิกิริยาดังกล่าวจะสามารถผันกลับได้และเนื้อสัตว์จะมีสีแดงได้อีกครั้ง นอกจากนี้สารดังกล่าวยังสามารถผลิตไนตริกออกไซด์ออกมาได้เรื่อยๆ ดังนั้นจึงมีไนตริกออกไซด์ออกมาจับกับรงควัตถุไมโอโกลบินในเนื้อสัตว์ตลอดเวลาทำให้เนื้อสัตว์มีสีแดงได้อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 อาหารดังกล่าวมีปริมาณน้ำมากและมีสารถูกละลาย(solute)ไม่เพียงพอต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ถ้าหากสารละลายถูกละลายเพิ่มขึ้นถึงจุดที่ทำให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้อยู่ในระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ก็จะทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารได้นานขึ้น การเสื่อมเสียจะลดลง ความปลอดภัยจะมีมากขึ้น ลักษณะบางประการเช่นเนื้อสัมผัสของอาหารยังคงมีสภาพดีอยู่ อาหารที่ลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้อยู่ในช่วง 0.65-0.85 หรือมีความชื้นสัมพัทธ์(relative humidity) 65-85% และมีความชื้นประมาณ 15-30% จะเรียกอาหารประเภทนี้ว่าอาหารกึ่งแห้งหรือ intermediate moisture food เช่น กุนเชียง เนยแข็งบ่ม แฮมแห้ง ฟรุ๊ตเค้ก แยม ผลไม้แห้ง ลูกกวาด รวมทั้งอาหารสัตว์เป็นต้น อาหารกึ่งแห้งเป็นอาหารที่มีความชื้นต่ำซึ่งเป็นระดับที่จุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียไม่สามารถเจริญเติบโตได้แต่อาจมีปัญหาในเรื่องของเชื้อรา และยีสต์ที่อาจจะเจริญเติบโตได้ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่อาจเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทนี้ในระหว่างการเก็บรักษา ถึงแม้ว่าปัจจุบันจะมีการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในการผลิตก็ตาม ตัวอย่างของปฏิกิริยาเคมีที่อาจเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน การเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์(non-enzymatic browning reation) 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-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นมีสมบัติในการรวมตัวกับน้ำ โดยจับน้ำส่วนที่เหลืออยู่ในอาหารทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถนำน้ำดังกล่าวไปใช้ในการเจริญเติบโตได้อาหารจึงมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กึ่งแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้อยู่ในช่วง 0.65-0.85 และมีความชื้นประมาณ 15-30% ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จึงสามารถเก็บรักษาและวางจำหน่ายภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้องในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นได้เป็นระยะเวลานานโดยไม่ต้องแช่แข็ง เนื่องจากมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้อยู่ในระดับต่ำซึ่งเป็นระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ และส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ยังมีองค์ประกอบของเกลือ(1.7-9%)และน้ำตาล(15-35%)ในปริมาณสูง ซึ่งส่วนผสมทั้งสองชนิดเมื่อละลายจะรวมตัวกับน้ำเพื่อดึงน้ำออกจากอาหาร ทำให้อาหารมีปริมาณน้ำลดลงจุลินทรีย์จึงไม่สามารถจะใช้น้ำได้ และสารดังกล่าวยังสามารถดึงน้ำออกจากเซลล์ของจุลินทรีย์ได้อีกด้วย เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มข้นสูงกว่า(high osmotic pressure) ทำให้เซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์เกิดการเหี่ยวย่น พิการ และตายในที่สุด

หมูแผ่นเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์บดหยาบกึ่งแห้งชนิดหนึ่ง ขั้นตอนการผลิตหมูแผ่นจะใช้เนื้อที่ผ่านการบดหยาบแล้วมาผสมกับเครื่องปรุงรสต่างๆเช่น ซีอิ๊วขาว น้ำตาล และเครื่องเทศ หลังจากนั้นจะนำมาเกลี่ยเป็นแผ่นบางๆแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 65°ซ ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาตัดเป็นแผ่นและบรรจุเพื่อรอจำหน่ายต่อไป หรืออาจจะนำมาทำให้สุกแล้วจำหน่ายในรูปของเนื้อสัตว์ปรุงสุกพร้อมบริโภคก็ได้ ถึงแม้ว่าหมูแผ่นหรือผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กึ่งแห้งชนิดอื่นๆจะมีความคงทนต่อการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ แต่ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะมีไขมันเป็นองค์ประกอบที่สูง จึงมักเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีของกรดไขมันทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสที่ผิดปกติซึ่งผู้บริโภคไม่ยอมรับ ดังนั้นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กึ่งแห้งจึงนิยมเติมสารกันหืนลงไปด้วยเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมัน

2.3 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน(antioxidant)

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหาร สามารถยับยั้งได้ด้วยการใช้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือสารกันหืน สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นวัตถุเจือปนอาหารชนิดหนึ่งที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย เพื่อช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงต่างๆของผลิตภัณฑ์อาหารที่เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเปลี่ยนแปลงต่างๆที่กล่าวรวมถึง การเกิดกลิ่นหืน(rancidity)ของไขมัน น้ำมันและอาหารที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบ การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ การเกิดสีน้ำตาลในผักหรือผลไม้ และการเกิดออกซิเดชันของน้ำผลไม้ประเภทส้ม เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลต่อเนื่องให้มีการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร และบางครั้งอาจมีสารพิษเกิดขึ้นด้วย ตัวอย่างของการสูญเสียคุณค่าทางอาหารที่สำคัญได้แก่ การสูญเสียวิตามินที่สามารถถูกออกซิไดส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ได้ง่าย เช่น แคโรทีน วิตามินเอ ซี และอี เป็นต้น การเกิดออกซิเดชันของน้ำมันที่ใช้บริโภคมักมีผลต่อเนื่องทำให้มีการสูญเสียแคโรทีน และวิตามินชนิดที่ละลายได้ในน้ำมันด้วย การเกิดออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหย(essential oils)ในน้ำผลไม้ประเภทส้ม เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นและรสที่ไม่ดีเกิดขึ้นได้ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องมาจากมีการเกิดออกซิเดชันของออกซีไมโอโกลบินไปเป็นเมทไมโอโกลบิน เป็นต้น การเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งหมดนี้สามารถยับยั้งได้ด้วยการใช้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น และให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระทำให้อนุมูลอิสระอยู่ในสภาพที่เสถียรไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อีก สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมี 2 ชนิดคือ สารที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี(synthetic antioxidant) เช่น โพรพิลแกลเลต บีเอชเอ บีเอชที และทีบีเอชคิว เป็นต้น ส่วนสารอีกชนิดคือสารที่ได้จากธรรมชาติ(natural antioxidant) เช่น วิตามินอี และเฟลโวนอยด์(flavonoids) สารเหล่านี้จะทำหน้าที่หลักในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเรียกสารเหล่านี้ว่า สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันชนิดปฐมภูมิ(primary antioxidant) มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

$$AH + RO^{\bullet} \longrightarrow ROH + A^{\bullet}$$
$$AH + ROO^{\bullet} \rightleftharpoons ROOH + A^{\bullet}$$
$$RH + A^{\bullet} \longrightarrow AH + R^{\bullet}$$
$$AH + ROO^{\bullet} \rightleftharpoons [ROO^{\bullet}\,AH]\ \text{complex}$$
$$[ROO^{\bullet}\,AH] \longrightarrow \text{Non-radical products}$$
$$A^{\bullet} + A^{\bullet} \longrightarrow AA$$
$$A^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow RA$$
$$A^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOA$$

จากสมการข้างต้นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจะจับกับอัลคอซิลเรดิเคิล(alkoxyl radical, $RO^{\bullet}$) และเปอร์ออกซิลเรดิเคิล(peroxy radical, $ROO^{\bullet}$) โดยให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียรมากขึ้น เมื่อสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือแอนติออกซิเดนซ์ให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระแล้วก็จะกลายเป็นอนุมูลอิสระของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน(antioxidant free radical, $A^{\bullet}$) ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกโมเลกุลเกิดเป็นสารที่เสถียร ส่วนสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน(AH)ที่เกิดขึ้นก็จะรวมตัวกับเปอร์ออกไซด์เรดิเคิลเกิดเป็น[$ROO^{\bullet}AH$] ซึ่งสารนี้เป็นอนุมูลอิสระของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีความเสถียรมากเนื่องจากมันเกิด resonance delocalization สูง คือ

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

58917

อิเล็คตรอนจะเคลื่อนที่ไปทั้งวงแหวน ดังนั้นออกซิเจนจึงเข้าทำปฏิกิริยาไม่ได้จึงเป็นการหยุดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ก็เช่นเดียวกันเมื่ออนุมูลอิสระของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจนจึงต้องรวมตัวกันเอง เป็นการหยุดอนุมูลอิสระของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและได้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือแอนติออกซิเดนซ์กลับคืนมา

สำหรับสารที่นิยมเติมไปพร้อมกับสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่น ฟอสโพลิปิด วิตามินซี กรดซิตริค กรดอะมิโน สาร EDTA(ethylenediamine tetraacetic acid) เป็นต้น สารเหล่านี้มีชื่อเรียกว่า สารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืน(synergism antioxidant) สารเหล่านี้จะทำงานร่วมกับสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันปฐมภูมิเพื่อให้การต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดได้สมบูรณ์ที่สุด โดยจะทำหน้าที่จับอนุมูลอิสระของโลหะให้อยู่ในรูปที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้ หยุดปฏิกิริยาการแตกตัวของเปอร์ออกไซด์ซึ่งเกิดจากการกระตุ้นของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันปฐมภูมิและเปลี่ยนรูปของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันปฐมภูมิให้อยู่ในรูปรีดิวซ์

2.4 กระเจี๊ยบแดง

กระเจี๊ยบแดง เป็นพืชล้มลุกที่ปลูกได้ทั่วไปในประเทศที่อยู่ในเขตร้อน โดยมีชื่อทางพฤษศาสตร์ว่า *Hibiscus sabdariffa* Linn อยู่ในตระกูลของ MALVACEAE มีชื่อภาษาอังกฤษว่า red sorrel, roselle, jamaica sorrel หรือ karkade กระเจี๊ยบแดงเริ่มรู้จักและนำมาใช้ประโยชน์ทางอาหารและเภสัชตั้งแต่ปีค.ศ. 1658 ประโยชน์ทางอาหารของกระเจี๊ยบแดงส่วนใหญ่นำมาประกอบอาหารเช่น ทำเครื่องดื่ม แยม เยลลี่ ซอส ไวน์ และใช้เป็นสีผสมอาหาร สำหรับประโยชน์ทางการแพทย์และเภสัชกระเจี๊ยบแดงสามารถใช้เป็นยาสมุนไพรเพื่อรักษาโรคต่างๆ เช่น ความดันโลหิตสูงและมะเร็ง เป็นต้น จากรายงานของ Lee และคณะ(2002) พบว่ากรดโปรโตแคทีชิวอิค (protocatechuic,PCA) ที่สกัดได้จากกระเจี๊ยบแดงมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยกรดชนิดนี้จะทำหน้าที่จับกับโลหะไอออนเช่น Cu^{2+} ซึ่งโลหะไอออนนี้จะมีผลไปกระตุ้นไลโพโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำ(low density lipoprotein)ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นเมื่อขาด Cu^{2+} ที่เป็นสารกระตุ้นจึงทำให้การเกิดออกซิเดชันของไลโพโปรตีนชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำลดลงเป็นผลทำให้ความเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจลดลงด้วย และจากการศึกษาในระบบจำลองของ Chewonarin และคณะ(1999) พบว่าสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยเอทานอล 80% มีผลยับยั้งการกลายพันธุ์ในเชื้อ *Salmonella typhimurium* ได้ถึง 60-90% และสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงยังมีผลเป็นสารต้านมะเร็งธรรมชาติ(natural chemopreventive agent) ด้วยโดยทางการแพทย์จะใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดเซลล์มะเร็ง นอกจากนี้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงยังมีสมบัติทำลายเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราได้ จากการศึกษาของ El-Shayeb และ Mabrouk(1984) แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากกระจี๊ยบแดงสามารถลดการเจริญเติบโตของเชื้อรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aspergillus flavus ได้และยังมีผลยับยั้งการก่อตัวของสารอะฟลาทอกซิลได้ 42-85% นอกจากการต้านการเจริญเติบโตของเชื้อราแล้ว สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงยังมีผลทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกหลายชนิดเช่น *E.coli*, *Pasteurella multocida*, *Streptococcus*, *Proteus vulgaris* และ *Pyocyanus* (Mishra *et al*., 1999)

องค์ประกอบของกระเจี๊ยบแดงส่วนใหญ่ประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคส กรดซัคซินิค (succinic acid) และกรดออกซาลิค(oxalic acid) เนื่องจากมีกรดเป็นองค์ประกอบหลายชนิดทำให้กระเจี๊ยบแดงมีพีเอชอยู่ระหว่าง 2-3 ซึ่งมีผลทำให้กระเจี๊ยบแดงมีรสชาติเปรี้ยว สีแดงของกลีบกระเจี๊ยบประกอบด้วยรงควัตถุที่จัดอยู่ในกลุ่มของเฟลโวนอยด์ รงควัตถุนี้มีชื่อว่า แอนโธไซยานิน นิยมใช้เป็นสารให้สีแดงในแยม เยลลี และเครื่องดื่มน้ำผลไม้ แอนโธไซยานินในกระเจี๊ยบแดงประกอบด้วย เดลฟินิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์(delphinnidin-3-sambubioside) เป็นรงควัตถุที่ทำให้เกิดสีม่วงแดงในกระเจี๊ยบแดงโดยมีปริมาณมากที่สุด รงควัตถุที่พบรองลงมาคือ ไซยานิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์(cyanidin-3-sambubioside) โดยอัตราส่วนของรงวัตถุทั้งสองชนิดในกระเจี๊ยบแดงเป็นร้อยละ 70.9 : 29.1 ของปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด จากการวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดในกระเจี๊ยบแดงพบว่าใน 100 กรัมของกระเจี๊ยบแดงแห้ง จะมีแอนโธไซยานินอยู่ 1.5 กรัม(ในรูปของน้ำหนักแห้ง) ซึ่งแอนโธไซยานินที่วิเคราะห์ได้นี้แสดงอยู่ในรูปของเดลฟินิดิน-3-กลูโคไซด์(delphinnidin-3-glucoside)(Bridle and Timberlake, 1997) แอนโธไซยานินมีสมบัติละลายได้ดีในน้ำ อะซีโตน และแอลกอฮอล์ ไม่ละลายในปิโตรเลียมอีเทอร์ และเบนซีน สีของแอนโธไซยานินสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามความเป็นกรด-ด่าง คือในสภาพที่เป็นกรดจะให้สีแดงเข้ม ในสภาพที่เป็นกลางจะให้สีชาแดง และในสภาพที่เป็นด่างจะให้สีเขียวคล้ำจนถึงสีชาแก่ เนื่องจากสีของแอนโธไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงมีสีสรรสวยงาม จึงนิยมใช้เป็นสีผสมอาหารธรรมชาติซึ่งสามารถใช้แทนสีผสมอาหารชนิดสังเคราะห์ได้ดี และสมบัติอีกอย่างหนึ่งของแอนโธไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงคือเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์พบว่าแอนโธไซยานินมีส่วนช่วยทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในหลอดทดลองและสัตว์ทดลองได้เป็นอย่างดี(Tee *et al*., 2002; Duh and Yen, 1997 and Tseng *et al*., 1997) ดังนั้นจึงทำให้แอนโธไซยานินมีความสำคัญในแง่อื่นๆมากขึ้นนอกเหนือจากใช้เป็นสีผสมอาหาร

2.5 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบในกระเจี๊ยบแดง

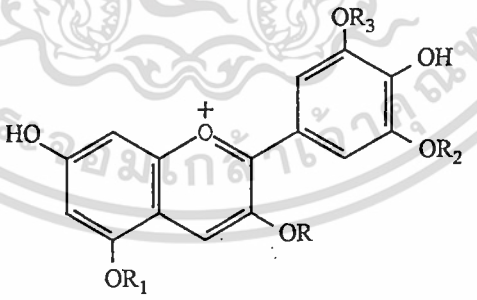
2.5.1 แอนโธไซยานิน(Anthocyanins)

แอนโธไซยานิน เป็นรงควัตถุที่พบมากที่สุดในกระเจี๊ยบแดงเป็นรงควัตถุที่จัดอยู่ในกลุ่มของเฟลโวนอยด์ โมเลกุลของแอนโธไซยานินประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาล(glycone) และส่วนที่ไม่ใช่น้ำตาล(aglycone) เรียกว่า แอนโธไซยานิดิน(anthocyanidin) ปัจจุบันค้นพบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่า 20 ชนิด แต่มีเพียง 6 ชนิดที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและทางด้านเภสัชกรรมได้แก่ พีลาร์โกนิดิน(pelargonidin) ไซยานิดิน(cyanidin) เดลฟินิดิน (delphinnidin) พีโอนิดิน(peonidin) พีทูนิดิน(petunidin) มาลวิดิน(malvidin) สามารถแยกส่วนที่เป็นน้ำตาลและส่วนที่ไม่ใช่น้ำตาลของแอนโธไซยานินออกจากกันได้ด้วยการไฮโดรไลซิสด้วยกรด สำหรับในกระเจี๊ยบแดงจะพบแอนโธไซยานินเฉพาะส่วนที่อยู่ในรูปของไกลโคไซด์(glycoside)เท่านั้นคือส่วนที่รวมกับน้ำตาลเป็นเอสเทอร์ น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของแอนโธไซยานินจะมี 1, 2 หรือ 3 โมเลกุลก็ได้และเป็นได้ทั้ง โมโน- ได- และไตรแซ็คคาร์ไรด์ โมเลกุลของน้ำตาลส่วนใหญ่จะเกาะกับหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของแอนโธไซยานิน โดยเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันที่อะตอมของคาร์บอนตำแหน่ง 3 ในโมเลกุลของแอนโธไซยานิน ถ้าเป็นไดไกลโคไซด์จะเกาะกับหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3 และ 5 ของหมู่ไฮดรอกซิล น้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์ที่พบได้แก่ น้ำตาลกลูโคส(glucose) กาแล็กโทส(galactose) แรมโนส(rhamnose) อะราบิโนส(arabinose) และไซโรส(xylose) สำหรับน้ำตาลไดแซ็กคาไรด์ที่พบได้แก่ รูติโนส(rutinose หรือ L-rhamnosyl(α1→ 6)D-glucose) เจนทิโอไบโอส(gentiobiose หรือ D-glucosyl(β1→ 6)D-glucose) โซฟอโรส(sophorose หรือ D-glucosyl (β1→ 2)D-glucose) และแซมบูไบโอส(sambubiose หรือ D-xylosyl (β1→ 2)D-glucose)

โครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุลแอนโธไซยานิน ประกอบด้วยวงแหวนเบนโซไพแรน(benzopyran) 2 วงต่อกับวงแหวนฟีนิล(phenyl ring) 1 วง และแอนโธไซยานินจะมีประจุบวก(flavylium cation)ในโครงสร้างด้วย จึงทำให้ว่องไวต่อปฏิกิริยามากและสามารถไอออนไนซ์(ionize)ได้ง่าย โครงสร้างของแอนโธไซยานินแสดงดังภาพที่ 2.4



R, R_1, R_2, R_3, = H หรือโมเลกุลของน้ำตาล

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของแอนโธไซยานิน

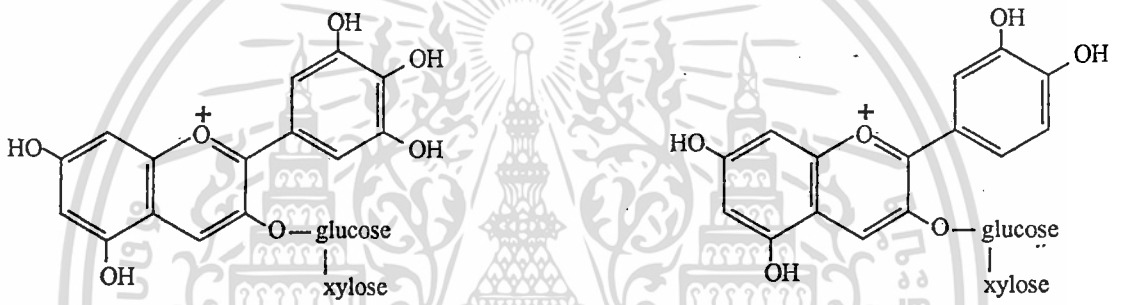
ที่มา : Mishra และคณะ(1999)

โดยทั่วไปแล้วแอนโธไซยานินมักมีสีแดงเข้มเมื่อพีเอชต่ำกว่า 3.5 และมีสีเปลี่ยนจากแดงไปเป็นสีน้ำเงินเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแอนโธไซยานินเหมาะที่จะเติมลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

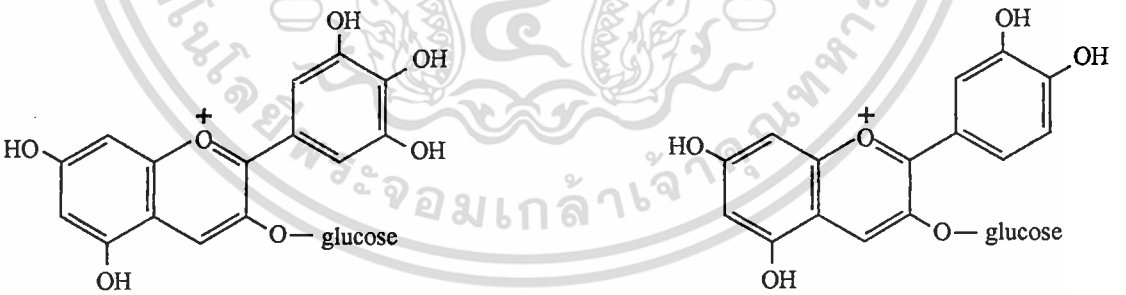
ในอาหารที่เป็นกรด ในกรณีที่มีกรดอะมิโน สารประกอบฟีนอล กรดแอสคอร์บิคและความเข้มข้นของน้ำตาลสูงจะมีผลเร่งอัตราเร็วของการสลายตัวของแอนโธไซยานินให้เกิดเร็วขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาคอนเดนเซชัน(condensation)ของแอนโธไซยานินกับสารประกอบเหล่านี้ นอกจากนี้แล้วกระบวนการแปรรูปอาหารและการเก็บรักษายังมีผลเร่งให้แอนโธไซยานินสลายตัวเร็วขึ้นเช่น การใช้อุณหภูมิสูงในการแปรรูปและการเก็บรักษาในสภาวะที่มีออกซิเจน

แอนโธไซยานินที่เป็นองค์ประกอบหลักในกระเจี๊ยบแดงคือ เดลฟินิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์(delphinnidin-3-sambubioside) เป็นรงควัตถุที่ทำให้กระเจี๊ยบมีสีแดงและไซยานิ-ดิน-3-แซมบูไบโอไซด์(cyanidin-3-sambubioside) สำหรับแอนโธไซยานินที่พบรองลงมาคือ เดลฟินิ-ดิน-3-กลูโคไซด์(delphinnidin-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)

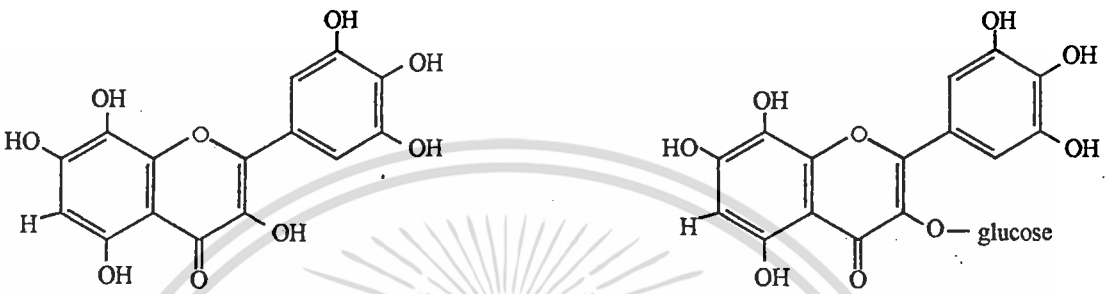
ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์
(Cyanidin-3-glucoside)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ไฮบิสซีทิน(Hibiscetin) และไฮบิสซิทริน(Hibiscitrin)

ไฮบิสซีทิน($C_{15}H_{10}O_9$) และไฮบิสซิทริน($C_{27}H_{30}O_{19}$) เป็นสารประกอบที่อยู่ในกลุ่มของเฟลโวนอยด์พบในกระเจี๊ยบแดงมีปริมาณน้อย แต่ก็มีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เช่นเดียวกับแอนโธไซยานิน โครงสร้างของสารประกอบทั้งสองชนิดแสดงดังภาพที่ 2.6



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

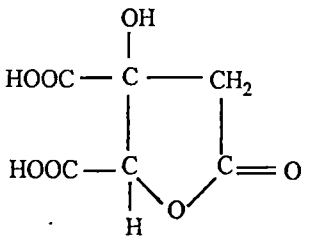
ไฮบิสซิทริน($C_{27}H_{30}O_{19}$)
(Hibiscitrin)

ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของไฮบิสซีทินและไฮบิสซิทริน
ที่มา : Mishra และคณะ(1999)

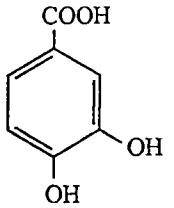
2.5.3 กรดไฮบิสคัส(Hibiscus acid) และ โปรโตแคทีชิวอิค(Protocatechuric acid)

กรดไฮบิสคัส และกรดโปรโตแคทีชิวอิคเป็นกรดที่พบได้ในกระเจี๊ยบแดงมีโครงสร้างดังภาพที่ 2.7 จากการศึกษาของ Lee และคณะ(2002) พบว่ากรดโปรโตแคทีชิวอิคเป็นสารประกอบในกลุ่มของกรดฟีนอลิค(phenolic acid) ซึ่งสกัดแยก(isolated)ได้จากกระเจี๊ยบแดง กรดชนิดนี้มีสมบัติเป็นสารต้านสารก่อมะเร็ง(anticarcinogenesis) และมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย โดยจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากรดโปรโตแคทีชิวอิคสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไลโพโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำได้ ซึ่งส่งผลให้อัตราเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดแข็งตัว(atherosclerosis)ลดลงและเป็นผลให้อัตราเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กรดไฮบิสคัส
(Hisbiscus acid)



กรดโปรโตแคทีชิวอิค
(Protocatechuic acid)

ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของไฮบิสคัสและกรดโปรโตแคทีชิวอิค
ที่มา : Lee และคณะ(2002)

2.6 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง

กระเจี๊ยบแดงเป็นพืชสมุนไพรที่พบได้ทั่วไปในประเทศที่อยู่ในเขตร้อน ปัจจุบันพบว่าสารสกัดที่ได้จากกระเจี๊ยบแดงมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี ดังนั้นจึงมีนักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงมากมาย ทั้งที่ทำการทดสอบในหลอดทดลองและในสัตว์ทดลองซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Tee และคณะ(2002) ศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่สกัดโดยใช้เมทานอล แล้วติดตามประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการเกิด diene-conjugated compound ของกรดลิโนลีอิค และ thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ในระบบจำลองของกรดลิโนลีอิค โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับบีเอชเอ และวิตามินอี ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารสกัดกระเจี๊ยบแดงมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่า บีเอชเอและวิตามินอี โดยที่ระดับความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน(ppm) ของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงสามารถยับยั้งการเกิด diene-conjugated compound ได้มากกว่า 85% แสดงว่าสารสกัดกระเจี๊ยบแดงเป็นแหล่งของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติได้ดีซึ่งสามารถปกป้องร่างกายจากอนุมูลอิสระและจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์-ออกซิเดชันได้ โดยสมบัติดังกล่าวอาจเป็นผลมาจาก วิตามินซี เบต้าแคโรทีน และสารประกอบฟีนอลิคโดยเฉพาะแอนโธไซยานินในกระเจี๊ยบแดง

Wang และคณะ(2000) ศึกษาผลของสารไฮบิสคัส แอนโธไซยานิน(Hibiscus anthocyanin, HAs) ต่อการทำลาย tert-butyl hydroperoxide(t-BHP เป็นสารที่เมตาบอไลส์เป็นอนุมูลอิสระได้) ซึ่งทำให้เกิดความเป็นพิษต่อตับ(hepatic toxicity)ในหนูทดลอง และการทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุมูลอิสระของ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrozyl(DPPH) ผลการทดลองพบว่าสารไฮบิสคัสแอนโธไซยานิน สามารถทำลายอนุมุลอิสระ DPPH และลดการเกิดความเป็นพิษต่อตับที่เกิดจาก t-BHP ได้ภายในเวลา 5 วัน แสดงว่าแอนโธไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงมีสมบัติทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในหลอดทดลองและลดการเกิดโรคบางชนิดในสัตว์ทดลองได้ดี

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

Tseng และคณะ(1997) ศึกษาผลของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงต่อการป้องกันการเกิด oxidative stress ในหนูทดลองและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยแบ่งกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยเอทานอลเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่ละลายในคลอร์โรฟอร์ม เอทิลอะซีเตท และส่วนที่เป็นกาก แล้วทดสอบสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้วิธีการทำลายอนุมูลอิสระของ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrozyl(DPPH) และสมบัติการยับยั้งเอนไซม์แซนธีนออกซิเดส(xanthin oxidase) ผลการทดสอบพบว่า ส่วนที่ละลายในเอทิลอะซีเตทมีสมบัติทำลายอนุมูลอิสระของ DPPH ได้ดี ส่วนที่ละลายในคลอโรฟอร์มมีสมบัติยับยั้งผลของเอนไซม์แซนธีนออกซิเดสได้ดี นอกจากนี้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง(ส่วนที่ละลายในคลอร์โรฟอร์มและเอทิลอะซีเตท)มีผลป้องกันการเกิด oxidative stress ในหนูทดลองได้

2.7 เปลือกและเมล็ดพืชตระกูลส้ม

ส้มเขียวหวานมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Citrus reticulata* Blanco อยู่ในตระกูลของ RUTACEAE มีลักษณะเป็นไม้พุ่มยืนต้น ปลูกได้ในบริเวณพื้นที่เขตร้อนและกึ่งร้อนจึงมีการปลูกอยู่ทั่วโลก ส้มเป็นผลไม้ที่นิยมรับประทานทั้งส่วนที่เป็นเนื้อหรือเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำส้มคั้นก็ได้ สำหรับในกระบวนการผลิตน้ำส้มคั้นนั้นโดยทั่วไปจะได้ส่วนที่เป็นน้ำประมาณ 50% ที่เหลือจะเป็นวัสดุเหลือทิ้งซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ เปลือกและเมล็ด โดยมีส่วนของกากที่ได้จากการคั้นน้ำเล็กน้อย(Braddock, 1995) ได้มีการนำเปลือกส้มมาใช้ประโยชน์โดยเป็นแหล่งของผลิตภัณฑ์พลอยได้ต่างๆเช่น โมแลส(molasses) เพคติน น้ำมันหอมระเหย และลิโมนีน นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์อีกด้วย สำหรับเมล็ดส้มนั้นเป็นแหล่งของน้ำมันที่มีองค์-

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง แต่ยังไม่ได้มีการสกัดน้ำมันเมล็ดส้มในเชิงการค้า เนื่องจากปัญหาในการรวบรวมเมล็ดส้มให้ได้ปริมาณมากพอในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเพื่อการผลิต เมล็ดส้มยังเป็นแหล่งของลิโมนอยด์ซึ่งเป็นพฤกษเคมีที่พบเฉพาะในพืชตระกูลส้มสารดังกล่าวมีรสขมมาก และพบว่ามีสมบัติในการยับยั้งการเกิดเซลล์มะเร็งในสัตว์ทดลองได้ดี (Bocco *et al.*, 1998; Braddock, 1995; Braddock and Cadwallader, 1992;)

นอกจากนี้เปลือกและเมล็ดพืชตระกูลส้มยังเป็นแหล่งของสารพฤษเคมีที่สำคัญมากมาย เช่น วิตามินซี เฟลโวนอยด์ และแอนโธไซยานิน เมื่อบริโภคส้มในรูปของผลสดก็จะได้รับสารเหล่านี้เข้าไปด้วย ซึ่งสารเหล่านี้จะมีผลดีต่อสุขภาพคือช่วยต้านอนุมูลอิสระ ต้านอาการอักเสบ อาการแพ้ต่างๆ ต้านไวรัส ต้านการกลายพันธุ์ และต้านสารก่อมะเร็ง นอกจากรับประทานในรูปของผลสดแล้วปัจจุบันได้มีการศึกษาและสกัดสารพฤษเคมีจากพืชตระกูลส้มมาใช้ในทางการแพทย์และเภสัชกรรมกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งพบว่าสารในกลุ่มของเฟลโวนอยด์ที่สกัดได้จากพืชตระกูลส้มให้ผลดีทั้งทางด้านการแพทย์และเภสัชกรรม จากรายงานของ Nogata และคณะ(1996) พบว่าสารสกัดที่สกัดได้จากส่วนของอัลเบโด(albedo)ของเลมอน มีผลยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไซโดออกซีเจนเนส(cyclooxygenase) และไลพอกซีเจนเนส(lipoxygenase) ซึ่งเป็นผลให้สามารถป้องกันการจับตัวกันของโลหิตเป็นลิ่ม(thromobosis) โรคหลอดเลือดแข็งตัว(atherosclerosis) และป้องกันการก่อมะเร็ง เฟลโวนอยด์อีกสองชนิดที่นำมาใช้ในทางการแพทย์และเภสัชกรรมคือ เฮสเปอริดิน(hesperidin) และไดโอสมิน(diosmin) ซึ่งเฟลโวนอยด์ทั้งสองชนิดจะเป็นส่วนผสมอยู่ในยาที่ใช้รักษาอาการเจ็บป่วยของคนไข้ โดยจะช่วยลดอาการอักเสบ อาการปวดบวม กำจัดอนุมูลอิสระและเพิ่มภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย สำหรับสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของเฟลโวนอยด์คือมีผลต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และไวรัสเช่น เควอร์เซติน(quercetin) และเฮสเปอริดิน มีผลยับยั้งการติดเชื้อของไวรัสเริม ไวรัสที่ทำให้เกิดโรคโปลิโอ ไวรัสไข้หวัดใหญ่(para-influenza virus) และไวรัสทางเดินหายใจชนิดหนึ่ง(ปาริชาติ, 2543; Benavente-Garcia *et al.*,1997) และจากการศึกษาของ Ramaswamy และคณะ(1972) แสดงให้เห็นว่าไบโอเฟลโวนอยด์(bio-flavonoid) จากพืชตระกูลส้มมีผลต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ โดยพบว่าโครงสร้างของเฟลโวนอยด์ที่เป็นอะไกลโคน(aglycones) มีสมบัติต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าเฟลโวนอยด์ไกลโคไซด์(glycosides) และยังพบอีกว่าพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2-3 ในโครงสร้างของวงแหวนซีมีส่วนสำคัญในการต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วย ซึ่งจากการทดลองนี้เฟลโวนอล(flavonols)มีผลต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด ส่วนแนวโน้มของการใช้สารสกัดจากพืชตระกูลส้มในอุตสาหกรรมอาหารนั้น ส่วนใหญ่จะใช้เพื่อเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากสารประกอบฟีนอลิค(phenolic compound) และสารประเภทเฟลโวนอยด์ในพืชตระกูลส้มมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เป็นอย่างดี จากการศึกษาของนักวิจัยจำนวนมากพบว่าสารประกอบฟีนอลิคจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติและสารประเภทเฟลโวนอยด์มีส่วนช่วยถนอมอาหารและยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้ยาวนานขึ้นได้ และยังพบว่าสารประกอบฟีนอลิคและสารประเภทเฟลโวนอยด์มีส่วนช่วยทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตด้วย(Milic *et al.*, 1998)

2.8 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบในพืชตระกูลส้ม

2.8.1 วิตามินซี

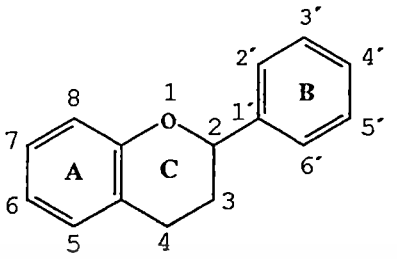
วิตามินซี เป็นวิตามินที่ละลายได้ในน้ำพบมากในพืชตระกูลส้ม แต่สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน การชะล้าง และการหั่น ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการรับประทานส้มสดๆ จึงจะได้รับวิตามินซีสูงสุด นอกจากนี้การเก็บส้มมาจากต้นนานเกินไปก็จะยิ่งเพิ่มการสูญเสียวิตามินซีมากขึ้น การทำหน้าที่เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของวิตามินซีส่วนใหญ่จะทำหน้าที่ร่วมกับวิตามินอีจึงจะให้ผลต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี วิตามินซีแสดงสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยทำหน้าที่ยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นบริเวณพันธะคู่ของกรดไขมันโดยทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นด้วยการเปลี่ยนไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันไปเป็นสารที่มีความเสถียรมากขึ้น(Mitsumoto *et al.*, 1991) และจับกับโลหะอิออนที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน(Frankel, 1996) ในเนื้อเยื่อของพืชวิตามินซีจะทำหน้าที่ปกป้องเซลล์ของพืชโดยการทำลายไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการออกซิเดชัน สำหรับในอาหารวิตามินซีจะทำหน้าที่กำจัดออกซิเจนที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยังทำหน้าที่เป็นสารคีเลท(chelating agent)อีกด้วย ถึงแม้ว่าวิตามินซีจะมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี แต่การใช้วิตามินซีก็มีข้อจำกัดด้วยคือ ถ้าใช้ในระดับความเข้มข้นสูงๆและอยู่ในสภาวะที่มีโลหะไอออนอยู่วิตามินซีจะแสดงสมบัติเป็นสารที่ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้(Mitsumoto *et al.*, 1991)พบว่าควรใช้วิตามินซีอยู่ระหว่าง 200-1000 ส่วนในล้านส่วน(ppm) จึงจะมีผลต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี

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) ดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

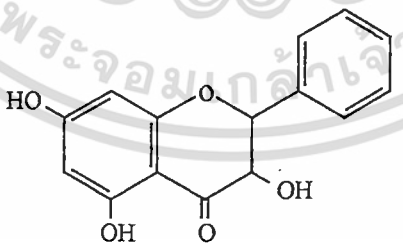
นั้นในธรรมชาติจึงมีสารเฟลโวนอยด์มากมาย(ปาริชาติ, 2543) โครงสร้างของเฟลโวนอยด์แสดงดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของเฟลโวนอยด์
ที่มา : ปาริชาติ(2543)

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

2.8.2.1 เฟลวาโนน(flavanones) เฟลวาโนนที่พบในพืชตระกูลส้มเช่น นารินจิน (naringin) เฮสเปอริดิน(hesperidin) นารินจีนิน(naringenin) โครงสร้างของเฟลวาโนนจะไม่มีพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2-3 ในวงแหวนซี(C- ring structure) ดังภาพที่ 2.9 ทำให้มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งจากการศึกษาของ Das และ Pereira(1993) แสดงให้เห็นว่านารินจีนินมีสมบัติยับยั้งการเกิดออโตออกซิเดชันของน้ำมันปาล์มอยู่ในระดับต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากนารินจีนินไม่มีพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2-3 ในวงแหวนซี

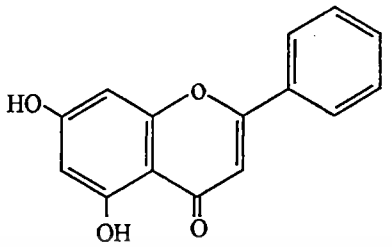


ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของเฟลวาโนน
ที่มา : Rice-Evans และคณะ(1997)

2.8.2.2 เฟลโวน(flavones) เฟลโวนที่พบในพืชตระกูลส้มมีความเข้มข้นอยู่ในระดับต่ำพบอยู่ในส่วนของเนื้อเยื่อส้ม(citrus tissue)เช่น อิพิจินิน(epigenin) ลูทีโอลิน(luteolin) ไดโอสมิทิน(diosmetin) และแทนเจอริทิน(tangeretin) โครงสร้างของเฟลโวนจะขาดหมู่ไฮดรอก-

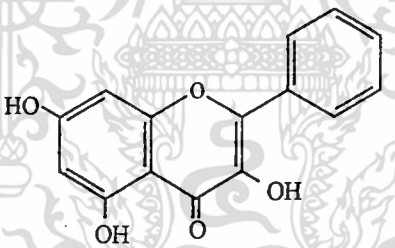
เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิล(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) เฟลโวนจะมีหมู่ 3-ไฮดรอกซิล(3-hydroxy)อยู่บนวงแหวนซี และหมู่ 5-ไฮ-ดรอกซิล(5-hydroxy)อยู่บนวงแหวนเอ(A- ring structure) ดังภาพที่ 2.11 จึงแสดงสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำลายอนุมูลอิสระได้ดีแม้จะพบในปริมาณน้อยก็ตาม



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างของเฟลโวนอล
ที่มา : Rice-Evans และคณะ(1997)

2.8.2.4 แอนโธไซยานิน(anthocyanin) สารในกลุ่มนี้เป็นสารให้สี พบเฉพาะในส่วนของน้ำส้ม(blood orange)ซึ่งมีสีส้มแดง เช่น ไซยานิดิน(cyanidin) พิโอนิดิน(peonidin) เดลฟีนิดิน(delphinidin) และพิทูนิดิน(petunidin) สารในกลุ่มนี้พบในปริมาณน้อยและมีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่เด่นชัดเท่ากับเฟลโวนอยด์

เฟลโวนอยด์เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันกลุ่มที่สำคัญมากกลุ่มหนึ่งที่พบได้ในพืชตระกูลส้มแต่จะมีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีและการเชื่อมต่อกันด้วยหมู่แทนที่ต่างๆ ดังนั้นในพืชตระกูลส้มจึงมีเฟลโวนอยด์ในลักษณะต่างๆมากมายแสดงดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีที่สำคัญและลักษณะการแทนที่ด้วยหมู่ต่างๆบนโมเลกุลของเฟลโวนอยด์ที่พบในพืชตระกูลส้ม

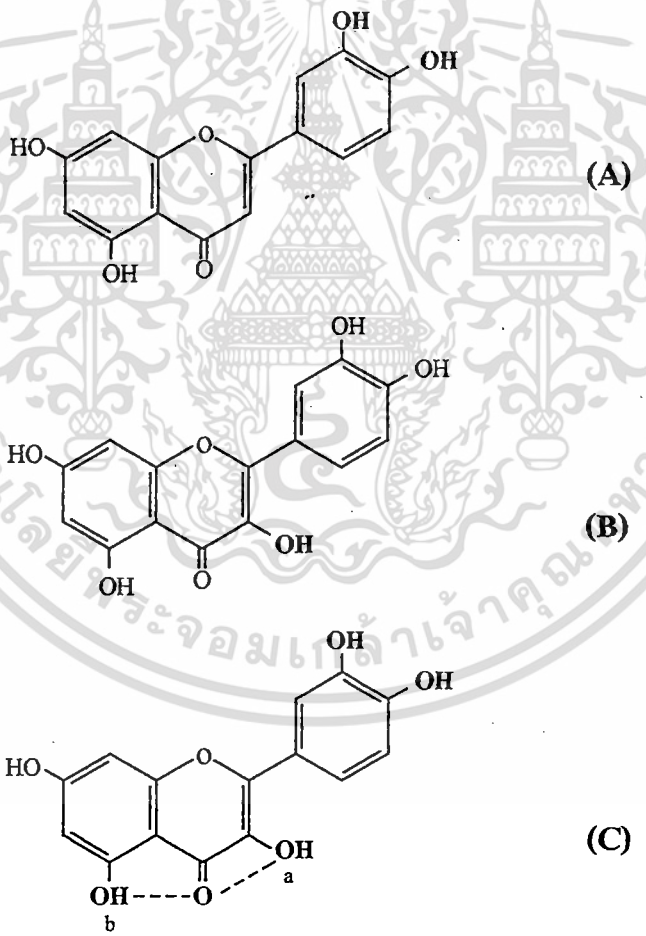
Flavonoid	*Citrus sp.*	C-ring structure[a]	Substitution pattern
naringin	*C.paradisi*	FLA	5,4′-OH
	C.aurantium		7-*O*-Neo[b]
neoeriocitrin	*C.aurantium*	FLA	5,3′,4′-OH
			7-*O*-Neo
hesperidin	*C.sinensis*	FLA	5,3′-OH, 4′-OMe
			7-*O*-Rut[b]
diosmin	*C.sinensis*	FLO	5,3′-OH
	C.limonia		4′-OMe
			7-*O*-Rut[b]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

[a]FLA, flavanone; FLO, flavone; FOL, flavonol. [b]Neo, neohesperidoside; Rut, rutinoside

ที่มา : Benavente-Garcia และคณะ(1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบในกลุ่มเฟลโวนอยด์ที่พบตามธรรมชาติในพืชส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีเมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งสมบัตินี้มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างทางเคมีและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเฟลโวนอยด์ โดยเฟลโวนอยด์จะเป็นสารที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียรมากขึ้นและ/หรือทำให้เกิดผลิตผลที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระในขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้หยุดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้(Wanasundara and Shahidi, 1994) นอกจากนี้แล้วเฟลโวนอยด์ยังทำหน้าที่เป็นสารที่จับกับโลหะอิออนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากเฟลโวนอยด์มีหมู่ออร์โทไดไฮดรอกซิล(ortho-dihydroxy,3′,4′-dihydroxy)บนวงแหวนบีและมีหมู่ 4-oxo(C=O)บนวงแหวนซี ซึ่งมีส่วนสำคัญในการเพิ่มสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเฟลโวนอยด์ ดังนั้นการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบเฟลโวนอยด์ จะมีประสิทธิภาพดีมากน้อยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเฟลโวนอยด์นั้นด้วย แสดงดังภาพที่ 2.12 และตารางที่ 2.3



ภาพที่ 2.12 หมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างของเฟลโวนอยด์ในลักษณะต่างๆที่มีผลต่อสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ที่มา : Benavente-Garcia และคณะ(1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 หมู่ฟังก์ชันของเฟลโวนอยด์ชนิดต่างๆที่พบในพืชตระกูลส้มซึ่งมีผลต่อสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

flavonoid	type of antioxidant structure				
	A	B	C(a)	C(b)	other
naringin	-	-	-	×	4′-OH
neoeriocitrin	×	-	-	×	
hesperidin	-	-	-	×	3′-OH,4′-OMe
diosmin	-	×	-	×	3′-OH,4′-OMe
rutin	×	×	×[a]	×	
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

[a]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 ทาซิโฟลิน(taxifolin) และนารินจินิน(naringenin) ขาดพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2-3 ไป ทำให้มีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันอยู่ในระดับต่ำ(Das และ Pereira,1993) นอกจากนี้จากการทดลองของ Ramaswamy และคณะ(1972) ยังพบว่าพันธะคู่ตำแหน่ง 2-3 ในโครงสร้างของเฟลโวนอยด์มีส่วนสำคัญที่ทำให้เฟลโวนอยด์แสดงสมบัติเป็นสารต้านการเจริญของจุลินทรีย์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เฟลโวนอยด์ที่พบในพืชตระกูลส้มเป็นพฤษเคมีกลุ่มใหญ่ที่สุด และมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เด่นชัดกว่าสารประกอบกลุ่มอื่นๆ ดังนั้นจึงมีผู้วิจัยถึงสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเฟลโวนอยด์เมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมากมายและได้ศึกษาถึงโครงสร้างของเฟลโวนอยด์ที่มีส่วนสำคัญที่ทำให้เฟลโวนอยด์แสดงสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดังนี้

Ramanathan และDas(1992) ศึกษาผลของสารโพลีฟีนอลิคธรรมชาติ(natural polyphenolic)ต่อการควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลาสุกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ และ -20°ซ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่า เควอซีทิน(quercetin)(200 ส่วนในล้านส่วน) ไมริเซ-ทิน(myricetin)(200 ส่วนในล้านส่วน) กรดเทนนิน(tannic acid)(30 และ 200 ส่วนในล้านส่วน) และกรดแอลลาจิค(ellagic acid)(30 และ 200 ส่วนในล้านส่วน) มีผลต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเด-ชันของไขมันภายใต้สภาวะการเก็บรักษาดังกล่าวได้ดี

Das และPereira(1990) ศึกษาผลของเฟลโวนอยด์และความสัมพันธ์ของโครง-สร้างต่อการเกิดออโตออกซิเดชันในน้ำมันปาล์ม พบว่า มอริน(morin) ไมริซีทิน(myricetin) เคม-เฟอรอล(kaempferol) และเควอซีทิน(quercein) ซึ่งเป็นสารในกลุ่มเฟลโวนอลมีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีเมื่อใช้ในน้ำมันปาล์ม และพบว่าโครงสร้างที่มีส่วนสนับสนุนสมบัติการต้านการเกิดออกซิเดชันคือ จำนวนและตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลที่เข้าแทนที่บนวงแหวนบีพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2-3 และการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระที่ตำแหน่ง 3 และ 5 บนวงแหวนซีและเอ และหมู่ 4-oxo

Wanasudara และShahidi(1994) ศึกษาเสถียรภาพของน้ำมันคาโนล่าต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันเมื่อใช้สารเฟลโวนอยด์ (ไมริซีทิน(myricetin) อิพิเคทิชิน(epicatechin) นา-รินจิน(naringin) รูทีน(rutin) มอริน(morin) และเควอซีทิน(quercetin)) เติมลงในน้ำมันคาโนล่าเปรียบเทียบกับ บีเอชเอ และบีเอชที โดยศึกษาการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันเป็นเวลา 13 วัน ที่อุณหภูมิ 65°ซ ผลการทดสอบพบว่าไมริซีทินมีผลชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้สูงถึง 15 วัน และยับยั้งการเกิดสารประกอบจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ถึง 69% ในช่วงแรก(induction period)ของกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน เนื่องจากไมริซีทินมีจำนวนของหมู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของวงแหวนบีมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเฟลโวนอยด์ชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลองทำให้ไมริซีทินแสดงสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูงที่สุด

2.8.3 แคโรทีนอยด์(carotenoid)

แคโรทีนอยด์ เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่พบได้ในเปลือกและส่วนที่เป็นน้ำของส้ม มีสีเหลืองจนถึงสีส้ม แบ่งได้สองกลุ่มใหญ่คือ กลุ่มของแคโรทีน เช่น เบต้าแคโรทีน(β-carotene) และไลโคปีน(lycopene) ส่วนอีกกลุ่มคือ แซนโธฟิล(xanthophyll) เช่น เอสธาแซนธิน(astha-xanthin) และเคทธาแซนธิน(canthaxanthin) แคโรทีนอยด์ที่พบในส้มจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ของส้ม ความแก่สุก ฤดูกาลและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว แคโรทีนอยด์ที่พบในเปลือก-ส้มเช่น แอลฟา และเบต้าแคโรทีน ลูทีน(lutein) และไวโอเลแซนทิน(violaxanthin) เป็นต้น จากการศึกษาของ Curl และBailey(1956) พบว่าเปลือกและเยื่อใยของส้มพันธุ์วาแลนเซียประกอบด้วยแคโรทีนอยด์สูงถึง 60% และสารประกอบในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ที่พบมากที่สุดคือ ไวโอ-เลแซนธินเช่นเดียวกับ Yen และChen (1995) ซึ่งทดลองแยกแซนโธฟิลจากเปลือกส้มในประเทศไต้หวันพบว่าไวโอเลแซนธินเป็นสารที่มีมากที่สุดในเปลือกส้ม และเมื่อนำไวโอเลแซนธินที่แยกได้จาก HPLC และสารที่สกัดได้จากเปลือกส้มมาทดสอบความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันในน้ำ-มันถั่วเหลืองที่ระดับ 10-50 ส่วนในล้านส่วนเปรียบเทียบกับแอลฟาแคโรทีน เบต้าแคโรทีน และลูทีน พบว่าประสิทธิภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยมีดังนี้ เบต้า-แคโรทีน > สารสกัดจากเปลือกส้ม > ไวโอเลแซนทิน > ลูทีน > แอลฟาแคโรทีน ตามลำดับ และจากการทดสอบยังพบอีกว่าประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่ใช้ถ้าใช้ความเข้มข้นที่ระดับ 50 ส่วนในล้านส่วนจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่สุด แคโรทีนอยด์ที่พบในพืชตระกูลส้มมีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี โดยจะทำหน้าที่จับโลหะหรือช่วยทำลาย singlet oxygen ที่เป็นสาเหตุของปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่แคโรทีนอยด์มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีเฉพาะในกรณีที่มีความดันของออกซิเจนต่ำๆ(15-50 torr)เท่านั้น แต่เมื่ออยู่ในสภาพที่มีความดันออกซิเจนสูงๆแคโรทีนอยด์ก็จะส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

$$\text{carotene} + ROO^{\bullet} \longrightarrow \text{carotene}^{\bullet}$$

$$\text{carotene}^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow \text{termination product}$$

$$\text{carotene}^{\bullet} + O_2 \longrightarrow \text{carotene-}OO^{\bullet}$$

จากสมการข้างต้นแคโรทีนจะทำปฏิกิริยากับลิปิดเปอร์ออกซิลเรดิเคิล(lipid peroxyl radical) และเปลี่ยนเป็นแคโรทีนเรดิเคิล(carotene radical) ในกรณีที่มีระดับความเข้มข้นออกซิเจนต่ำๆแคโรทีนเรดิเคิล จะอยู่ในสภาพเสถียรซึ่งจะแสดงสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดชันได้ดีแต่ในกรณีที่มีความดันของออกซิเจนสูงๆ แคโรทีนเรดิเคิลที่เกิดขึ้นก็จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นเปอร์ออกซิลเรดิเคิลแคโรทีน(carotene peroxyl radical, carotene-OO$^{\bullet}$) ซึ่งสารที่เกิดขึ้นไม่เสถียรสามารถทำปฏิกิริยากับซับสเตรตชนิดอื่นๆ ได้อีก เช่น แคโรทีนด้วยกันเอง หรือเซลล์เมมแบรนของไขมัน ซึ่งนำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไป อย่างไรก็ตามสารในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ที่มีการค้นคว้าวิจัยแล้วว่ามีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เด่นชัดที่สุดคือ ลูทีน ไลโคปีน และเบต้าแคโรทีน โดยมีรายงานว่าสารเหล่านี้มีสมบัติยับยั้งการเกิดโฟโตออกซิเดชัน(photooxidation)ในน้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ได้ดี

2.8.4 กรดฟีนอลิค(phenolic acids)

กรดฟีนอลิคเป็นสารอีกกลุ่มหนึ่งที่พบได้ในพืชตระกูลส้มเช่น คูมาริน(coumarin) พีคูมาริน(*p*-coumarins) เฟอรูริค(ferulic) คาเฟอิค(caffeic) ซินนามิค(cinnamic) เป็นต้น กรดฟีนอลิคที่พบในพืชตระกูลส้มส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่จับอยู่กับสารประกอบชนิดอื่นๆ พบมากในส่วนของเปลือก แต่จะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ สภาพภูมิอากาศ และความแก่สุกของส้ม(Gorinstein *et al*., 2001) กรดฟีนอลิคมีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เช่นเดียวกับสารประกอบในกลุ่มเฟลโวนอยด์ โดยมีกลไกในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันคล้ายกัน นอกจากนี้กรดฟีนอลิคยังมีสมบัติทางด้านเภสัชศาสตร์ด้วยเช่น ช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจและยับยั้งการดูดซึม Cu^{2+} ที่มีส่วนไปเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไลโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ(LDL) ในร่างกายมนุษย์

2.9 สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดพืชตระกูลส้ม

พืชตระกูลส้มเป็นพืชที่ประกอบด้วยสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันมากมายโดยเฉพาะสารประกอบในกลุ่มของเฟลโวนอยด์ ดังนั้นจึงมีผู้สนใจศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากพืชตระกูลส้มและความเป็นไปได้ที่จะนำมาประยุกต์ใช้อุตสาหกรรมอาหารดังนี้

ประพันธ์ และวันทนีย์(2545) ศึกษาปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเมล็ดพืชตระกูลส้มชนิดต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทยโดยใช้เอทานอลเป็นตัวสกัด พบว่าเมล็ดส้มเขียวหวานมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงที่สุด รองลงมาคือ เมล็ดส้มฟรีมองต์ ส้มโชกุน ส้มสายน้ำผึ้ง ส้มโอขาวน้ำผึ้ง ส้มโอทองดี และมะนาว ตามลำดับ และสารสกัดจากเมล็ดส้มสายน้ำผึ้งมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงที่สุด รองลงมาคือ เมล็ดส้มเขียวหวาน ส้มฟรีมองต์ ส้มโอทองดี มะนาว ส้มโชกุน และส้มโอขาวน้ำผึ้ง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gorinstein และคณะ(2001) ศึกษาปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลและสารประกอบอื่นๆ ที่มีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารสกัดที่ได้จากเปลือกและผลของพืชตระกูลส้มชนิดต่างๆ รวมทั้งความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบเหล่านั้น พบว่าในส่วนของเปลือกจะมีปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าส่วนของผล นอกจากนี้สารสกัดจากเปลือกยังแสดงสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าสารสกัดจากผลของพืชตระกูลส้มทุกชนิดที่ใช้ในการทดลอง

Bocco และคณะ(1998) ศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มของพืชตระกูลส้มชนิดต่างๆ โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ 2 ชนิดในการสกัด ได้แก่ เมทานอล และเอทิลอะซิเตรท พบว่าสารสกัดจากเมล็ดส้มโดยทั่วไปจะมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าเปลือกส้ม นอกจากนี้สายพันธุ์ของพืชตระกูลส้มที่ต่างกันจะให้สารสกัดเมล็ดและเปลือกมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกันด้วย สำหรับชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้นั้นจะมีผลต่อกลุ่มของสารประกอบที่ถูกสกัดออกมาแตกต่างกัน โดยที่สารสกัดที่ได้จากการใช้เมทานอลจะมีองค์ประกอบของเฟลโวน และไกลโคซิลเลท เฟลวาโนน (glycosylated flavanones) เป็นส่วนใหญ่ขณะที่สารสกัดที่ได้จากการใช้เอทิลอะซีเตรท จะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดฟีนอลิค และเฟลโวนอล อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้ไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับชนิดหรือองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิคในสารดังกล่าว

Jamilah และคณะ(1998) ศึกษาการใช้สารสกัดจากเปลือกมะกรูด (*Citrus hystrix*) ในน้ำมันปาล์มโอลีอีนที่ใช้ทอด พบว่าการใช้สารสกัดที่ระดับ 2,000 ส่วนในล้านส่วน และสารบีเอชที 200 ส่วนในล้านส่วนเติมลงในน้ำมันปาล์มโอลีอีนที่ใช้ทอดข้าวเกรียบปลาที่อุณหภูมิ 180°ซ ช่วงเวลา 5 ชม./วัน เป็นเวลาติดต่อกัน 4 วัน พบว่าสารสกัดจากเปลือกมะกรูดแสดงสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างมีประสิทธิภาพดี

Williams และHarris(1985) ศึกษาคุณสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันส้มพันธุ์ *Citrus Sinesis (L.)* Osbeck โดยนำกากส่วนที่เหลือจากการคั้นน้ำส้ม(ส่วนของเยื่อใยและเปลือก) มาบดและทำให้แห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ จากนั้นนำกากส้มที่มีลักษณะเป็นแป้ง(flour) มาเติมลงในมีทโลฟ ปริมาณ 3 และ 7% โดยน้ำหนัก พบว่าสามารถลดการเกิดกลิ่นหืนได้ในมีทโลฟที่ผ่านการทำให้สุกที่เก็บรักษาแบบแช่แข็งและแบบแช่เย็น แต่ไม่มีผลในมีทโลฟดิบและเมื่อทดสอบสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธีแคโรทีน บลิชชิ่ง(carotene bleaching) พบว่ากากส้มทำแห้งที่สกัดโดยใช้เมทานอลมีผลต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีแต่สารประกอบที่มีผลต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่ได้ระบุอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 กระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน กระเจี๊ยบแดง ซื้อจากตลาดสดหัวตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ส่วนเมล็ดและเปลือกส้มเขียวหวานขอความอนุเคราะห์จากแม่ค้าขายน้ำส้มคั้นที่ตลาดหัวตะเข้

3.1.2 สารเคมี

- ปิโตรเลียมอีเทอร์จุดเดือด 40-60°ซ	BHD	อังกฤษ
- เอทิลแอลกอฮอล์ 95%	องค์การสุรากรมสรรพสามิต	ไทย
- กรดอะซีติค	Lab scan analytical science	ไทย
- คลอโรฟอร์ม	Lab scan analytical science	ไทย
- โพแทสเซียมไอโอไดด์	Carlo ERBA reagenti	อิตาลี
- โซเดียมไธโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรท	BHD	อังกฤษ
- สตาร์ชอินดิเคเตอร์	BHD	อังกฤษ
- กรดไตรคลอร์โรอะซีติค	Fluka chemika	สวิสเซอร์แลนด์
- กรดฟอสฟอริค 85%	Merck	เยอรมันนี
- กรดไธโอบาบิทิวริค	BHD	อังกฤษ
- กรดไฮโดรคลอริค	BHD	อังกฤษ
- ซัลฟานิลาไมด์	Merck	เยอรมันนี

(สารเคมีทุกชนิดเป็น analytical grade)

3.1.3 อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

- ทริปโตน	Himedia labratories	อินเดีย
- ยีสต์สกัด	Oxoid	อังกฤษ
- กลูโคส	Merch	เยอรมันนี
- วุ้น	S.P. science	ชิลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 อุปกรณ์ในการเตรียมวัตถุดิบ

- ตู้อบลมร้อน(hot air oven)	Memmert 854 Schwabach	เยอรมันนี

3.2.2 อุปกรณ์ในการเตรียมสารสกัด

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

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมหมูแผ่น

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

3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ผลทางเคมี

- เครื่องวัดสี	Minolta CR-300	ญี่ปุ่น
- เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	Spectrophotometer 22	สหรัฐอเมริกา
- เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	Navasimaรุ่นThermoconstanter	สวิสเซอร์แลนด์
- ตู้อบลมร้อน(hot air oven)	Memmert 854 Schwabach	เยอรมันนี

3.2.5 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ผลทางด้านจุลินทรีย์

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สถานที่ดำเนินงาน

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.4 วิธีดำเนินงาน

3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

3.4.1.1 กระเจี๊ยบแดง นำกระเจี๊ยบแดงแห้ง มาอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนมีความชื้นสุดท้ายน้อยกว่า 5% จากนั้นเก็บตัวอย่างแห้งไว้ที่อุณหภูมิ -20°ซ จนกว่าจะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.4.1.2 เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน นำเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานมาล้างให้สะอาดตากแดดเป็นเวลา 12 ชั่วโมงจนมีความชื้นอยู่ในช่วง 14-15% จากนั้นนำมาอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°ซ 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°ซ

3.4.2 การเตรียมสารสกัด

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

3.4.2.2 การเตรียมสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน นำเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วมา 10 กรัม ใส่ในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเอทิลแอลกอฮอล์(95%) จำนวน 100 มิลลิลิตร สกัดโดยวิธีการรีฟลักซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80°ซ กรองสารสกัดที่ได้ด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 โดยใช้กรวยกรองบุชเนอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40°ซ จนตัวทำละลายหมดไป เก็บตัวอย่างที่สกัดได้ไว้ที่อุณหภูมิ -20°ซ จนกว่าจะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.4.3 การเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์หมูแผ่น

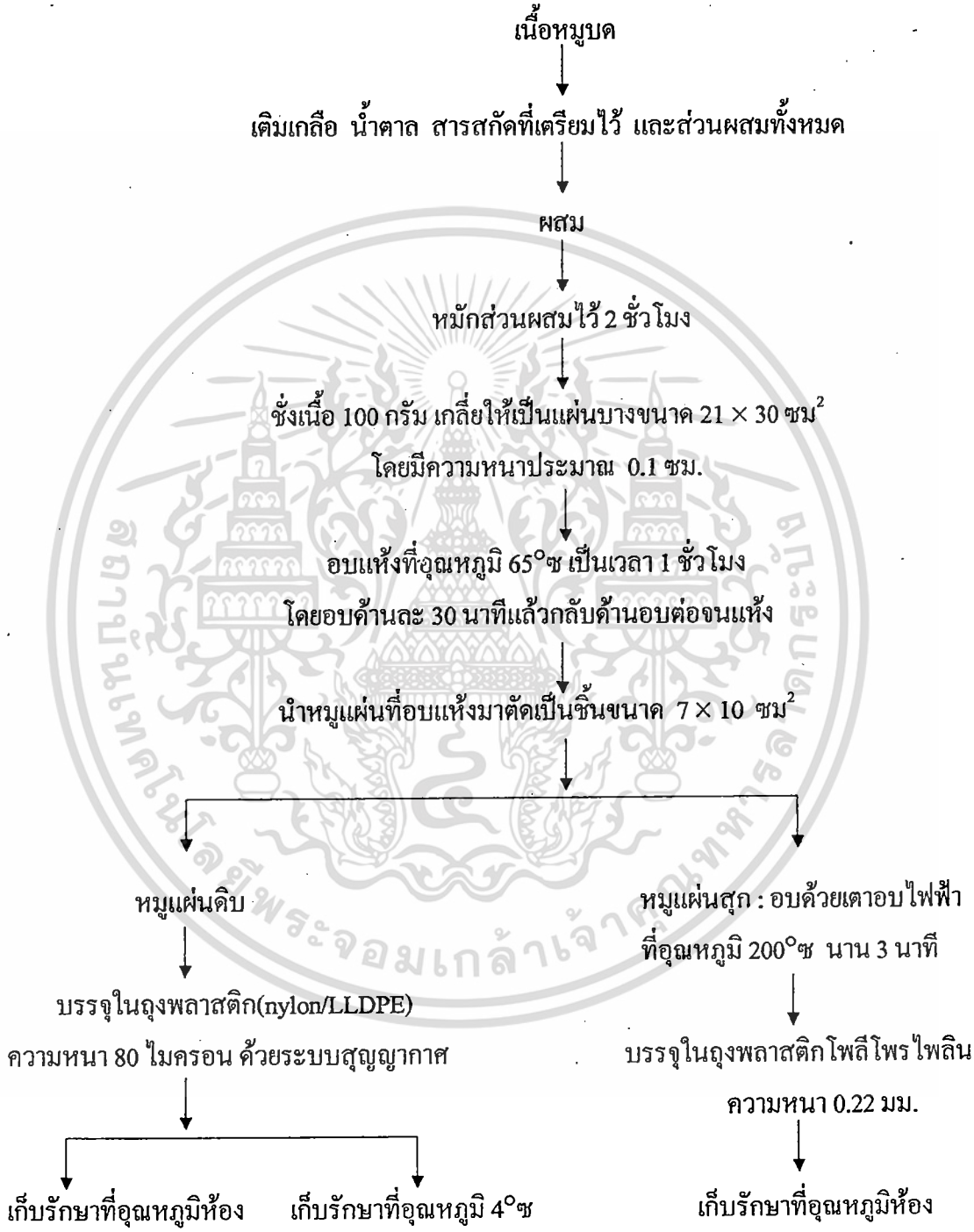
3.4.3.1 สูตรของหมูแผ่นที่ใช้ในการทดลอง

หมูแผ่น

ส่วนผสม	เปอร์เซ็น(%)
เนื้อหมู	86.83
น้ำตาลทราย	7.23
ซีอิ๊วขาว	4.34
น้ำเปล่า	1.4
ผงเพรก	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 ศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการของหมูแผ่น

นำหมูแผ่นที่ผลิตได้มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดังต่อไปนี้

3.4.4.1 ปริมาณไขมันทั้งหมด

3.4.4.2 ปริมาณความชื้นทั้งหมด(AOAC, 1995)

3.4.4.3 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

3.4.5 ศึกษาประสิทธิภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานในหมูแผ่น

ใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกหรือเมล็ดส้มเขียวหวานที่ 5 ระดับความเข้มข้นคือ 0, 0.05, 0.1, 0.2 และ 0.3% โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก เติมลงในส่วนผสมในหัวข้อ 3.4.3.2 หรือ 3.4.3.3 และดำเนินการผลิตหมูแผ่นตามขั้นตอนจนกระทั่งได้หมูแผ่นดิบ จากนั้นแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่ง หมูแผ่นดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE ความหนา 80 ไมครอน) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°ซ) และ 4°ซ ส่วนที่สอง หมูแผ่นดิบนำมาทำให้สุกด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 200°ซ นาน 3 นาทีสำหรับหมูแผ่น แล้วบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลินหนา 0.22 มิลลิเมตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นติดตามประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเก็บตัวอย่างที่เก็บรักษาในวันที่ 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 วัดสี โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta CR-300 บันทึกค่า L* , a* และ b*

3.4.5.5 ทดสอบทางประสาทสัมผัส ทดสอบในเรื่องกลิ่นหืนที่เกิดขึ้นในหมูแผ่นด้วยการดมกลิ่น ใช้วิธีทดสอบแบบ multiple comparison test(Meilgaard *et al.*, 1987) โดยการทดสอบจะให้ผู้ทดสอบระบุระดับคะแนนของกลิ่นหืนที่รับรู้ได้ โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง(reference, R) ซึ่งตัวอย่างเปรียบเทียบจะใช้หมูแผ่นที่เติมบีเอชที 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) สำหรับหมูแผ่นดิบ และใช้แผนการทดสอบ Complete Randomized Design(CRD) สำหรับหมูแผ่นสุก ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Version 7.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

New Multiple Range Test และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองข้อ 3.4.4.5 โดยใช้แผนการทดสอบ Randomized Complete Block Design(RCBD) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Version 7.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.4.6 ศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานในหมูแผ่นต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส

ใช้ระดับของสารสกัดที่มีประสิทธิภาพต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันดีที่สุดในข้อ 3.4.5 ในการผลิตหมูแผ่น และทดสอบการยอมรับด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ โดยทดสอบการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวมของหมูแผ่น 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางเคมีบางประการของหมูแผ่น

เมื่อทำการผลิตหมูแผ่นตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.4.3 จนกระทั่งได้หมูแผ่น จากนั้นนำมาวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ความชื้น และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าสมบัติทางเคมีของหมูแผ่นที่วิเคราะห์ได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กึ่งแห้ง ซึ่งกำหนดไว้ให้มีความชื้นอยู่ในช่วง 15-30% และมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้อยู่ในช่วง 0.65-0.85

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีบางประการของหมูแผ่น

สมบัติทางเคมี	หมูแผ่น
ไขมัน(%)	10.67±0.05
ความชื้น(%)	24.69±0.95
วอเตอร์แอคติวิตี้(a_w)	0.73±0.02

4.2 การใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่น

4.2.1 ค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS

จากการศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงในผลิตภัณฑ์หมูแผ่น โดยเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°ซ) และ 4°ซ สำหรับหมูแผ่นสุกบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลิน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของตัวอย่างหมูแผ่นทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.1-4.3

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของผลิตภัณฑ์หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของตัวอย่างหมูแผ่นดิบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) โดยหมูแผ่นดิบทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS สูงกว่าหมูแผ่นดิบทุกตัว

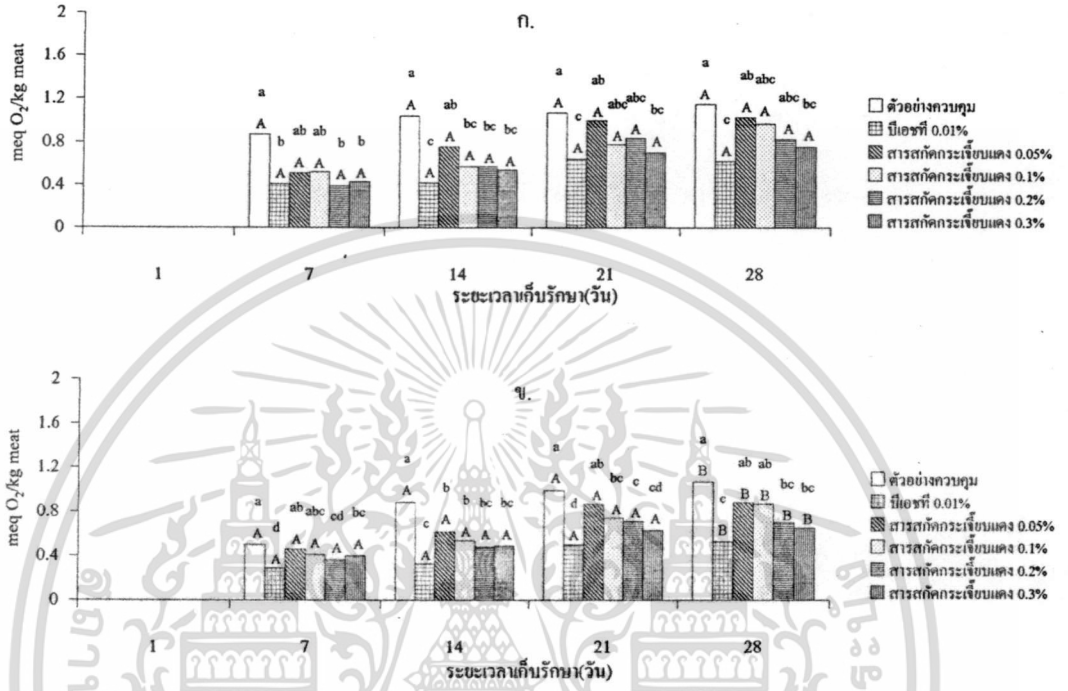
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาหมูแผ่นดิบไว้ที่อุณหภูมิห้องจะทำให้หมูแผ่นดิบเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่าหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ

ภาพที่ 4.1 และ 4.2 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นดิบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°ซ ตามลำดับ และภาพที่ 4.3 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะเห็นได้ว่าการเติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงในหมูแผ่นดิบและสุกในทุกสภาวะการเก็บรักษาที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาช้ากว่าตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์-ออกซิเดชันในหมูแผ่นได้ และเมื่อระดับของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่เติมลงในส่วนผสมสูงขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นในระหว่างการเก็บรักษาจะมีค่าเพิ่มขึ้นช้าลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูแผ่นดิบและสุกที่ทุกสภาวะการทดลอง สำหรับตัวอย่างที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบ-แดงกับตัวอย่างที่เติมบีเอชที จะเห็นได้ว่าตัวอย่างหมูแผ่นดิบและสุกที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.05-0.2% โดยน้ำหนัก จะมีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS สูงกว่าตัว-อย่างที่เติมบีเอชที 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 ± 0.28 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ 1.48 ± 0.03 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ 1.15 ± 0.05 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมู-แผ่น และ 5.15 ± 0.11 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ หมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีค่าเปอร์ออกไซด์และค่า TBARS หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วันเท่ากับ 0.65 ± 0.03 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ 1.12 ± 0.01 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในขณะที่ตัว-อย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ 1.07 ± 0.04 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ 2.06 ± 0.02 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ สำหรับหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีค่าเปอร์ออกไซด์และค่า TBARS หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วันเท่ากับ 0.49 ± 0.06 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ 0.62 ± 0.01 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ 1.13±0.27 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ 1.77±0.01 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ

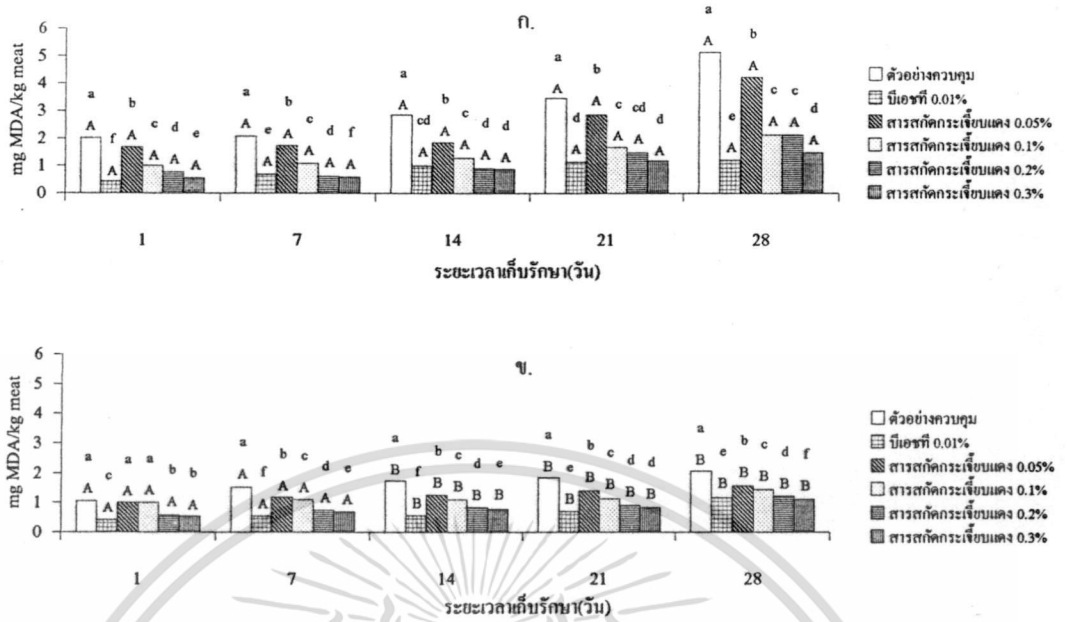


ภาพที่ 4.1 ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.)

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

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

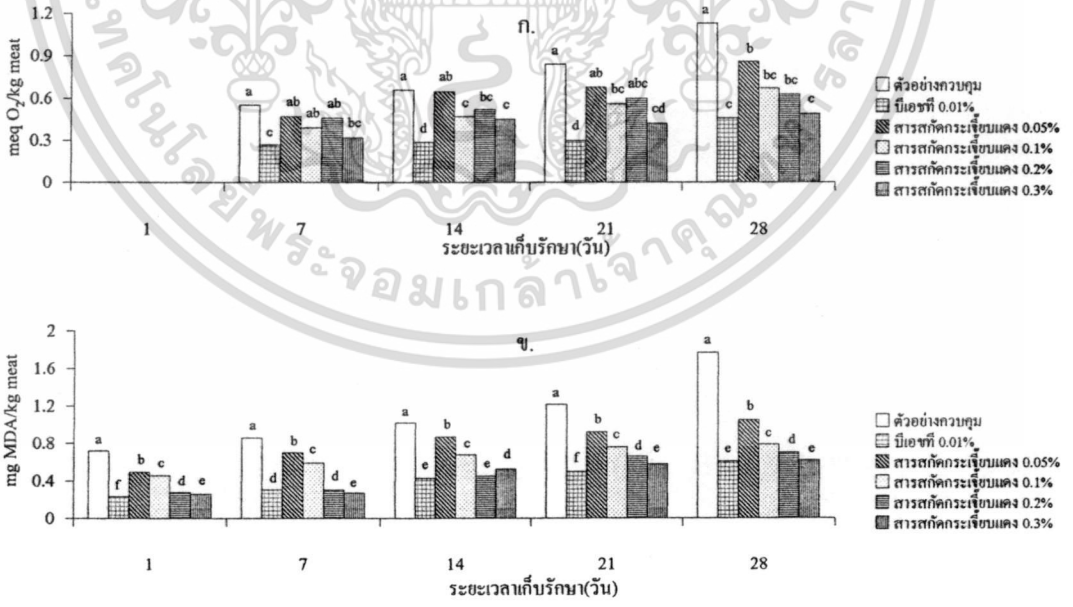
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

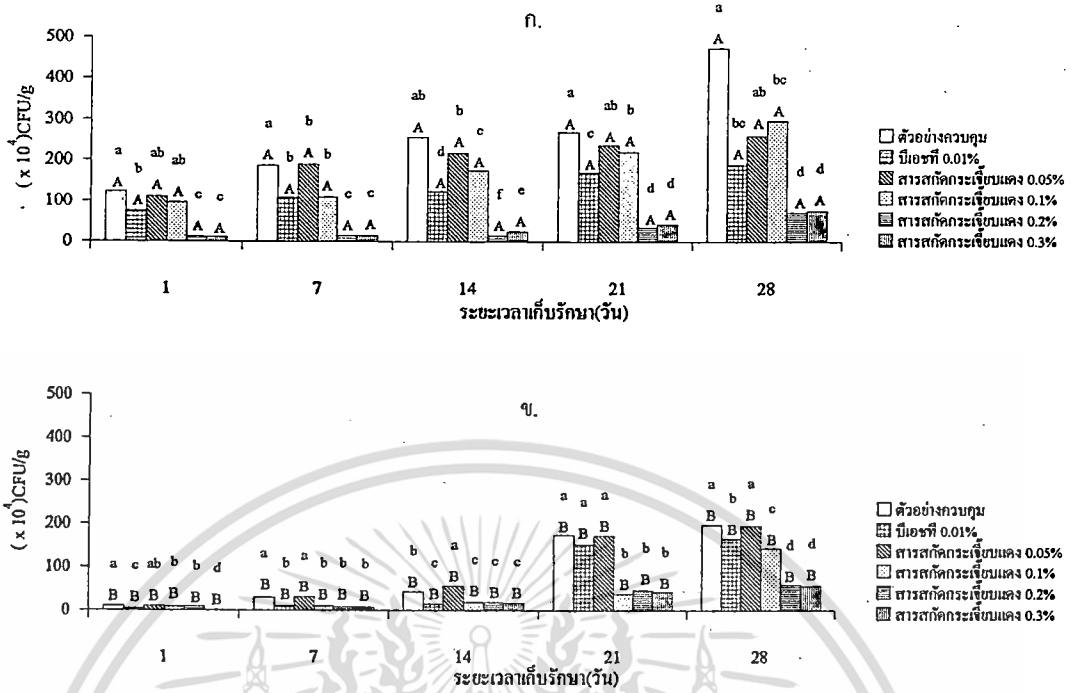
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°ซ) และ 4°ซ สำหรับหมูแผ่นสุกบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลิน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่างของหมูแผ่นทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน มาตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.4

ภาพที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าหมูแผ่นดิบทุกตัวอย่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าหมูแผ่นดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) เนื่องจากอุณหภูมิห้องเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์มากกว่าอุณหภูมิ 4°ซ จึงทำให้หมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีจำนวนจุลินทรีย์ในปริมาณสูงกว่า และจากการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ในหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงพบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ในหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ทุกระดับ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน จะมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในปริมาณต่ำกว่าหมูแผ่นดิบตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้เมื่อระดับของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงสูงขึ้น ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ในผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) ซึ่งจากการทดลองนี้หมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2 และ 0.3% โดยน้ำหนัก มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำที่สุด กล่าวคือหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2 และ 0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 71×10^4 CFU/g และ 76×10^4 CFU/g ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 475×10^4 CFU/g และหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 58.5×10^4 CFU/g และ 56×10^4 CFU/g ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 197.5×10^4 CFU/g ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงประกอบด้วยสารในกลุ่มของแอนโธไซยานินเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสารดังกล่าวมีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดได้(Power *et al.*, 1960; Abu-Tarboush,1994) ดังนั้นการที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมจึงน่าจะเป็นผลมาจากสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง นอกจากนี้หมูแผ่นดิบที่เติมบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก มีจำนวจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) ซึ่งจากรายงานของ Ayaz และคณะ(1980) และ Shih และ Harris(1977) พบว่าสารประกอบฟีนอลิคที่ได้จากการสังเคราะห์มีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้เช่นกัน ในกรณีของหมูแผ่นสุกเมื่อตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน ไม่พบจำนวนจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ดังนั้นในการทดลองหัวข้อถัดไปจะไม่ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ในหมูแผ่นสุก

เอกสารนี้ใช้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.)

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

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

4.2.3 ค่าสี

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°ซ) และ 4°ซ สำหรับหมูแผ่นสุกบรรจุถุงพลาสติกโพลีโพรไพลิน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง วัดสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta โดยแสดงผลในระบบ Commission Internationaled Eclairage(CIE) บันทึกค่า L*, a* และ b* ของตัวอย่างหมูแผ่นทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.5-4.6 การทดลองนี้จะรายงานผลเฉพาะค่า a* (สีแดง) ซึ่งเป็นค่าสีหลักที่สำคัญและนิยมใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงสีอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์(Govindarajan, 1973) ซึ่งค่า a* สามารถบอกถึงการเปลี่ยนแปลงสีและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้อย่างชัดเจน โดยตัวอย่างที่มีค่า a* สูง แสดงว่าตัวอย่างมีค่าสีแดงมากกว่าตัวอย่างที่มีค่า a* ต่ำ ส่วนค่า L* และ b* จะแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยในภาคผนวก ค. ซึ่งค่าทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย

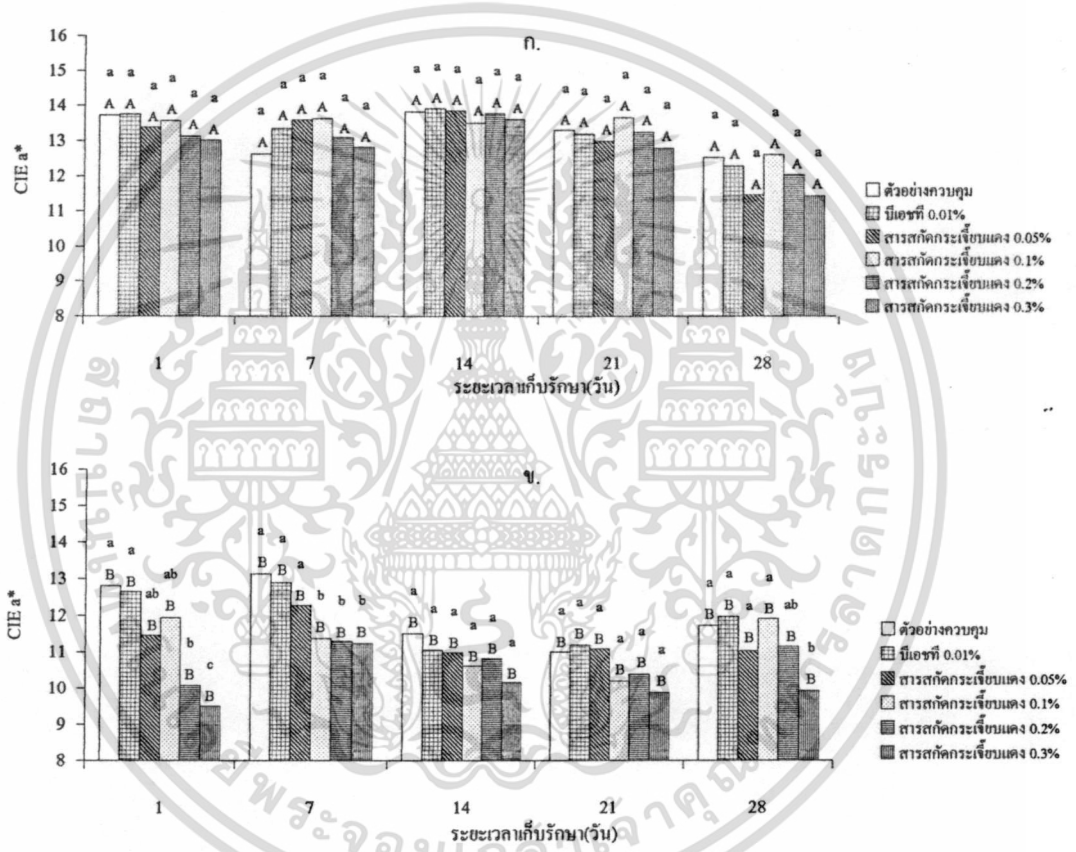
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a* ของผลิตภัณฑ์ในช่วงระยะเวลา 28 วัน พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่า a* ของตัวอย่างหมูแผ่นดิบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) โดยหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าสีแดงมากกว่าหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ อย่างไรก็ตามการที่ตัวอย่างหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีค่าสีแดงต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ไม่น่าจะแสดงถึงว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกิดการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุในผลิตภัณฑ์อาหารอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากผลการทดลองดังกล่าวไม่สอดคล้องกันแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ โดยตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าทั้งสองสูงกว่าตัวอย่างหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ(ภาพที่ 4.1 และ 4.2) ดังนั้นผลการทดลองข้างต้นจึงน่าจะเป็นผลมาจากไขมันหมูที่เป็นองค์ประกอบในหมูแผ่นมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 33-46°ซ(นิธิยา, 2545) ซึ่งขณะเก็บรักษาหมูแผ่นที่อุณหภูมิห้อง ไขมันบางส่วนจะเริ่มหลอมละลายเป็นของเหลวเป็นผลให้ขณะวัดสีจะไม่มีการสะท้อนของสีขาวขุ่นจากไขมันทำให้ค่า a* ที่วัดได้มีค่าสูง ในทางตรงกันข้ามหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ ไขมันในผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นของแข็งสีขาวขุ่น ซึ่งขณะวัดสีจะเกิดการสะท้อนของสีขาวขุ่นจึงทำให้ค่า a* ของหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีค่าน้อย ถึงแม้ว่าก่อนวัดสีจะนำตัวอย่างหมูแผ่นมาไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างเท่ากับอุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามช่วงระยะเวลาดังกล่าวไม่เพียงพอที่จะทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวโดยสมบูรณ์ได้ ดังนั้นขณะวัดสีจึงเกิดการสะท้อนของสีขาวขุ่นทำให้ค่า a* ของตัวอย่างหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีค่าน้อยกว่าหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ภาพที่ 4.5 แสดงค่า a* ของหมูแผ่นดิบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°ซ และภาพที่ 4.6 แสดงค่า a* ของหมูแผ่นสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากภาพทั้งสอง จะเห็นได้ว่าหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน หมูแผ่นดิบและสุกที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.05-0.1% โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการเก็บรักษา มีค่า a* ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที สำหรับหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก มีค่า a* แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมและที่เติมบีเอชทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ซึ่งการที่หมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก มีสีแดงต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมและบีเอชที ไม่น่าจะเป็นผลมาจากการเกิดออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบินในผลิตภัณฑ์อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน เนื่องมาจากค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับดังกล่าวมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม และใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมบีเอชที(ภาพที่ 4.1-4.2) แสดงว่าตัวอย่างที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับดังกล่าวเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม ดังนั้น สีแดงของตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและบีเอชที น่าจะมีสาเหตุเนื่องมาจากรงควัตถุในกระเจี๊ยบแดงซึ่งได้แก่ แอนโธไซยานิน จะให้สีแดงสดเฉพาะที่พีเอชในช่วง 1-3 เท่านั้น และสีจะเปลี่ยนไปตามค่าพีเอชที่เปลี่ยนไป ซึ่งจากการวัดพีเอชของส่วนผสมของหมูแผ่นดิบก่อนการอบแห้งพบว่า หมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2-0.3% โดยน้ำหนัก มีพีเอชเท่ากับ 5.68 และ 5.58 ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีพีเอชเท่ากับ 6.11 ซึ่งที่พีเอชในช่วง 5-6 แอนโธไซยานินจะมีสีม่วงแดง(Kahkonen and Heinonen, 2003) ดังนั้นตัวอย่างหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2-0.3% จึงมีสีแดงคล้ำกว่าตัวอย่างควบคุม

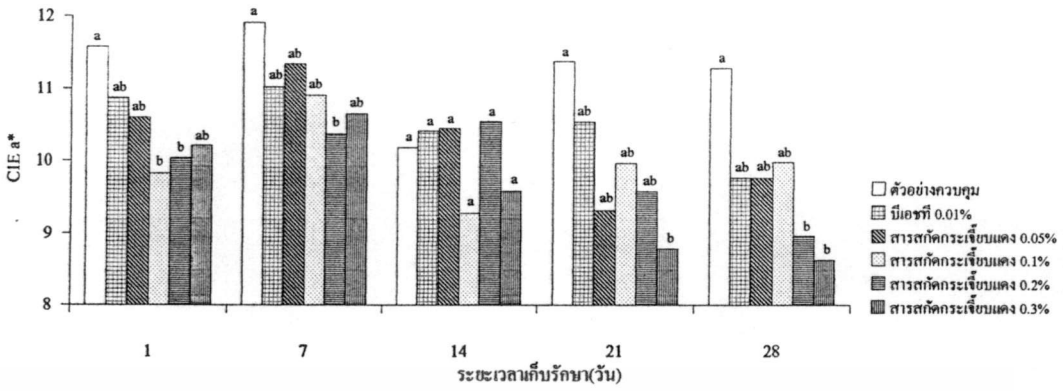


ภาพที่ 4.5 ค่า a* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ค่า a* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

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

จากผลการทดลองในเรื่องของสีของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ของระดับการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันกับการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้มีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อสีของตัวอย่างได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีอันเนื่องมาจากการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดง ผลของไขมันที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์เป็นต้น อย่างไรก็ตามตัวอย่างหมูแผ่นที่เก็บรักษาในทุกสภาวะมีแนวโน้มของค่า a* ที่ลดลงเมื่อเก็บรักษาตัวอย่างเป็นระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จากแนวโน้มการลดลงของค่า a* อย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในหมูแผ่นในทุกสภาวะการทดลองน่าจะเป็นผลเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบินอย่างช้าๆ ซึ่งมีผลต่อเนื่องกับการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสัตว์เนื่องจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันสามารถแสดงดังสมการเคมีต่อไปนี้(Kanner, 1996) การที่เนื้อสัตว์จะมีสีแดงหรือสีน้ำตาลนั้นขึ้นอยู่กับแร่ธาตุเหล็กที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของรงควัตถุว่าจะอยู่ในรูปของเฟอร์รัสไอออน(Fe^{2+}, สีแดง) หรือเฟอร์ริกไอออน(Fe^{3+}, สีน้ำตาล)

$$Fe^{2+} - O_2 \longrightarrow Fe^{2+} + O_2 \quad (1)$$

Myoglobin — Oxymyoglobin

สภาวะที่ยังไม่ได้รวมกับออกซิเจน — สภาวะที่รวมตัวกับออกซิเจน

(สีแดง-ม่วง) — (สีแดงสด)

$$Fe^{2+} + O_2 \longrightarrow Fe^{3+} + O^{-}_{2}\bullet \quad (2)$$

oxymyoglobin เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบินได้ผลิตภัณฑ์เป็น superoxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

anion radical ($O^{-}_{2}\bullet$) และเหล็กไอออนถูกเปลี่ยนจากรูปเฟอร์รัสไอออน(Fe^{2+}) ไปอยู่ในรูปของเฟอร์ริกไอออน(Fe^{3+}) สีของเนื้อสัตว์เปลี่ยนจากแดงสดเป็นสีน้ำตาลของเมทไมโอโกลบิน

$$O^{-}_{2}\bullet + O^{-}_{2}\bullet \longrightarrow H_2O_2 + O_2 \quad (3)$$

superoxide anion radical ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบิน รวมตัวกับ superoxide anion radical ที่เกิดจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันหรือรวมกับ superoxide anion radical ที่เกิดจากออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบิน ได้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

$$Fe^{3+} + H_2O_2 \longrightarrow Fe^{4+}=O + H_2O \quad (4)$$

metmyoglobin ที่มีเหล็กไอออนอยู่ในรูปของเฟอร์ริกไอออนทำปฏิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากการรวมตัวของปฏิกิริยาดังกล่าว หรืออาจจะรวมตัวกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ได้อนุมูลอิสระชนิดใหม่คือ เฟอรีไมโกลโกลบิน(ferryl-myoglobin,$Fe^{4+}=O$) อนุมูลอิสระนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสัตว์

$$Fe^{4+} + Fe^{2+}\text{-}O_2 \longrightarrow 2Fe^{3+} + O_2 \quad (5)$$

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

อย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้มีการเติมผงเพรกซึ่งเป็นสารประกอบประเภทไนเตรตในผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิด ซึ่งเมื่อเนื้อสัตว์ได้รับความร้อนก็จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นระหว่างไนเตรตในผงเพรกกับรงควัตถุไมโอโกลบิน และฮีโมโกลบินได้เป็นสารสีแดงที่คงตัวของไนตริกออกไซด์ฮีโมโครม(nitric oxide hemochrome)และไนตริกออกไซด์ไมโอโกลบิน(nitric oxide myoglobin) แต่ในสภาวะที่มีแสงและออกซิเจน สารทั้งสองก็จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไนตริกออกไซด์(nitric oxide) โดยไนตริกออกไซด์จะแยกตัวออกจากไมโอโกลบินและฮีโมโกลบิน จากนั้นรงควัตถุในเนื้อสัตว์ก็จะเริ่มเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันตามขั้นตอนข้างต้น จนกระทั่งได้เฟอรีฮีโมโครม(ferryhemochrome) จากนั้นปฏิกิริยาจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งสีแดงของเนื้อสัตว์จางลง ซึ่งเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เนื้อสัตว์ที่เติมสารประกอบประเภทไนเตรตมีสีแดงจางลงได้ นอกจากนี้แล้วการเกิดสารสีแดงของไนตริกออกไซด์ฮีโมโครมและไนตริกออกไซด์ไมโอโกลบิน ไม่สามารถเกิดได้กับทุกโมเลกุลของรงควัตถุในเนื้อสัตว์ ดังนั้นโมเลกุลของรงควัตถุที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับสารประกอบไนเตรตก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีตามขั้นตอนข้างต้น ซึ่งสุดท้ายแล้วเนื้อสัตว์จะมีสีแดงจางลง

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่า สีแดงของหมูแผ่นที่มีแนวโน้มจางลงเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชันของรงควัตถุในเนื้อสัตว์ร่วมกับการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ซึ่งทำให้เกิดอนุมูลอิสระต่างๆที่ส่งเสริมให้เกิดออกซิเดชันของรงควัตถุในเนื้อสัตว์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°ซ) และ 4°ซ สำหรับหมูแผ่นสุกบรรจุถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยการดมกลิ่นหืนในตัวอย่างหมูแผ่นทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน โดยใช้วิธีทดสอบแบบ multiple comparison test การทดสอบจะให้ผู้ทดสอบระบุคะแนนของกลิ่นหืนที่รับรู้ได้ โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง(reference) คือ หมูแผ่นที่เติมบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก ที่เก็บรักษาในสภาวะและเวลาเดียวกับตัวอย่างทดสอบ แบ่งระดับคะแนนเป็น 9 ระดับ คือ 1 = มีกลิ่นหืนน้อยที่สุด ถึง 9 = มีกลิ่นหืนมากที่สุด(ภาคผนวก ข.) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2-4.4

ตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°ซ ตามลำดับ และตารางที่ 4.4 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุก จากผลการทดลองในตารางทั้ง 3 ตาราง พบว่าหลังจากเก็บรักษาตัวอย่างหมูแผ่นเป็นเวลา 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°ซ และหมูแผ่นสุกเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยมีค่า TBARS ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม(ภาพที่ 4.1-4.3) ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน กล่าวคือ หมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบที่ระดับ 0.2 และ 0.3% โดยน้ำหนักในทุกสภาวะการทดลองจะมีคะแนนด้านกลิ่นหืนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ดังนั้นเพื่อให้การใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีที่สุด และใกล้เคียงกับบีเอชทีมากที่สุด จึงเลือกสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก สำหรับการทดลองในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบ ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$_{a}5.20\pm0.84^{a}$	$_{a}5.40\pm0.89^{a}$	$_{ab}5.60\pm0.55^{ab}$	$_{a}6.80\pm1.09^{ab}$	$_{ab}6.40\pm1.14^{a}$
0.1	$_{ab}4.80\pm0.45^{b}$	$_{a}5.20\pm0.45^{b}$	$_{ab}5.60\pm0.55^{ab}$	$_{abc}6.40\pm1.14^{a}$	$_{ab}6.40\pm1.14^{a}$
0.2	$_{ab}4.60\pm0.55^{b}$	$_{a}5.00\pm0.71^{b}$	$_{b}5.20\pm0.45^{b}$	$_{bc}5.40\pm1.00^{ab}$	$_{b}6.20\pm1.83^{a}$
0.3	$_{ab}4.80\pm0.45^{b}$	$_{a}5.00\pm1.00^{ab}$	$_{b}5.00\pm1.58^{ab}$	$_{b}5.20\pm0.45^{ab}$	$_{b}6.20\pm0.45^{a}$
บีเอชที 0.01	$_{b}4.40\pm0.55^{a}$	$_{a}4.80\pm0.45^{a}$	$_{b}4.80\pm0.84^{a}$	$_{b}5.20\pm0.45^{a}$	$_{b}5.40\pm1.14^{a}$
ตัวอย่างควบคุม	$_{a}5.20\pm0.45^{b}$	$_{a}6.00\pm1.41^{b}$	$_{a}6.60\pm1.14^{ab}$	$_{ab}6.60\pm1.51^{ab}$	$_{a}7.80\pm1.30^{a}$

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หืนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หืนมากที่สุด

ตารางที่ 4.3 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ

ความเข้มข้นของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบ ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$_{a}5.20\pm1.64^{a}$	$_{a}5.40\pm1.67^{a}$	$_{a}5.60\pm1.34^{a}$	$_{ab}6.20\pm2.16^{a}$	$_{ab}6.20\pm1.09^{a}$
0.1	$_{a}5.60\pm0.55^{a}$	$_{a}5.20\pm1.78^{a}$	$_{a}5.80\pm0.45^{a}$	$_{ab}5.80\pm1.09^{a}$	$_{ab}6.40\pm1.14^{a}$
0.2	$_{a}4.60\pm0.89^{a}$	$_{a}5.20\pm1.30^{a}$	$_{a}5.20\pm0.45^{a}$	$_{ab}5.60\pm0.55^{a}$	$_{b}5.20\pm0.55^{a}$
0.3	$_{a}4.60\pm1.52^{a}$	$_{a}4.80\pm0.45^{a}$	$_{a}4.80\pm1.09^{a}$	$_{ab}5.00\pm0.71^{a}$	$_{b}5.20\pm0.44^{a}$
บีเอชที 0.01	$_{a}4.00\pm1.41^{a}$	$_{a}4.40\pm0.55^{a}$	$_{a}4.40\pm0.89^{a}$	$_{b}4.40\pm0.89^{a}$	$_{b}5.20\pm0.45^{a}$
ตัวอย่างควบคุม	$_{a}5.20\pm1.30^{a}$	$_{a}5.80\pm1.30^{a}$	$_{a}6.00\pm1.87^{a}$	$_{a}6.60\pm1.51^{a}$	$_{a}6.80\pm1.64^{a}$

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หืนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หืนมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุก ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$_{a}5.00\pm0.47^{b}$	$_{a}5.60\pm1.03^{ab}$	$_{a}5.80\pm0.99^{ab}$	$_{ab}5.90\pm1.43^{ab}$	$_{ab}6.20\pm0.79^{a}$
0.1	$_{a}5.50\pm1.08^{a}$	$_{a}5.50\pm0.47^{a}$	$_{a}5.60\pm0.79^{a}$	$_{ab}5.80\pm1.16^{a}$	$_{abc}6.10\pm0.87^{a}$
0.2	$_{a}5.40\pm1.50^{a}$	$_{a}5.30\pm1.65^{a}$	$_{a}5.60\pm1.62^{a}$	$_{b}5.50\pm0.74^{a}$	$_{bc}5.80\pm0.63^{a}$
0.3	$_{a}4.90\pm0.74^{a}$	$_{a}5.30\pm0.71^{a}$	$_{a}5.10\pm1.35^{a}$	$_{b}5.40\pm1.13^{a}$	$_{bc}5.40\pm1.07^{a}$
บีเอชที 0.01	$_{a}4.70\pm0.48^{a}$	$_{a}5.00\pm0.67^{a}$	$_{a}5.20\pm1.17^{a}$	$_{b}5.30\pm0.71^{a}$	$_{c}5.30\pm0.67^{a}$
ตัวอย่างควบคุม	$_{a}5.50\pm1.08^{b}$	$_{a}5.80\pm0.67^{ab}$	$_{a}6.10\pm1.45^{ab}$	$_{a}6.40\pm0.84^{ab}$	$_{a}6.80\pm1.40^{a}$

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หืนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หืนมากที่สุด

4.3 การใช้สารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่น

4.3.1 ค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS

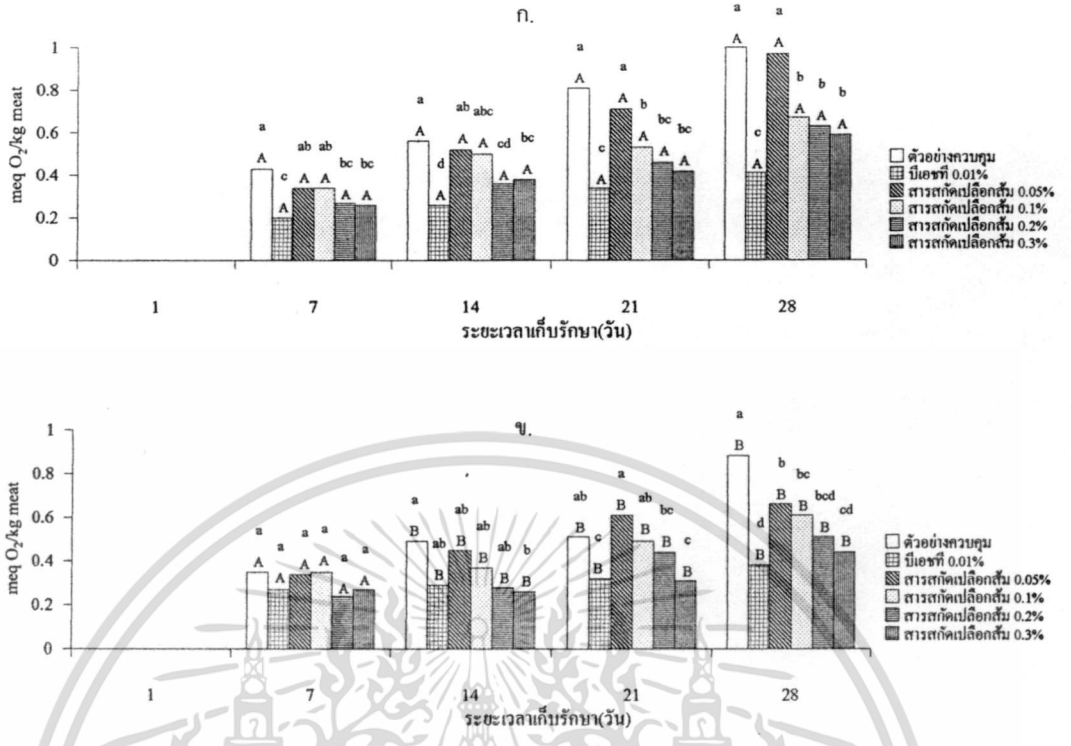
จากการศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานในผลิตภัณฑ์หมูแผ่น โดยเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°ซ)และ 4°ซ สำหรับหมูแผ่นสุกบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลิน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ของตัวอย่างหมูแผ่นทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.7-4.9

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของผลิตภัณฑ์หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ของตัวอย่างหมูแผ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) โดยหมูแผ่นดิบทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS สูงกว่าหมูแผ่นดิบทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้มากกว่าหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.7 และ 4.8 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°ซ ตามลำดับ และภาพที่ 4.9 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะเห็นได้ว่าการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานในหมูแผ่นดิบและสุกในทุกสภาวะการทดลองที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาช้ากว่าตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์-ออกซิเดชันในหมูแผ่นได้ และเมื่อระดับของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่เติมลงในส่วนผสมสูงขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ของหมูแผ่นในระหว่างการเก็บรักษาจะมีค่าเพิ่มขึ้นช้าลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูแผ่นดิบและสุกที่ทุกสภาวะการทดลอง สำหรับตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานกับหมูแผ่นที่เติมบีเอชที จะเห็นได้ว่าตัวอย่างหมูแผ่นดิบและสุกที่เติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก จะมีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์-ออกไซด์และ TBARS ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนักมากที่สุด แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานในระดับที่ใช้ดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันในหมูแผ่นดิบและสุกได้ดี และสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์-ออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับหมูแผ่นตัวอย่างควบคุม โดยหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน หมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS อยู่ในช่วง 0.59±0.06-0.67±0.09 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ 1.28±0.06-1.37±0.09 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ 1.00±0.17 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ 1.99±0.11 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ หมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน อยู่ระหว่าง 0.44±0.12-0.61±0.07 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ 0.83±0.11-1.00±0.12 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ 0.88±0.05 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ 1.15±0.03 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ สำหรับหมูแผ่นสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS หลังจากเก็บรักษา เป็นเวลา 28 วัน อยู่ในช่วง 0.71±0.05-0.91±0.10 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ 1.55±0.07-1.68±0.04 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ 1.83±0.36 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ 1.81±0.03 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

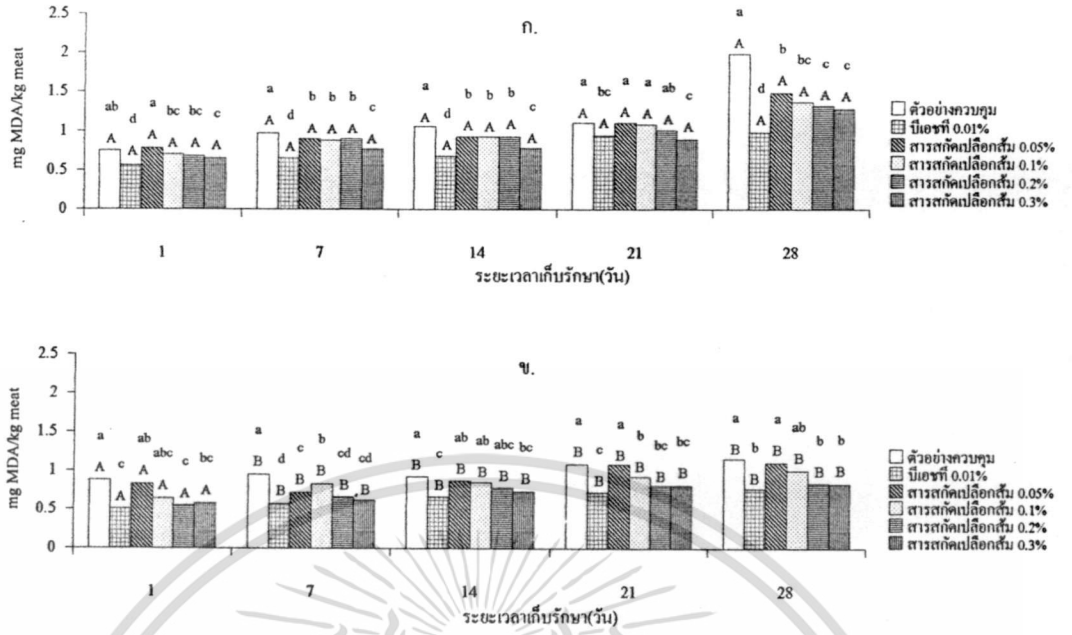


ภาพที่ 4.7 ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.)

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

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

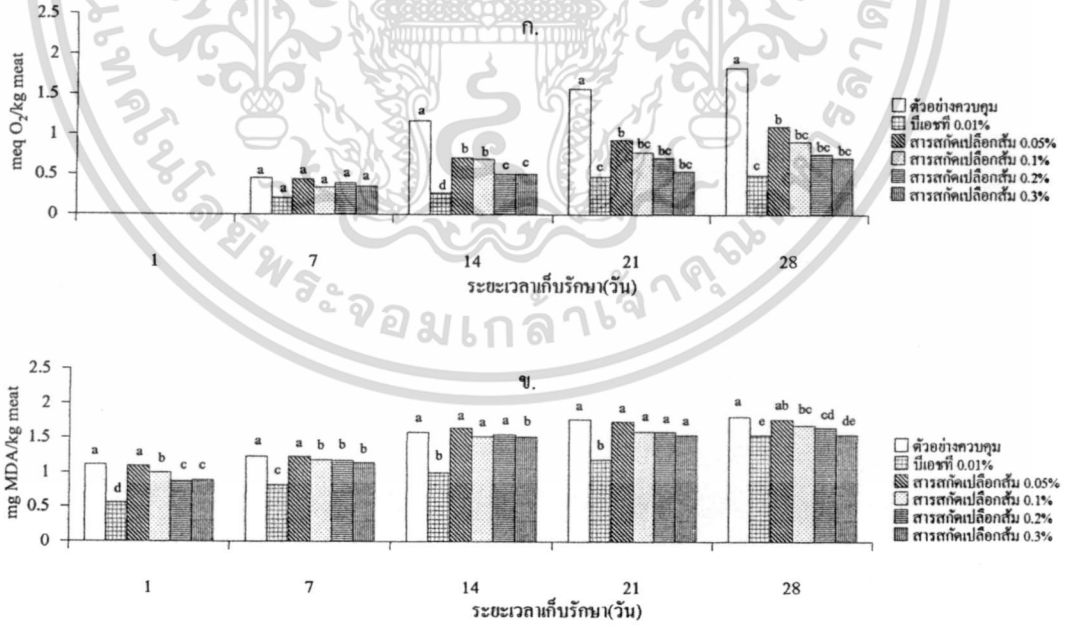
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 ค่า TBARS ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(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 4.9 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

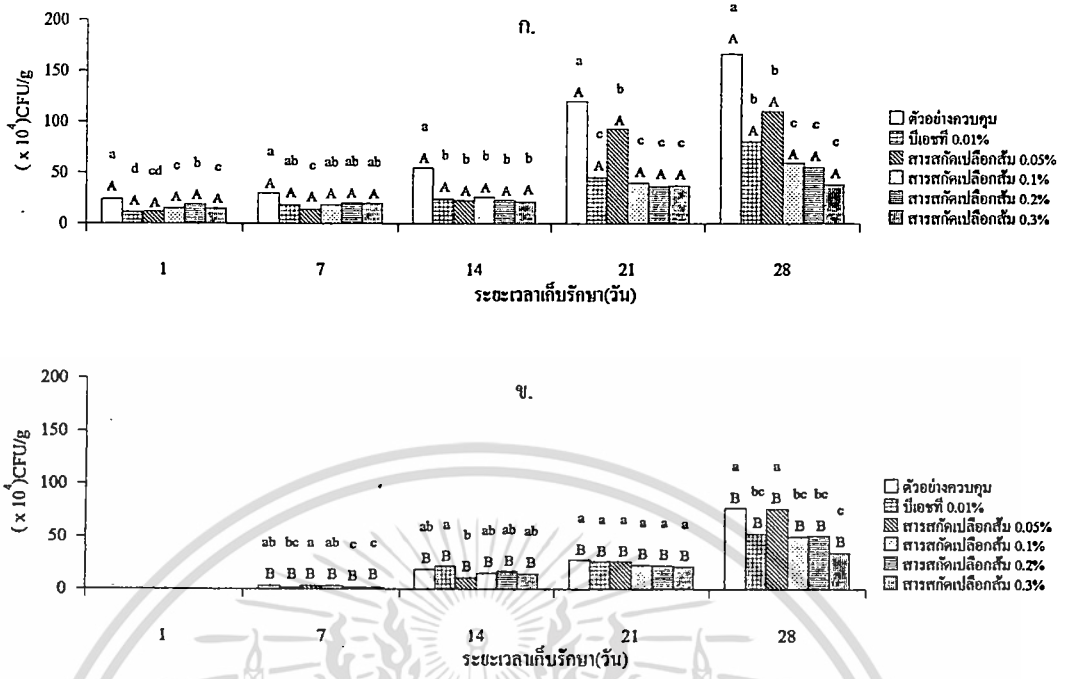
4.3.2 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°ซ) และ 4°ซ สำหรับหมูแผ่นสุกบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลิน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บตัวอย่างของหมูแผ่นทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน มาตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.10

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน พบว่าหมูแผ่นทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) เนื่องจากอุณหภูมิห้องเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์มากกว่าอุณหภูมิ 4°ซ จึงทำให้หมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีจำนวนจุลินทรีย์ในปริมาณสูงกว่า

ภาพที่ 4.10 แสดงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°ซ จะเห็นได้ว่า หมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) และเมื่อระดับของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานสูงขึ้นปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ในผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) ซึ่งจากการทดลองพบว่าภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน หมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°ซ มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $38.50\text{-}55.50\times10^4$ CFU/g ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 166.5×10^4 CFU/g สำหรับหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับหมูแผ่นตัวอย่างควบคุม โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $34.50\text{-}51.00\times10^4$ CFU/g ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 77.0×10^4 CFU/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.)

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

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

จากการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นดิบ พบว่าหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานลงในส่วนผสมที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก จะมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานประกอบด้วยสารประกอบในกลุ่มโพลีฟีนอล(polyphenol) และสารในกลุ่มของเฟลโวนอยด์(flavonoids) ซึ่งสารดังกล่าวมีสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้(Ramasawamy *et al.*, 1972) และจากรายงานของ Duffy และ Power(2001) และ Jayaprakasha และคณะ(2000) พบว่าสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานมีสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และแบคทีเรียบางชนิด ดังนั้นการที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ในหมูแผ่นดิบมีปริมาณน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม จึงน่าจะเป็นผลมาจากสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวาน นอกจากนี้หมูแผ่นดิบที่เติมบีเอชที ยังมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอีกด้วย ซึ่งจากรายงานของ Ayaz และคณะ(1980) และ Shih และ Harris(1977) พบว่าสารประกอบฟีนอลิคที่ได้จากการสังเคราะห์มีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

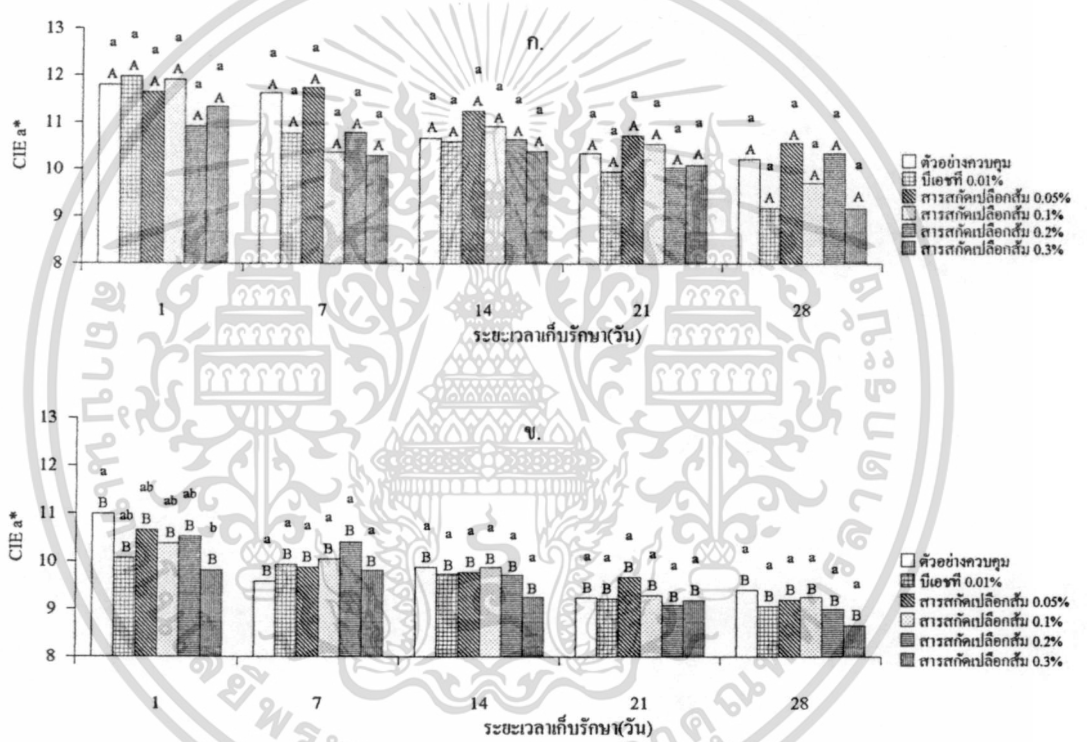
4.3.3 ค่าสี

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°ซ) และ 4°ซ สำหรับหมูแผ่นสุกบรรจุถุงพลาสติกโพลีโพรไพลิน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง วัดสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta โดยแสดงผลในระบบ Commission Intertionaled Eclairage(CIE) บันทึกค่า L*, a* และ b* ของตัวอย่างหมูแผ่นทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.11-4.12 การทดลองนี้จะรายงานผลเฉพาะค่า a* (สีแดง) ซึ่งเป็นค่าสีหลักที่สำคัญและนิยมใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงสีอันเนื่องมากจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์(Govindarajan, 1973) ซึ่งค่า a* สามารถบอกถึงการเปลี่ยนแปลงสีและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้อย่างชัดเจน โดยตัวอย่างที่มีค่า a* สูง แสดงว่าตัวอย่างมีค่าสีแดงมากกว่าตัวอย่างที่มีค่า a* ต่ำ ส่วนค่า L* และ b* จะแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยในภาคผนวก ง. ซึ่งค่าสีทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a* ของผลิตภัณฑ์ ในช่วงระยะเวลา 28 วัน พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่า a* ของตัวอย่างหมูแผ่นดิบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) โดยหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าสีแดงมากกว่าหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ อย่างไรก็ตามการที่ตัวอย่างหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีค่าสีแดงต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ไม่น่าจะแสดงถึงว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกิดการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุในผลิตภัณฑ์อาหารอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากผลการทดลองดังกล่าวไม่สอดคล้องกันแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ โดยตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าทั้งสองสูงกว่าตัวอย่างหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ(ภาพที่ 4.7 และ 4.8) ดังนั้นผลการทดลองข้างต้นจึงน่าจะเป็นผลมาจากไขมันหมูที่เป็นองค์ประกอบในหมูแผ่นมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 33-46°ซ(นิธิยา, 2545) ซึ่งขณะเก็บรักษาหมูแผ่นที่อุณหภูมิห้อง ไขมันบางส่วนจะเริ่มหลอมละลายเป็นของเหลวเป็นผลให้ขณะวัดสีจะไม่มีการสะท้อนของสีขาวขุ่นจากไขมัน ทำให้ค่า a* ที่วัดได้มีค่าสูง ในทางตรงกันข้ามหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ ไขมันในผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นของแข็งสีขาวขุ่น ซึ่งขณะวัดสีจะเกิดการสะท้อนของสีขาวขุ่นจึงทำให้ค่า a* ของหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีค่าน้อย ถึงแม้ว่าก่อนวัดสีจะนำตัวอย่างหมูแผ่นมาไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างเท่ากับอุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามช่วงระยะเวลาดังกล่าวไม่เพียงพอที่จะทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวโดยสมบูรณ์ได้ ดังนั้นขณะวัดสีจึงเกิดการสะท้อนของสีขาวขุ่นทำให้ค่า a* ของตัวอย่างหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีค่าน้อยกว่าหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.11 แสดงค่า a* ของหมูแผ่นดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°ซ และภาพที่ 4.12 แสดงค่า a* ของหมูแผ่นสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากภาพทั้งสอง จะเห็นได้ว่าหมูแผ่นดิบและสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการทดลอง มีค่า a* ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที นอกจากนี้ยังพบอีกว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า a* ของหมูแผ่นทุกตัวอย่างในทุกสภาวะการทดลองจะเริ่มมีค่า a* ลดลงเรื่อยๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวันแรกที่ทำการเก็บรักษา โดยการลดลงของค่า a* จะเห็นได้ชัดเจนมากในหมูแผ่นสุก ซึ่งการลดลงของค่า a* นี้แสดงถึงค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์หมูแผ่นได้จางลงจากวันเริ่มต้นที่เก็บรักษา

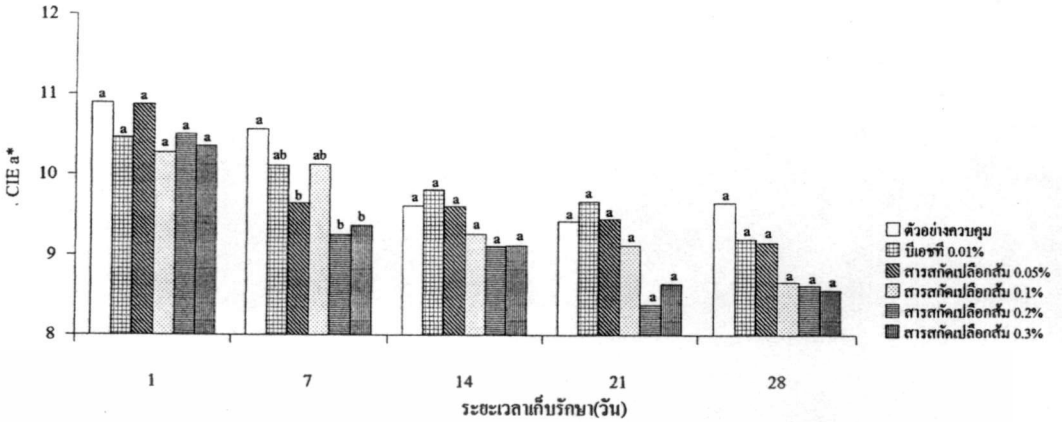


ภาพที่ 4.11 ค่า a* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 ค่า a* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

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

จากผลการทดลองในเรื่องของสีของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ของระดับการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันกับการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้มีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อสีของตัวอย่างได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีอันเนื่องมาจากผลของไขมันและน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ เป็นต้น อีกทั้งระยะเวลาในการทดลองสั้นเกินไปที่จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีเนื่องจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันในแต่ละตัวอย่างได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามตัวอย่างหมูแผ่นที่เก็บรักษาในทุกสภาวะมีแนวโน้มของค่า a* ที่ลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น น่าจะเป็นผลเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบินอย่างช้าๆ แล้วมีผลต่อเนื่องกับการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ซึ่งขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสัตว์เนื่องจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้กล่าวถึงรายละเอียดต่างๆไว้แล้วในหัวข้อ 4.2.3

4.3.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง($30\pm3^{\circ}$ซ) และ 4°ซ สำหรับหมูแผ่นสุกบรรจุถุงพลาสติกโพลีโพรไพลิน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยการดมกลิ่นหืนในตัวอย่างหมูแผ่นทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน โดยใช้วิธีทดสอบแบบ multiple comparison test การทดสอบจะให้ผู้ทดสอบระบุคะแนนของกลิ่นหืนที่รับรู้ได้ โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง(reference) คือ หมูแผ่นที่เติมบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก ที่เก็บรักษาใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะและเวลาเดียวกับตัวอย่างทดสอบ แบ่งระดับคะแนนเป็น 9 ระดับ คือ 1 = มีกลิ่นหืนน้อยที่สุด ถึง 9 = มีกลิ่นหืนมากที่สุด(ภาคผนวก ข.) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5-4.7

ตารางที่ 4.5 และ 4.6 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 4°ซ ตามลำดับ และตารางที่ 4.7 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุก จากผลการทดลองในตารางทั้ง 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°ซ และหมูแผ่นสุกเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยมีค่า TBARS ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม(ภาพที่ 4.7-4.9) ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน กล่าวคือ หมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการทดลองจะมีคะแนนด้านกลิ่นหืนใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมบีเอชทีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1% โดยน้ำหนัก สำหรับในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นในการทดลองหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบ ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$_{a}4.40\pm0.89^{b}$	$_{a}5.40\pm0.55^{ab}$	$_{a}6.20\pm1.92^{a}$	$_{ab}6.40\pm1.51^{a}$	$_{a}6.80\pm0.89^{a}$
0.1	$_{a}4.40\pm0.55^{c}$	$_{a}4.60\pm1.14^{bc}$	$_{a}5.40\pm1.14^{abc}$	$_{ab}6.00\pm1.22^{ab}$	$_{ab}6.20\pm1.30^{a}$
0.2	$_{a}4.40\pm1.14^{a}$	$_{a}4.80\pm1.30^{a}$	$_{a}5.00\pm1.00^{a}$	$_{ab}5.20\pm1.30^{a}$	$_{ab}5.80\pm1.30^{a}$
0.3	$_{a}4.20\pm1.48^{b}$	$_{a}4.40\pm2.07^{ab}$	$_{a}5.00\pm1.00^{ab}$	$_{ab}5.20\pm0.84^{ab}$	$_{ab}6.20\pm1.09^{a}$
บีเอชที 0.01	$_{a}4.40\pm1.52^{a}$	$_{a}4.40\pm1.52^{a}$	$_{a}4.60\pm1.14^{a}$	$_{b}4.80\pm1.64^{a}$	$_{b}5.00\pm1.22^{a}$
ตัวอย่างควบคุม	$_{a}5.20\pm0.84^{b}$	$_{a}5.80\pm1.30^{ab}$	$_{a}6.20\pm1.30^{ab}$	$_{a}7.00\pm1.58^{ab}$	$_{a}7.20\pm1.30^{a}$

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หืนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หืนมากที่สุด

ตารางที่ 4.6 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ

ความเข้มข้นของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบ ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$_{a}4.80\pm0.84^{a}$	$_{a}5.40\pm1.14^{a}$	$_{a}5.80\pm1.30^{a}$	$_{a}6.20\pm1.64^{a}$	$_{a}6.40\pm1.64^{a}$
0.1	$_{a}5.40\pm1.14^{a}$	$_{a}5.60\pm0.89^{a}$	$_{a}6.00\pm0.71^{a}$	$_{ab}5.80\pm0.45^{a}$	$_{ab}6.20\pm0.89^{a}$
0.2	$_{a}5.20\pm0.84^{a}$	$_{a}5.20\pm1.30^{a}$	$_{a}5.60\pm0.55^{a}$	$_{ab}5.40\pm0.55^{a}$	$_{ab}5.88\pm0.84^{a}$
0.3	$_{a}5.00\pm0.71^{a}$	$_{a}5.20\pm0.45^{a}$	$_{a}5.20\pm1.30^{a}$	$_{ab}5.40\pm0.54^{a}$	$_{ab}5.80\pm0.45^{a}$
บีเอชที 0.01	$_{a}4.40\pm0.89^{a}$	$_{a}4.40\pm1.14^{a}$	$_{a}4.60\pm1.51^{a}$	$_{b}4.40\pm1.94^{a}$	$_{b}4.80\pm1.64^{a}$
ตัวอย่างควบคุม	$_{a}4.80\pm0.84^{b}$	$_{a}5.60\pm0.55^{ab}$	$_{a}6.00\pm2.00^{ab}$	$_{a}6.20\pm1.30^{ab}$	$_{a}6.60\pm0.89^{a}$

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หืนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หืนมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุก ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$_{a}5.20\pm1.64^{a}$	$_{ab}5.60\pm1.52^{a}$	$_{a}6.40\pm1.51^{a}$	$_{ab}6.20\pm1.30^{a}$	$_{a}6.90\pm1.52^{a}$
0.1	$_{a}5.60\pm0.55^{a}$	$_{ab}5.80\pm0.84^{a}$	$_{a}6.00\pm1.58^{a}$	$_{ab}6.20\pm1.30^{a}$	$_{ab}6.40\pm1.14^{a}$
0.2	$_{a}5.20\pm0.84^{a}$	$_{ab}5.20\pm0.45^{a}$	$_{a}5.20\pm2.16^{a}$	$_{ab}5.70\pm0.84^{a}$	$_{ab}6.20\pm1.48^{a}$
0.3	$_{a}5.20\pm0.70^{a}$	$_{ab}5.20\pm0.45^{a}$	$_{a}5.20\pm1.09^{a}$	$_{ab}5.80\pm1.09^{a}$	$_{ab}5.80\pm1.48^{a}$
บีเอชที 0.01	$_{a}4.60\pm0.55^{a}$	$_{b}4.80\pm0.84^{a}$	$_{a}5.00\pm1.22^{a}$	$_{b}5.00\pm0.89^{a}$	$_{b}5.50\pm1.58^{a}$
ตัวอย่างควบคุม	$_{a}5.80\pm1.30^{a}$	$_{a}6.20\pm0.84^{a}$	$_{a}6.80\pm0.84^{a}$	$_{a}6.60\pm2.07^{a}$	$_{a}7.20\pm1.30^{a}$

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของการเติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หืนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หืนมากที่สุด

4.4 การใช้สารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่น

4.4.1 ค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS

จากการศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานในผลิตภัณฑ์หมูแผ่น โดยเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°ซ) และ 4°ซ สำหรับหมูแผ่นสุกบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลิน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.13-15

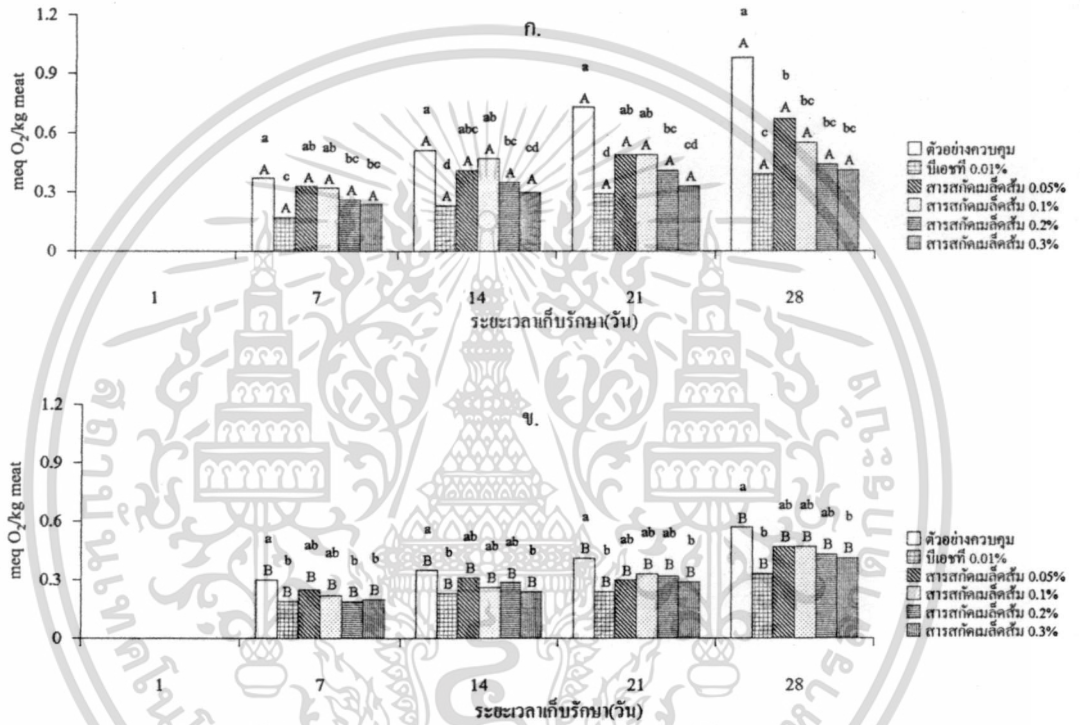
เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของผลิตภัณฑ์หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าเปอร์-ออกไซด์และ TBARS ของตัวอย่างหมูแผ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) โดยหมูแผ่นดิบทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS สูงกว่าหมูแผ่นดิบทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ แสดงให้เห็นว่าหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้มากกว่าหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.13 และ 4.14 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°ซ ตามลำดับ และภาพที่ 4.15 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ของหมูแผ่นสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จะเห็นได้ว่าการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานในส่วนผสมของหมูแผ่นดิบและสุกในทุกสภาวะการเก็บรักษาที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาช้ากว่าตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันในหมูแผ่นได้ 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°ซ จะมีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เติมบีเอชที แสดงว่าการใช้สารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่สภาวะการเก็บรักษาในระดับดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมการใช้สารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีมาก โดยหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน หมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS อยู่ในช่วง 0.41±0.03-0.55±0.20 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ 1.10±0.10-1.57±0.61 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ 0.98±0.17 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น 2.07±0.15 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในกรณีของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ จะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS อยู่ในช่วง 0.41±0.02-0.47±0.08 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ 0.64±0.02-0.81±0.01 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีค่าเปอร์ออกไซด์และ TBARS เท่ากับ 0.57±0.02 มิลลิกรัมสมมูล/กิโลกรัมหมูแผ่น และ 1.36±0.24 มิลลิกรัมมาโลนไดอัลดีไฮด์/กิโลกรัมหมูแผ่น ตามลำดับ สำหรับหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

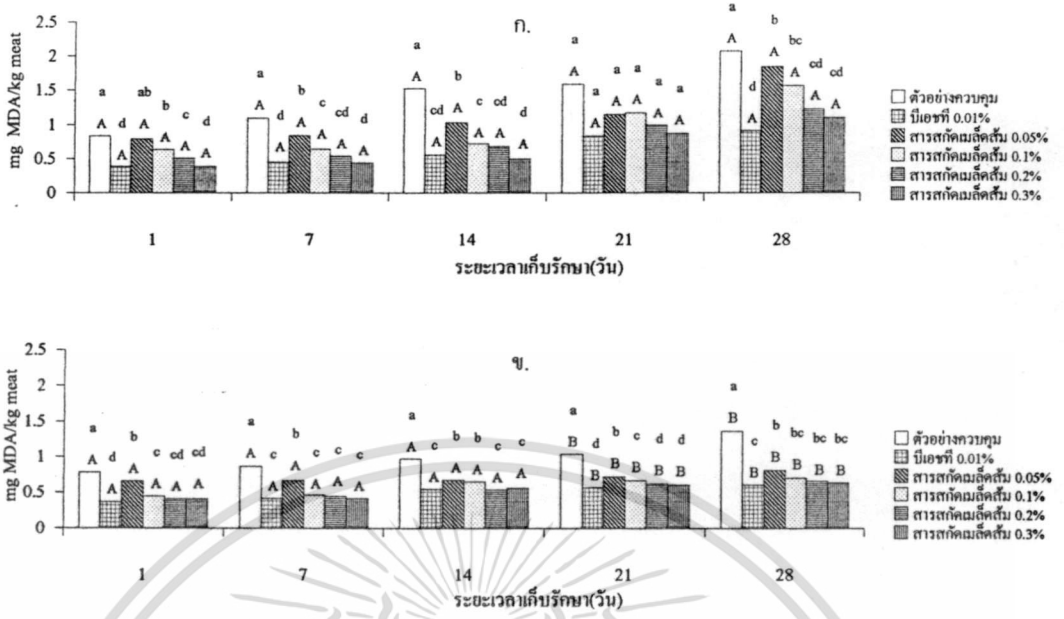


ภาพที่ 4.13 ค่าเปอร์ออกไซด์ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.)

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

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

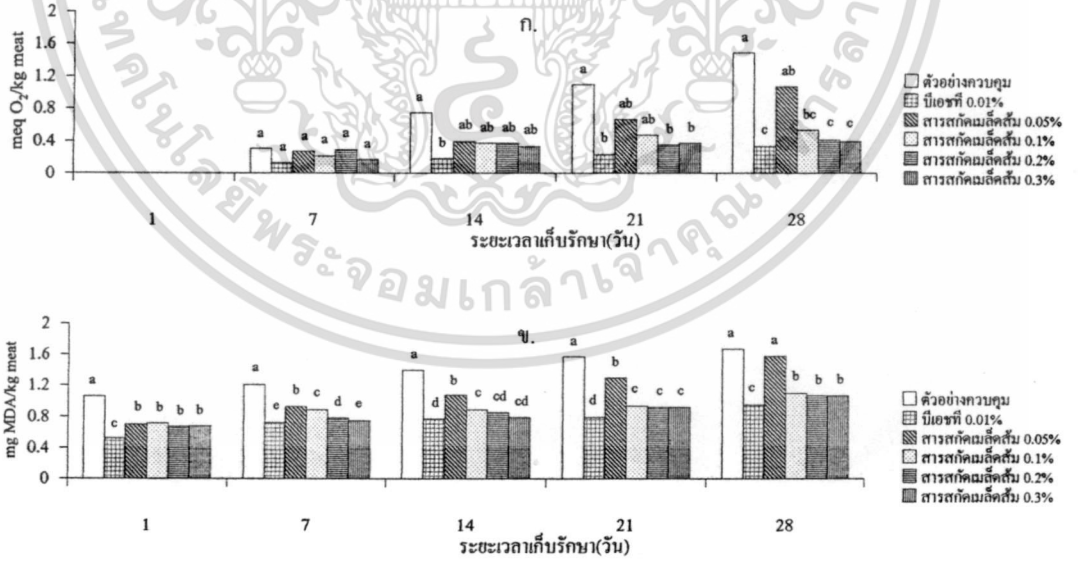
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 ค่า TBARS ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(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 4.15 ค่าเปอร์ออกไซด์(ก.) และ TBARS(ข.) ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

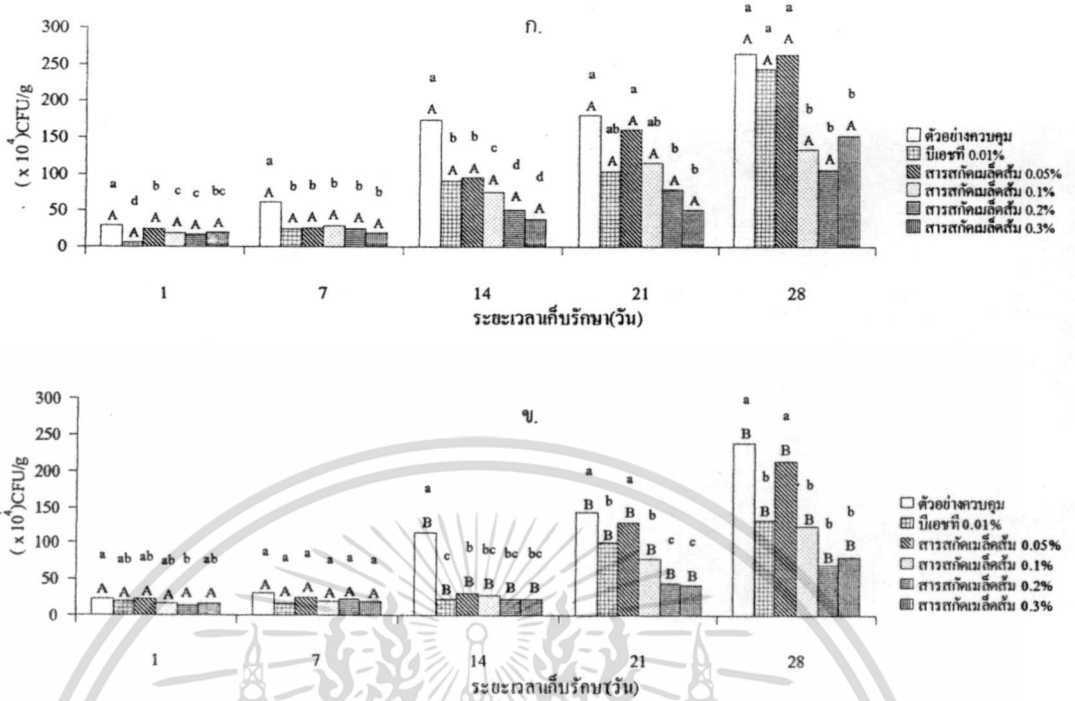
4.4.2 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์หมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°ซ) และ 4°ซ สำหรับหมูแผ่นสุกบรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลิน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บตัวอย่างของหมูแผ่นดิบทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน มาตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.16

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน พบว่าหมูแผ่นดิบทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) เนื่องจากอุณหภูมิห้องเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์มากกว่าอุณหภูมิ 4°ซ จึงทำให้หมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีจำนวนจุลินทรีย์ในปริมาณสูงกว่า

ภาพที่ 4.16 แสดงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°ซ จะเห็นได้ว่า ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน หมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) โดยหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $133\text{-}151.5 \times 10^4$ CFU/g ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 263.5×10^4 CFU/g สำหรับหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $69\text{-}123 \times 10^4$ CFU/g ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 237.5×10^4 CFU/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.)

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

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

จากการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นดิบ พบว่าการใช้สารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานเติมลงในส่วนผสมของหมูแผ่นดิบจะมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ โดยจำนวนจุลินทรีย์ที่ตรวจนับได้ในหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานจะมีปริมาณต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานประกอบด้วยสารประกอบในกลุ่มโพลีฟีนอล(polyphenol) และสารในกลุ่มของเฟลโวนอยด์(flavonoids) ซึ่งสารดังกล่าวมีสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้(Ramasawamy *et al*., 1972) ดังนั้นการที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจนับได้ในหมูแผ่นมีปริมาณน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม จึงน่าจะเป็นผลมาจากสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวาน นอกจากนี้หมูแผ่นดิบที่เติมบีเอชทียังมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอีกด้วย ซึ่งจากรายงานของ Ayaz และคณะ(1980) และ Shih และ Harris(1977) พบว่าสารประกอบฟีนอลิคที่ได้จากการสังเคราะห์มีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ค่าสี

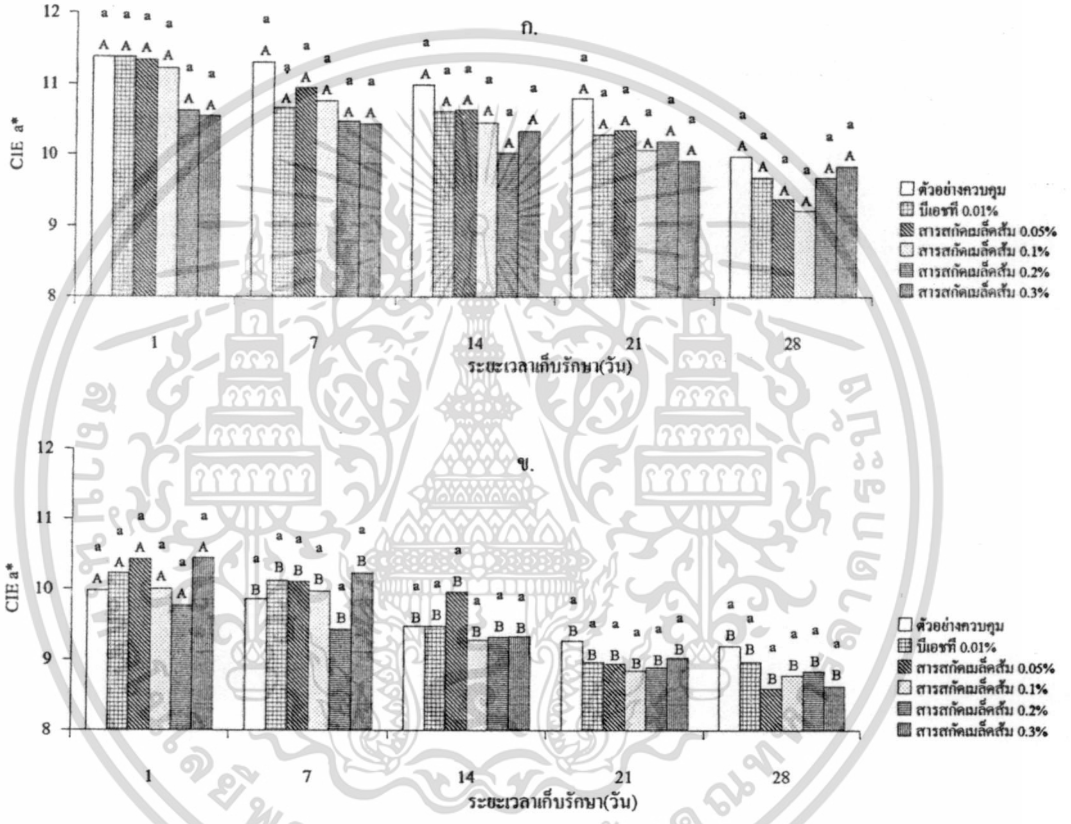
จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(30±3°ซ) และ 4°ซ สำหรับหมูแผ่นสุกบรรจุถุงพลาสติกโพลีโพรไพลิน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง วัดสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta โดยแสดงผลในระบบ Commission Intertionaled Eclairage(CIE) บันทึกค่า L*, a* และ b* ของตัวอย่างหมูแผ่นทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.17-4.18 การทดลองนี้จะรายงานผลเฉพาะค่า a* (สีแดง) ซึ่งเป็นค่าสีหลักและนิยมใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงสีอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ 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°ซ อย่างไรก็ตามการที่ตัวอย่างหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีค่าสีแดงต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ไม่น่าจะแสดงถึงว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกิดการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุในผลิตภัณฑ์อาหารอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากผลการทดลองดังกล่าวไม่สอดคล้องกันแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ และ TBARS ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ โดยตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าทั้งสองสูงกว่าตัวอย่างหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ(ภาพที่ 4.13 และ 4.14) ดังนั้นผลการทดลองข้างต้นจึงน่าจะเป็นผลมาจากไขมันหมูที่เป็นองค์ประกอบในหมูแผ่นมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 33-46°ซ(นิธิยา, 2545) ซึ่งขณะเก็บรักษาหมูแผ่นที่อุณหภูมิห้อง ไขมันบางส่วนจะเริ่มหลอมละลายเป็นของเหลวเป็นผลให้ขณะวัดสีจะไม่มีการสะท้อนของสีขาวขุ่นจากไขมัน ทำให้ค่า a* ที่วัดได้มีค่าสูง ในทางตรงกันข้ามหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ ไขมันในผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นของแข็งสีขาวขุ่น ซึ่งขณะวัดสีจะเกิดการสะท้อนของสีขาวขุ่นจึงทำให้ค่า a* ของหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีค่าน้อย ถึงแม้ว่าก่อนวัดสีจะนำตัวอย่างหมูแผ่นมาไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างเท่ากับอุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามช่วงระยะเวลาดังกล่าวไม่เพียงพอที่จะทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวโดยสมบูรณ์ได้ ดังนั้นขณะวัดสีจึงเกิดการสะท้อนของสีขาวขุ่นทำให้ค่า a* ของตัวอย่างหมูแผ่นดิบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีค่าน้อยกว่าหมูแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ภาพที่ 4.17 แสดงค่า a* ของหมูแผ่นดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°ซ และภาพที่ 4.18 แสดงค่า a* ของหมูแผ่นสุก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากภาพทั้งสอง จะเห็นได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมูแผ่นดิบและสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการเก็บรักษา มีค่า a* ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมบีเอชที นอกจากนี้ยังพบอีกว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า a* ของหมูแผ่นทุกตัวอย่างในทุกสภาวะการทดลองจะเริ่มมีค่า a* ลดลงเรื่อยๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวันแรกที่ทำการเก็บรักษา โดยการลดลงของค่า a* จะเห็นได้ชัดเจนมากในหมูแผ่นสุก ซึ่งการลดลงของค่า a* นี้แสดงถึงค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์หมูแผ่นได้จางลงจากวันเริ่มต้นที่เก็บรักษา

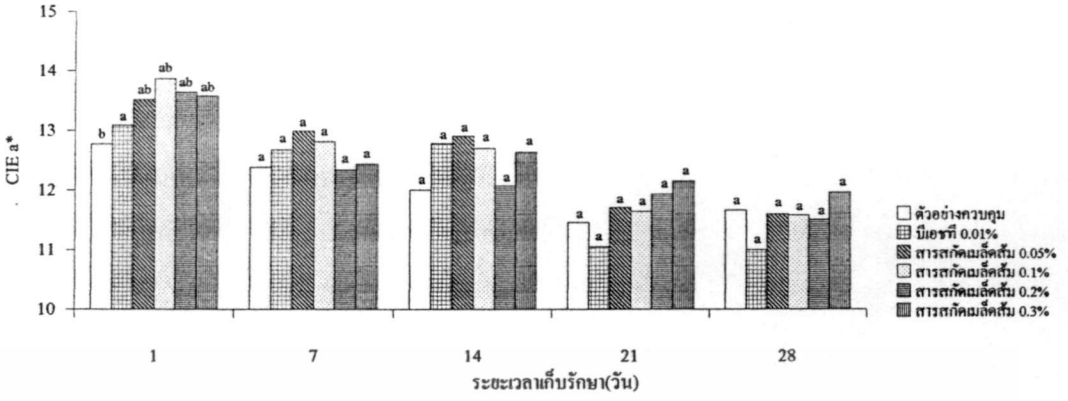


ภาพที่ 4.17 ค่า a* ของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(ก.) และ 4°ซ(ข.)

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 ค่า a* ของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

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

จากผลการทดลองในเรื่องของสีของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ของระดับการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันกับการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้มีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อสีของตัวอย่างได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีอันเนื่องมาจากผลของไขมันที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ เป็นต้น และระยะเวลาในการทดลองสั้นเกินไปที่จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในแต่ละตัวอย่างได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามตัวอย่างหมูแผ่นที่เก็บรักษาในทุกสภาวะมีแนวโน้มของค่า a* ที่ลดลงเมื่อเก็บระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น น่าจะเป็นผลเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุไมโอโกลบินอย่างช้าๆ แล้วมีผลต่อเนื่องกับการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ซึ่งขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสัตว์เนื่องจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้กล่าวถึงรายละเอียดต่างๆไว้แล้วในหัวข้อ 4.2.3

4.4.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเมล็ดเขียวหวานในส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ โดยมีสภาวะการเก็บรักษาคือ หมูแผ่นดิบบรรจุในถุงพลาสติก(nylon/LLDPE)แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง($30\pm3^{\circ}$ซ) และ 4°ซ สำหรับหมูแผ่นสุกบรรจุถุงพลาสติกโพลีโพรไพลิน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยการดมกลิ่นหืนในตัวอย่างหมูแผ่นทุก 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน โดยใช้วิธีทดสอบแบบ multiple comparison test การทดสอบจะให้ผู้ทดสอบระบุคะแนนของกลิ่นหืนที่รับรู้ได้ โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง(reference) คือ หมูแผ่นที่เติมบีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก ที่เก็บรักษาใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะและเวลาเดียวกับตัวอย่างทดสอบ แบ่งระดับคะแนนเป็น 9 ระดับ คือ 1 = มีกลิ่นหืนน้อยที่สุด ถึง 9 = มีกลิ่นหืนมากที่สุด(ภาคผนวก ข.) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8-4.10

ตารางที่ 4.8 และ 4.9 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4°ซ ตามลำดับ และตารางที่ 4.0 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุก 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 และ หมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.05-0.3% โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยหมูแผ่นที่เติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานดังกล่าวมีค่า TBARS ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม(ภาพที่ 4.13-4.15) ผลการทดลองดังกล่าวมีแนวโน้มและทิศทางเดียวกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืน กล่าวคือ หมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1-0.3% โดยน้ำหนัก ในทุกสภาวะการทดลองจะมีคะแนนด้านกลิ่นหืนใกล้เคียงกับบีเอชทีมากที่สุด ดังนั้นเพื่อให้การใช้สารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาลิปิดเปอร์-ออกซิเดชันได้ดีที่สุด และใกล้เคียงกับบีเอชทีมากที่สุด จึงเลือกสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1% โดยน้ำหนัก สำหรับในผลิตภัณฑ์หมูแผ่นการทดลองหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบ ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$_{a}4.80\pm0.84^{a}$	$_{a}5.40\pm1.14^{a}$	$_{a}5.40\pm0.55^{a}$	$_{ab}5.80\pm0.45^{a}$	$_{a}6.70\pm0.89^{a}$
0.1	$_{a}5.00\pm1.22^{a}$	$_{a}5.20\pm1.92^{a}$	$_{a}5.40\pm1.52^{a}$	$_{ab}5.60\pm1.81^{a}$	$_{ab}6.20\pm1.34^{a}$
0.2	$_{a}4.80\pm1.64^{a}$	$_{a}5.20\pm1.09^{a}$	$_{a}5.40\pm0.55^{a}$	$_{ab}5.60\pm0.89^{a}$	$_{ab}5.80\pm1.64^{a}$
0.3	$_{a}4.40\pm1.34^{a}$	$_{a}4.80\pm0.84^{a}$	$_{a}5.00\pm1.14^{a}$	$_{ab}5.20\pm1.64^{a}$	$_{ab}5.80\pm1.48^{a}$
บีเอชที 0.01	$_{a}4.40\pm0.89^{a}$	$_{a}4.40\pm1.14^{a}$	$_{a}4.20\pm1.48^{a}$	$_{b}4.60\pm1.52^{a}$	$_{b}5.00\pm0.70^{a}$
ตัวอย่างควบคุม	$_{a}5.40\pm1.82^{a}$	$_{a}5.40\pm1.14^{a}$	$_{a}5.60\pm0.89^{a}$	$_{a}6.60\pm1.52^{a}$	$_{a}7.00\pm0.71^{a}$

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หืนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หืนมากที่สุด

ตารางที่ 4.9 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ

ความเข้มข้นของสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นดิบ ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$_{a}5.20\pm1.30^{a}$	$_{a}5.80\pm2.49^{a}$	$_{ab}5.60\pm1.34^{a}$	$_{a}6.20\pm1.09^{a}$	$_{a}6.40\pm1.67^{a}$
0.1	$_{a}4.80\pm1.30^{a}$	$_{a}5.20\pm2.68^{a}$	$_{ab}5.20\pm1.09^{a}$	$_{a}5.80\pm1.30^{a}$	$_{ab}5.80\pm1.81^{a}$
0.2	$_{a}4.80\pm1.64^{a}$	$_{a}5.20\pm0.84^{a}$	$_{ab}5.60\pm0.55^{a}$	$_{ab}5.60\pm0.89^{a}$	$_{ab}6.00\pm0.71^{a}$
0.3	$_{a}5.00\pm0.89^{a}$	$_{a}5.40\pm1.87^{a}$	$_{ab}5.40\pm0.55^{a}$	$_{ab}5.60\pm0.55^{a}$	$_{ab}5.80\pm0.84^{a}$
บีเอชที 0.01	$_{a}4.20\pm1.30^{a}$	$_{a}4.80\pm1.92^{a}$	$_{b}4.20\pm2.28^{a}$	$_{b}4.40\pm0.89^{a}$	$_{b}4.20\pm1.64^{a}$
ตัวอย่างควบคุม	$_{a}5.00\pm1.58^{a}$	$_{a}6.00\pm1.41^{a}$	$_{a}6.00\pm0.70^{a}$	$_{a}6.20\pm1.30^{a}$	$_{a}6.60\pm1.14^{a}$

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หืนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หืนมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุกที่เติมสารสกัดจากเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวาน (%)	คะแนนการทดสอบกลิ่นหืนของหมูแผ่นสุก ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)				
	1	7	14	21	28
0.05	$_{a}4.80\pm0.45^{b}$	$_{a}5.60\pm1.52^{ab}$	$_{ab}6.20\pm1.09^{ab}$	$_{ab}6.60\pm1.34^{a}$	$_{a}7.00\pm0.71^{a}$
0.1	$_{a}5.20\pm0.45^{a}$	$_{a}5.40\pm2.30^{a}$	$_{ab}5.60\pm1.14^{a}$	$_{ab}6.20\pm0.84^{a}$	$_{ab}6.20\pm1.30^{a}$
0.2	$_{a}5.40\pm0.55^{a}$	$_{a}4.60\pm0.55^{a}$	$_{ab}5.60\pm1.14^{a}$	$_{ab}5.60\pm0.55^{a}$	$_{ab}6.20\pm0.84^{a}$
0.3	$_{a}5.40\pm0.89^{a}$	$_{a}5.00\pm2.24^{a}$	$_{ab}5.40\pm1.14^{a}$	$_{ab}5.60\pm1.14^{a}$	$_{ab}6.40\pm0.89^{a}$
บีเอชที 0.01	$_{a}4.60\pm0.55^{a}$	$_{a}4.60\pm0.55^{a}$	$_{b}4.80\pm0.84^{a}$	$_{b}5.00\pm0.71^{a}$	$_{b}5.00\pm1.41^{a}$
ตัวอย่างควบคุม	$_{a}5.50\pm0.71^{b}$	$_{a}6.00\pm1.58^{ab}$	$_{a}6.60\pm1.14^{ab}$	$_{a}6.80\pm1.92^{ab}$	$_{a}7.40\pm1.52^{a}$

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านขวาบนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของระยะเวลาในการเก็บรักษา

2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันทางด้านซ้ายล่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)ของการเติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับต่างๆในวันที่เก็บรักษาเดียวกัน

3. คะแนนการทดสอบทางด้านกลิ่นหืน1-9; คะแนน = 1 หืนน้อยที่สุด, คะแนน = 9 หืนมากที่สุด

4.5 ผลของการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานในหมูแผ่นต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมูแผ่น

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

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 4.11 แสดงการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1% โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม จะเห็นได้ว่าหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก มีคะแนนความชอบด้านสีแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม เนื่องจากหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับดังกล่าวจะมีพีเอชอยู่ในช่วง 5-6 ซึ่งที่พีเอชในช่วงนี้รงควัตถุแอนโธไซยานินที่เป็นองค์ประกอบหลักในกระเจี๊ยบแดงจะมีสีแดงม่วง(หัวข้อ 4.2.3) ดังนั้นสีของหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงจึงมีสีแดงคล้ำกว่าตัวอย่างควบคุม ทำให้คะแนนความชอบด้านสีของหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) สำหรับหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1% โดยน้ำหนัก มีคะแนนความชอบด้านสีไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ในกรณีของกลิ่นหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม($p\geq0.05$) สำหรับรสชาติและการยอมรับรวมของหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงมีคะแนนความชอบด้านรสชาติใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม แต่คะแนนการยอมรับรวมแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม($p\leq0.05$) เนื่องจากสีของหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงมีสีแดงคล้ำเกินไปทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ ดังนั้นจึงทำให้คะแนนการยอมรับรวมค่อนข้างต่ำ ในกรณีของหมูแผ่นที่เติมสารสกัดเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน มีคะแนนความชอบด้านรสชาติและการยอมรับรวมแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม($p\leq0.05$) เนื่องจากหมูแผ่นที่เติมสารสกัดเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานมีรสชาติขมทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ ดังนั้นคะแนนการยอมรับรวมของหมูแผ่นที่เติมสารสกัดเปลือกส้มเขียวหวานจึงค่อนข้างต่ำ สำหรับคะแนนการยอมรับรวมของหมูแผ่นที่เติมสารสกัดเมล็ดส้มเขียวหวานอยู่ในระดับต่ำมาก ซึ่งเป็นระดับที่ผู้ทดสอบไม่ชอบมาก

ในกรณีของหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวาน มีรสชาติขมนั้นเป็นผลมาจากความขมของสารประกอบในกลุ่มของลิโมนอยด์(limonoids) เช่น ลิโมนิน(li-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

monin) และโนมิลิน(nomilin) ซึ่งมีอยู่ในสารสกัดเมื่อนำมาเติมในส่วนผสมของหมูแผ่นจึงทำให้หมูแผ่นมีรสชาติขม ดังนั้นถ้าจะนำสารสกัดทั้ง 2 ชนิดมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารควรจะแยกส่วนของสารประกอบในกลุ่มของลิโมนอยด์ออกก่อน ปัจจุบันมีวิธีกำจัดความขมของสารประกอบในกลุ่มของลิโมนอยด์หลายวิธีด้วยกัน เช่น การใช้เรซิน(resins) และสารดูดซับ(adsorbents) ตัวอย่างของเรซินและสารดูดซับที่นิยมใช้ได้แก่ โพลีเอไมด์เรซิน(polyamideresins) และเซลลูโลสไตรอะซิเทรต(cellulose triacetate) อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือการใช้เอนไซม์ย่อยสลายสารขมลิโมนิน เอนไซม์ที่ใช้กันมีอยู่ 2 ชนิดคือ เอนไซม์ลิโมนิน ดีไฮโดรจิเนส(limonin dehydrogenase) และนารินจิเนส(naringinase) สำหรับวิธีสุดท้ายคือการใช้วิธีการของ supercritical extraction สกัดแยกส่วนของลิโมนอยด์ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการของผลิตภัณฑ์หมูแผ่น พบว่า หมูแผ่นที่ผลิตได้มีปริมาณไขมันเท่ากับ 10.67±0.05% ความชื้นเท่ากับ 24.69±0.95% และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เท่ากับ 0.73±0.02

2. จากการศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่น พบว่า การใช้สารสกัดเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก การใช้สกัดเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1% โดยน้ำหนักเติมลงในส่วนผสมของหมูแผ่นทั้งดิบและสุกจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามการใช้สารสกัดทั้ง 3 ชนิดที่ระดับดังกล่าวยังคงมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันต่ำกว่าการใช้บีเอชที 0.01% โดยน้ำหนัก

3. จากการศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้ม-เขียวหวานต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ เมื่อเติมสารสกัดทั้ง 3 ชนิดลงในส่วนผสมของหมูแผ่น พบว่าผู้ทดสอบจะยอมรับผลิตภัณฑ์หมูแผ่นตัวอย่างควบคุมมากกว่า เนื่องจากหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.3% โดยน้ำหนัก มีสีแดงคล้ำกว่าตัวอย่างควบคุมทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับดังกล่าว สำหรับหมูแผ่นที่เติมสารสกัดเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับ 0.1% โดยน้ำหนักมีรสชาติขมมาก ซึ่งแตกต่างจากหมูแผ่นตัวอย่างควบคุม ทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับหมูแผ่นที่เติมจากสารสกัดเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานที่ระดับดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ชัยณรงค์ คันธนมิตร. 2529. **วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์**. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. **เคมีอาหาร**. กรุงเทพฯ: โอ เอส พริ้นติ้งเฮ้าส์.

นิธิยา รัตนาปนนท์ และลักขณา รุจิไกรกานต์. 2541. **หลักการวิเคราะห์อาหาร**. เชียงใหม่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นวลศรี รักอริยะธรรม และอัญชนา เจนวิถีธรรม. 2545. **แอนติออกซิเดนท์ สารต้านมะเร็งในผักสมุนไพรไทย**. เชียงใหม่: นพบุรีการพิมพ์.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2539. **อาหารกึ่งแห้ง**. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม และวันทนีย์ ช้างน้อย. 2545. การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเมล็ดพืชตระกูลส้มชนิดต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย. **อาหาร**. 32(4): 300-307.

ปาริชาติ สักกะทำนุ. 2543. **ส้มเม็ด ฟลาโวนอยด์และวิตามินซีเสริมสุขภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: รวมทรรศน์.

ศิวาพร ศิวเวชช. 2529. **วัตถุเจือปนอาหาร เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

AOAC. **Official Method of Analysis**. 1995. 16th 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 know 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**, 2nd ed., edited by Davidson, P.M. and Branen, 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fernadez-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. Comparision 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**, 2nd 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Larrauri, J.A.. Ruperez, P., Bravo, L. and Calixto, F.S. 1996. High dietary fibre powders froms orang and lime peels: associated polyphenols and antioxidant capacity. **Food Res Int.** 29(8): 757-762.

Lee, M.J., Chou, F.P., Tseng, T.H., Hsigh, 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.** 3rd ed. New York. Champman 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 prepakaged meat II. Color studies. B. effects of storage time, storage temperation, 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. Pham. Bull**. 40(7): 1940-1942.

Tinsley, I.J. and Bockian, A.H., 1960. Some effects of sugars on the breakdowm 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 promary 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้