ผลของการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) ต้มสุก

ทรงพล สงวนทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวาริชศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มกราคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ ทรงพล สงวนทรัพย์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวามินี ธีระวุฒิ)

....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.ปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ศรีเวียง ทิพกานนท์

....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีเวียง ทิพกานนท์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวามินี ธีระวุฒิ)

....กรรมการ

(ดร.ปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน)

....กรรมการ

(ดร.ปิยะพร ณ หนองคาย)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์ของมหาวิทยาลัยบูรพา

....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 15 เดือน มกราคม พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวามินี ธีระวุฒิ และดร.ปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีเวียง ทิพกานนท์ และดร.ปิยะพร ณ หนองคาย คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและแนวคิดในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในคณะวิทยาศาสตร์และภาควิชาวาริชศาสตร์ทุกท่านที่ได้ให้การอบรมสั่งสอน ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวาริชศาสตร์ทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมไปถึงเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน

ที่สำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยอบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ คอยสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ทรงพล สงวนทรัพย์

57910156: สาขาวิชา: วาริชศาสตร์; วท.ม. (วาริชศาสตร์)
คำสำคัญ: สารสกัดจากชาเขียว/ กรดแอสคอร์บิก/ กุ้งขาวต้มสุก/ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพ/ อายุการเก็บรักษา

ทรงพล สงวนทรัพย์: ผลของการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) ต้มสุก (EFFECT OF GREEN TEA EXTRACT AND ASCORBIC ACID COATING ON COOKED PACIFIC WHITE SHRIPM (*Litopenaeus vannamei*) QUALITY) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: สวามินี ธีระวุฒิ, Ph.D., ปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, Ph.D. 111 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของเนื้อกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) ต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันได้แก่ T112 (สารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 1.25%), T106 (สารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 0.625%), T212 (สารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25%) และ T206 (สารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 0.625%) เปรียบเทียบกับเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารละลายอัลจิเนต 0.002% (TAC) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน พบว่าในชุดการทดลอง T212 สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยา (จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด) คุณภาพทางเคมี (TVB-N และ TMA-N) คุณภาพทางกายภาพ (a_w, pH และแรงเฉือน) และคุณภาพทางประสาทสัมผัส (กลิ่น รสชาติ กลิ่นรสและเนื้อสัมผัส) ได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ T206, T112, T106 และ TAC ตามลำดับ ทั้งนี้การเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อค่าสี (L*, a* และ b*) และลักษณะปรากฏ เนื่องจากสีของสารสกัดจากชาเขียวทำให้เนื้อกุ้งขาวต้มสุกมีสีขาวอมเหลืองตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งเมื่อพิจารณาจากมาตรฐานของปริมาณ TVB-N ในสัตว์น้ำแปรรูปที่ควรมีปริมาณไม่เกิน 35 mg N/100g, TMA-N ไม่เกิน 5 mg N/100g และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่ควรเกิน 6.0 log CFU/g สรุปได้ว่าชุดการทดลอง T212 เก็บรักษาได้ 22 วัน รองลงมาได้แก่ T112 และ T206 เก็บได้ 20 วัน T106 ที่เก็บได้ 14 วัน ในขณะที่ TAC เก็บได้เพียง 8 วัน และยังตรวจไม่พบจุลินทรีย์ก่อโรคทั้งโคลิฟอร์มแบคทีเรีย, *E. coli*, *B. cereus*, *C. perfringens*, *Salmonella* spp., *S. aureus* และ *V. parahaemolyticus* ในการเก็บรักษา

57910156: MAJOR: AQUATIC SCIENCE; M.Sc. (AQUATIC SCIENCE)
KEYWORDS: GREEN TEA EXTRACT/ ASCORBIC ACID/ COOKED PACIFIC WHITE SHRIMP/ QUALITY ASSESSMENT/ SHELF-LIFE

SONGBHOL SA-NGUANSUB: EFFECT OF GREEN TEA EXTRACT AND ASCORBIC ACID COATING ON COOKED PACIFIC WHITE SHRIPM (*Litopenaeus vannamei*) QUALITY. ADVISORY COMMITTEE: SAVAMINEE TEERAWUT, Ph.D., PATIYUT KWAN-ON, Ph.D. 111 P. 2018.

The research aimed to study the quality assessment and shelf-life of cooked pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) coated with green tea extract and ascorbic acid at different concentrations such as T112 (1.25% green tea extract and 1.25% ascorbic acid), T106 (1.25% green tea extract and 0.625% ascorbic acid), T212 (2.5% green tea extract and 1.25% ascorbic acid) and T206 (2.5% green tea extract and 0.625% ascorbic acid) compared to cooked shrimp coated with 0.002% alginate solution (TAC) during refrigerated stored at 4±1 °C for 28 days. T212 was the most effectively retarded qualities change of microbiological (total viable count), chemical (TVB-N, TMA-N), physical (a_w, pH, shear force) and sensorial (odor, flavor, taste and texture) followed by T206, T112, T106 and TAC respectively. The coatings of green tea extract and ascorbic acid had significant effects on color (L*, a*, b*) and appearance. Due to the color of the green tea extract, cooked shrimp has yellowish throughout the storage period. Based on the standard of TVB-N in fishery product should not exceed 35 mg N/100g, TMA-N should not exceed 5 mg N/100g and total viable count should not exceed 6.0 log CFU/g, conclude that T212 can be stored for 22 days, followed by T112 and T206 for 20 days and T106 for 14 days, While TAC has collected only 8 days, and undetected pathogens including coliform bacteria, *E. coli*, *B. cereus*, *C. perfringens*, *Salmonella* spp., *S. aureus* and *V. parahaemolyticus*.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย........ ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ........ จ
สารบัญ........ ฉ
สารบัญตาราง........ ซ
สารบัญภาพ........ ฌ

บทที่

1 บทนำ........ 1
  ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา........ 1
  วัตถุประสงค์ของการวิจัย........ 2
  สมมติฐานของการวิจัย........ 2
  ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย........ 3
  ขอบเขตของการวิจัย........ 3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง........ 4
  กุ้งขาว........ 4
  การประเมินคุณภาพสัตว์น้ำ........ 10
  การยับยั้งการเสื่อมคุณภาพของสัตว์น้ำ........ 17
3 วิธีดำเนินการวิจัย........ 32
  วัตถุดิบ........ 32
  อุปกรณ์ในการแปรรูปและเครื่องมือที่ใช้บรรจุและเก็บรักษา........ 32
  เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ........ 32
  อาหารเลี้ยงเชื้อและรีเอเจนต์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์........ 33
  สารเคมี........ 34
  วิธีการทดลอง........ 34

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า
4 ผลการวิจัย 39
คุณภาพทางจุลชีววิทยาของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก 39
คุณภาพทางเคมีของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก 42
คุณภาพทางกายภาพของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก 49
การพัฒนาคำศัพท์เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก 59
คุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก 61
5 อภิปรายและสรุปผล 88
อภิปรายผลการวิจัย 88
สรุปผลการวิจัย 92
ข้อเสนอแนะ 93
บรรณานุกรม 94
ภาคผนวก 103
ภาคผนวก ก 104
ภาคผนวก ข 109
ประวัติย่อของผู้วิจัย 111

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 ราคากุ้งขาวแวนนาไม ณ ตลาดทะเลไทยปี 2557-2559 6

2-2 ค่ามาตรฐานจุลินทรีย์สำหรับอาหารทะเลปรุงสุก 12

2-3 ตัวอย่างการตรวจสอบความสดของกุ้งสุกด้วยวิธีทางประสาทสัมผัส 16

3-1 สภาวะการเคลือบเนื้อกุ้งขาวต้มสุก 35

4-1 คำศัพท์ที่ใช้บ่งบอกความรู้สึกตามลักษณะต่าง ๆ ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบและไม่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก 60

4-2 กลิ่นชาเขียวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน 70

4-3 รสขมของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน 74

4-4 รสเปรี้ยวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน 75

4-5 กลิ่นรสคาวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน 80

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 อวัยวะภายในของกุ้งขาว 4

2-2 วงจรการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ 20

2-3 การยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ในปฏิกิริยาลูกโซ่ของฟลาโวนอยด์ 20

2-4 โครงสร้างของคาเฟอีน 21

2-5 องค์ประกอบของสารโพลีฟีนอลในชาเขียว 22

2-6 กลไกยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของชาเขียว 23

2-7 โครงสร้างของ Ascorbic acid (L - xyloascorbic acid) 28

2-8 กลไกของ Ascorbic acid ถูกออกซิไดส์เป็น Dehydroascorbic acid 28

4-1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน 40

4-2 การวิเคราะห์ SDS-PAGE ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน วันที่ 0, 4, 8 และ 12 ของการเก็บรักษา 43

4-3 การวิเคราะห์ SDS-PAGE ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน วันที่ 16, 20, 24 และ 28 ของการเก็บรักษา 44

4-4 ปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน 46

4-5 ปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N) ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน 48

4-6 ปริมาณ a_w ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน 50

4-7 ค่าความเป็นกรดเบสของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน 52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-8 ค่าแรงเฉือนของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 54
4-9 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC และ T212 วันที่ 0, 8, 18 และ 28 ของการเก็บรักษา.......... 55
4-10 ค่า L* ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 56
4-11 ค่า a* ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 57
4-12 ค่า b* ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 58
4-13 แถบสีส้มบนผิวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 63
4-14 สีของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 63
4-15 ความมันเงาของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 64
4-16 ความเป็นเมือกของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 64
4-17 กลิ่นกุ้งต้มของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 67
4-18 กลิ่นคาวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 68
4-19 กลิ่นเปรี้ยวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-20 รสหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 73

4-21 รสอร่อยของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 76

4-22 กลิ่นรสหอมหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 79

4-23 ความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 83

4-24 ความฉ่ำน้ำของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน.......... 84

ข-1 เนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส วันที่ 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 และ 28 ของการเก็บรักษา.......... 108

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) เป็นกุ้งทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย มีการเพาะเลี้ยงแพร่หลาย เลี้ยงง่าย โตเร็ว มีคุณค่าทางโภชนาการสูง นิยมนำมาบริโภคและแปรรูป แต่มักพบปัญหาเรื่องอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากเนื้อกุ้งมีปริมาณน้ำและโปรตีนสูงส่งผลให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย ทั้งในระหว่างการจับและการขนส่งอาจมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียได้ ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์แปรรูปจากกุ้งขาวที่สามารถเก็บรักษาได้นาน เช่น กุ้งขาวดิบและกุ้งขาวต้มแช่แข็ง ซึ่งในกระบวนการแช่แข็งมีการใช้สารเคมีเพื่อลดการเกิดผลึกน้ำแข็งในเนื้อกุ้ง สารเหล่านั้นมีผลทำให้เนื้อกุ้งมีลักษณะใส เนื้อสัมผัสมีความกรอบผิดไปจากธรรมชาติ รวมถึงต้องคำนึงถึงอัตราการแช่แข็งที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีผลต่อการอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อ ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อกุ้ง และการสูญเสียน้ำหนักเมื่อทำการละลาย ดังนั้นหากสามารถหาวิธีที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษา ลดเวลาในการประกอบอาหาร คงรสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัสตามธรรมชาติของเนื้อกุ้งไว้ได้จะทำให้สามารถขายได้มากขึ้น

การนำเนื้อกุ้งมาผ่านความร้อนเช่น การต้ม การลวก และการนึ่ง สามารถทำลายจุลินทรีย์และลดความเสี่ยงจากจุลินทรีย์ก่อโรคได้ แต่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเกินไปทำให้เนื้อกุ้งเหนียว โดยความร้อนที่เหมาะสมในการต้มเนื้อกุ้งและไม่มีผลต่อรสชาติรวมถึงเนื้อสัมผัสของเนื้อกุ้งนั้นสามารถยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อกุ้งได้ระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียได้หมด มีงานวิจัยหลายฉบับได้ใช้สารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกในการเก็บรักษาสัตว์น้ำ เช่นหอยนางรม (*Crassostrea gigas*) (Xi, Liu, & Su, 2012), ปลากะพง (*Sparus macrocephalus*) (Feng, Jiang, Wang, & Li, 2012) และกุ้งแชบ๊วย (*Litopenaeus setiferus*) (Sundararajan et al., 2011) เนื่องจากในชาเขียวมีสารคาเทชิน (Catechins) ที่มีสมบัติเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ที่มีประสิทธิภาพสูง (อัครวัฒน์ ชิงชัย, 2549) ส่วนกรดแอสคอร์บิกเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ และเป็นสารที่มีความไวในการทำปฏิกิริยา Reduction Agent หรือ Antioxidant ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (ฉัตรชัย ไตรทอง, 2553)

อย่างไรก็ตามแม้ว่างานวิจัยหลายฉบับได้นำสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมาใช้ในการเก็บรักษาสัตว์น้ำ แต่ยังไม่มีการนำสารทั้ง 2 ชนิดมาใช้ในการรักษาคุณภาพของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก ด้วยเหตุนี้การนำประโยชน์ของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมาช่วยในการยืดอายุการเก็บรักษากุ้งขาวต้มสุก จึงเป็นการคงคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกให้คงอยู่นานขึ้น และสร้างมูลค่าเพิ่มแก่เนื้อกุ้งขาวต้มสุกได้อีกทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาคุณภาพของกุ้งขาวต้มสุกที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน
2. ศึกษาอายุการเก็บรักษาของกุ้งขาวต้มสุกที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน

สมมติฐานของการวิจัย

การเคลือบกุ้งขาวต้มสุกสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่มีความเข้มข้นต่างกันและไม่เคลือบ มีอายุการเก็บรักษาของกุ้งขาวต้มสุกแตกต่างกัน โดยสามารถเขียนเป็นสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

กุ้งขาวต้มสุกที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกในทุกชุดการทดลองมีอายุการเก็บรักษาที่ไม่แตกต่างกัน

H_1 : มี μ อย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน

กุ้งขาวต้มสุกที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีอายุการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

โดยกำหนดให้

μ_1 = T212 (กุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารสกัดจากอัลจิเนต 0.002%)

μ_2 = T206 (กุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารสกัดจากอัลจิเนต 0.002%)

μ_3 = T112 (กุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารสกัดจากอัลจิเนต 0.002%)

μ_4 = T106 (กุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารสกัดจากอัลจิเนต 0.002%)

μ_5 = TAC (กุ้งขาวต้มสุกไม่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก; Control)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจารการวิจัย

1. ทราบถึงความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมในการเคลือบกุ้งขาวต้มสุกที่ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของกุ้งขาวต้มสุก
2. สามารถนำความรู้จากงานวิจัยเป็นส่วนหนึ่งในการปรับใช้และพัฒนาอุตสาหกรรมกุ้งขาวแปรรูป
3. สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มของกุ้งขาวต้มสุกให้แก่ผู้ผลิต ทั้งยังคงคุณค่าทางโภชนาการของกุ้งขาวต้มสุกให้นานขึ้น
4. ผู้บริโภคได้รับประโยชน์จากสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ใช้ในการเคลือบกุ้งขาวต้มสุก

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาเฉพาะเนื้อกุ้งขาวต้มสุกโดยนำกุ้งขาวสดทั้งตัวมาล้างทำความสะอาด แกะหัว เปลือกและลำไส้ออก เอาแต่เนื้อ จากนั้นนำเนื้อกุ้งไปต้มที่อุณหภูมิ 95±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที หรือจนอุณหภูมิกึ่งกลางตัวกุ้งเท่ากับ 75±2 องศาเซลเซียส ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ ต่อมานำเนื้อกุ้งขาวต้มสุกมาเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน และบรรจุเนื้อกุ้งขาวต้มสุกลงถุงพลาสติก (PE) พร้อมเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส แล้วนำมาศึกษาถึงความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ใช้ในการเคลือบเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษากุ้งขาวต้มสุก โดยตรวจสอบจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสทุก 2 วัน นาน 28 วัน

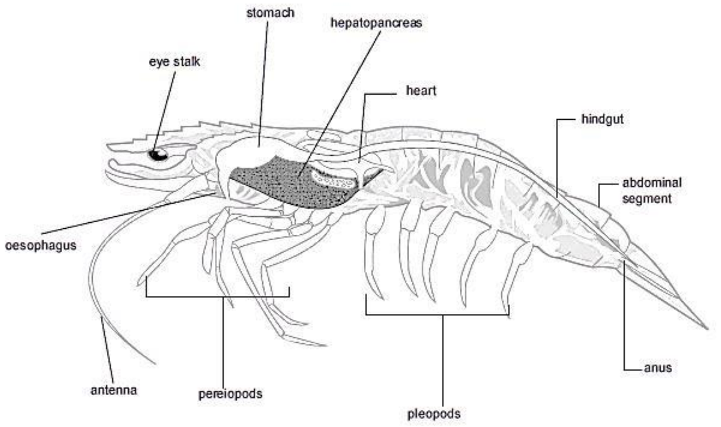
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. กุ้งขาว

1.1 ชีววิทยากุ้งขาว

กุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) ชื่อสามัญ Pacific white shrimp เป็นกุ้งทะเล จัดอยู่ใน Phylum: Arthropoda, Class: Crustacea, Order: Decapoda, Family: Penaeidae, Genus: *Litopenaeus*, Species: *L. vannamei* มี 8 ปล้อง หน้าอกใหญ่ ส่วนหัวมี 1 ปล้อง มีกรีลักษณะเป็นสามเหลี่ยม สีแดงอมน้ำตาล เปลือกหัวสีขาวอมชมพูถึงแดง ขาเดินสีขาว มีหนวดยาว 2 เส้นสีแดง ตาสีแดงเข้ม ส่วนลำตัวมี 6 ปล้อง เปลือกบางสีขาวอมชมพูถึงแดง มีขาว่ายน้ำ 5 คู่สีขาว ปลายขาสีแดง ส่วนหาง มี 1 ปล้อง ปลายหางมีสีแดงเข้ม แพนหางมี 4 ใบและ 1 กรีหาง อวัยวะภายในอยู่บริเวณหัว ประกอบด้วยหัวใจ อวัยวะย่อยอาหาร ระบบประสาทและอวัยวะสืบพันธุ์ อวัยวะย่อยอาหารของกุ้งขาวประกอบด้วยกระเพาะอาหารอยู่บริเวณอก ถัดจากกระเพาะอาหารเป็นลำไส้ที่จะทอดไปตามแนวสันหลังถึงส่วนของทวารหนักที่ปลายสุดของกรีหาง (ภาพที่ 2-1) อวัยวะที่ทำหน้าช่วยในการย่อยอาหารของกุ้งขาวได้แก่ ตับและตับอ่อน (มันกุ้ง) กุ้งขาวมีการเคลื่อนไหวรวดเร็ว หากินในทุกระดับความลึกของน้ำ อาหารส่วนใหญ่เป็นสาหร่าย แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์หน้าดิน ซากเน่าเปื่อย ตะกอนบนพื้นดิน รวมทั้งสารอินทรีย์ที่เป็นสารแขวนลอยในมวลน้ำ (กมลศิริ พันธนียะ, 2555)



ภาพที่ 2-1 อวัยวะภายในของกุ้งขาว (Bondad-Reantaso et al., 2001)

1.2 คุณค่าทางโภชนาการและมูลค่าทางเศรษฐกิจ

1.2.1 คุณค่าทางโภชนาการ

กุ้งขาวเป็นสัตว์ทะเล นิยมบริโภคกันแพร่หลายเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยกุ้งขาวในส่วนที่กินได้ 100 กรัม ให้พลังงาน 87 แคลอรี่ โปรตีน 17.6 กรัม ไขมัน 0.9 กรัม คาร์โบไฮเดรต 0.9 กรัม แคลเซียม 79 มิลลิกรัม โซเดียม 613 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 184 มิลลิกรัม เหล็ก 1.6 มิลลิกรัม วิตามิน A 75 มิลลิกรัม วิตามิน B1 0.04 มิลลิกรัม วิตามิน B2 0.08 มิลลิกรัม ไนอาซิน 2.3 มิลลิกรัม และวิตามิน C 1 มิลลิกรัม ในเนื้อกุ้งยังพบสารอะมิโนเปปไทด์ ได้แก่ คาร์โนซีน (Carnosine) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีส่วนช่วยชะลอการเสื่อมของเซลล์ผิว ช่วยให้ผิวมีสุขภาพดี และยังมีกรดอะมิโนอิสระเช่น ทอรีน โพรลีน ไกลซีน อะลานีน และอาร์จินีน ในปริมาณสูง (นฤมล อัศวเกศมณี, 2550) ซึ่งเอิร์ล มินเดอลล์ (2553) ระบุว่ากรดอะมิโนอิสระดังกล่าวมีประโยชน์ต่อร่างกาย อาทิ

- ทอรีน (Taurine) ช่วยส่งเสริมการมองเห็น ป้องกันจอประสาทตาเสื่อม ช่วยให้หัวใจทำงานได้แข็งแรงขึ้น ช่วยรักษาโรควิตกกังวลและโรคลมชัก
- โพรลีน (Proline) ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระ และช่วยปรับโครงสร้างผิว
- ไกลซีน (Glycine) ซึ่งมีบทบาทต่อรสหวานของเนื้อกุ้ง ช่วยรักษาภาวะต่อมใต้สมองทำงานน้อย รักษาโรคกล้ามเนื้อฝ่อลีบ และรักษาภาวะน้ำตาลต่ำ
- อะลานีน (Alanine) ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และลดอาการต่อมลูกหมากโต
- อาร์จีนีน (Arginine) เป็นกรดอะมิโนจำเป็นสำหรับเด็กและทารก ช่วยกระตุ้นการหลั่งโกรทฮอร์โมน เพิ่มจำนวนอสุจิ เพิ่มสมรรถภาพทางเพศ ช่วยเผาผลาญไขมันในร่างกาย และลดระดับคอเลสเตอรอล

นอกจากนี้ในเนื้อสัตว์น้ำยังอุดมไปด้วยกรดไขมันที่จำเป็นทั้ง โอเมก้า-3 (Omega-3) คือ EPA (Eicosapentaenic acid) และ DHA (Docosacexaenoic acid) และโอเมก้า-6 (Omega-6) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการป้องกันหรือลดปัจจัยเสี่ยงของการเป็นโรคหัวใจ ความดันโลหิตสูง ไขข้ออักเสบ และโรคปวดศีรษะไมเกรน (นลินี จงวิริยะพันธุ์, 2557)

1.2.2 มูลค่าทางเศรษฐกิจ

ในปี 2559 กุ้งขาวในประเทศไทยมีปริมาณผลผลิต 251,818 ตัน มีมูลค่าการส่งออก 62,098 ล้านบาท ซึ่งตลาดส่งออกที่สำคัญได้แก่ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่นและสหภาพยุโรป สำหรับราคากุ้งขึ้นอยู่กับขนาดของกุ้ง โดยมีการเปลี่ยนแปลงราคาในช่วง 3 ปีที่ผ่านมา (ณาตยา ศรีจันทึก, 2560) ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ราคากุ้งขาวแวนนาไม ณ ตลาดทะเลไทยปี 2557-2559 (หน่วย: บาท/ กก.)
(ณาตยา ศรีจันทึก, 2560)

ปี	ขนาดกุ้ง (ตัว/ กิโลกรัม)						
	40	50	60	70	80	90	100
2557	248.05	239.43	230.12	210.54	197.42	182.42	170.57
2558	202.57	185.99	169.14	159.98	147.77	135.37	126.96
2559	199.71	193.19	179.97	170.52	158.53	146.81	138.51

1.3 คุณภาพและการเสื่อมคุณภาพของกุ้งขาว

1.3.1 คุณภาพของกุ้งขาว

กุ้งขาวสด หมายถึง กุ้งสดที่จับได้ขณะที่ยังมีชีวิต ล้างทำความสะอาดและทำให้เย็นทันทีเพื่อรักษาความสด โดยมีเปลือกหุ้มส่วนหัว ลำตัว และหางครบทั้งตัว ไม่มีตำหนิผิดธรรมชาติที่เห็นได้ชัดเจน ไม่เป็นกุ้งที่เพิ่งผ่านการลอกคราบ (กุ้งนิ่ม) ไม่มีปรสิต ไม่มีร่องรอยของการติดเชื้อหรือเป็นโรค ไม่มีกลิ่นที่ผิดธรรมชาติของกุ้งสดและไม่มีสิ่งแปลกปลอมที่แสดงถึงข้อบกพร่องจากการปฏิบัติที่ไม่ถูกสุขลักษณะ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2552)

1.3.2 การเสื่อมคุณภาพของสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำที่ถูกจับขึ้นมาจากแหล่งน้ำแล้ว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพทั้งภายในและภายนอกและจะตายในที่สุด เมื่อสัตว์น้ำตายลงชั่วขณะหนึ่งก็จะเกิดการเกร็งตัว (Rigor mortis) ซึ่งนิรชา วงษ์จินดา (2547) กล่าวว่าการเกร็งตัวสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะก่อนการเกร็งตัว ระยะเกร็งตัว และระยะหลังการเกร็งตัว

- ระยะก่อนการเกร็งตัว (Pre-rigor mortis) เมื่อสัตว์น้ำตายการขนส่งออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อหยุดลง แต่เนื้อเยื่อยังมีชีวิตและต้องการพลังงานเพื่อใช้ในการดิ้นรน เกิดการดึงเอาไกลโคเจน (Glycogen) มาใช้สร้างพลังงานในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน จนได้เป็นกรดแลคติก (Lactic acid) และเมื่อไกลโคเจนหมดลงสัตว์น้ำเริ่มเข้าสู่ระยะเกร็งตัว (Rigor mortis)
- ระยะเกร็งตัว (Rigor mortis) เมื่อไกลโคเจนหมดลง พลังงานที่ใช้ในการยืดหดกล้ามเนื้อลดต่ำลง สัตว์น้ำเกิดการเปลี่ยนสภาพเข้าสู่ระยะเกร็งตัวส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดการเกร็งแข็งและสูญเสียความสามารถในการยืดตัว (Extensibility) ระยะเกร็งตัวของสัตว์น้ำสั้นกว่าสัตว์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากสัตว์น้ำมีปริมาณไกลโคเจนน้อยมาก

- ระยะหลังการเกร็งตัว (Post-rigor mortis) เมื่อสัตว์น้ำตายลง เอนไซม์ที่เคยใช้ย่อยอาหารที่สัตว์น้ำกินเข้าไปจะเริ่มย่อยอาหารและส่วนต่าง ๆ ของตัวสัตว์น้ำ (Autolysis) เช่น ในปลาที่มีการสะสมอาหารในกระเพาะหรือลำไส้อยู่มาก เอนไซม์จะทำให้ท้องปลามีสีเขียวดำและบวม ส่วนกุ้งจะเกิดปัญหาจุดสีดำ (Melanosis) ขึ้นเนื่องจากเอนไซม์เช่นกัน และเอนไซม์จะทำให้เนื้อสัตว์น้ำอ่อนนุ่มขึ้นส่งผลให้จุลินทรีย์เข้าไปทำลายในกระบวนการเสื่อมคุณภาพโดยจุลินทรีย์ (Bacterial reaction) ได้ง่ายขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์อาศัยสารอาหารจากเอนไซม์ที่ย่อยสัตว์น้ำในระยะแรก ต่อมาจึงมีการสร้างเอนไซม์ขึ้นเองเพื่อใช้ในการย่อยเนื้อสัตว์น้ำต่อไป

หลังจากนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางชีววิทยาซึ่งมีผลต่อคุณภาพของสัตว์น้ำ ซึ่งการที่สัตว์น้ำเสื่อมคุณภาพเกิดจาก 3 กระบวนการคือ

1.3.2.1 กระบวนการเสื่อมคุณภาพโดยเอนไซม์ในตัวสัตว์น้ำ (Autolysis): เมื่อสัตว์น้ำตายการขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อหยุดลง กล้ามเนื้อที่มีชีวิตยังต้องการพลังงานเพื่อใช้ในการดิ้นรน จึงเกิดการดึงเอาไกลโคเจน (Glycogen) มาใช้สร้างพลังงาน (ATP) ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเกิดเป็นกรดแลคติก (Lactic acid) สะสมที่มีผลต่อความเป็นกรดเบสของกล้ามเนื้อ ต่อมาพลังงานที่ได้จากการสลายตัวของไกลโคเจนเกิดการสลายตัวโดยเอนไซม์ Deaminase ในเนื้อสัตว์น้ำเอง ซึ่งการสลายตัวดังกล่าว เริ่มจาก Adenosine triphosphate (ATP) สลายตัวโดยการปล่อยแอมโมเนียกลายเป็น Adenosine diphosphate (ADP), Inosine monophosphate (IMP) และ Inosine (HxR) ตามลำดับ จากนั้น Inosine ส่วนหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลไรโบส (Ribose) อีกส่วนหนึ่งเปลี่ยนไปเป็น Hypoxanthine (Hx), Xanthine และกรดยูริค (Uric acid) การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกถึงความสดในระยะแรกของสัตว์น้ำ โดยการย่อยสลายตัวเองของสัตว์น้ำนี้เกิดขึ้นในระยะเวลา 6 ชั่วโมงถึง 1 วันหลังจากสัตว์น้ำตายหากไม่ได้เก็บรักษาความสดในน้ำแข็งหรือการแช่เย็นหรือในสภาวะแช่เยือกแข็ง (บุษกร อุตรภิชาติ, 2545)

การเน่าเสียของกุ้งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยกระบวนการย่อยสลายตัวเอง โดยอวัยวะที่อยู่ส่วนหัวกุ้งจะผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายเนื้อเยื่อและกระจายไปตามบริเวณท้อง ทำให้เนื้อกุ้งมีสีเหลือง หากมีจุลินทรีย์ภายนอกเข้าไปในตัวกุ้งจะทำให้เกิดการเน่าเสียเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ในกุ้งยังมีกรดอะมิโน Tyrosine, Tryptophan และ Cystine สูง ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพของกุ้งอย่างมาก เช่น การเกิดจุดดำ (Black Spot หรือ Melanosis) จากการเติมออกซิเจนของกรดอะมิโน Tyrosine โดยมีเอนไซม์ Tyrosinase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และการเกิดสารอินโดล (Indole) จากการเติมออกซิเจนของกรดอะมิโน Tryptophan โดยมีเอนไซม์ Tryptophanase ที่ผลิตจากจุลินทรีย์บางชนิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งกระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อปล่อยกุ้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องโดยไม่มีน้ำแข็งปกคลุม (นิรชา วงษ์จินดา, 2556)

1.3.2.2 กระบวนการเสื่อมคุณภาพโดยจุลินทรีย์ (Bacterial reaction): สัตว์น้ำมีการสะสมจุลินทรีย์ตามส่วนต่าง ๆ เช่น ผิวหนัง เมือก เหงือกหรือลำไส้ของสัตว์น้ำ เมื่อสัตว์น้ำตายลงจุลินทรีย์ที่สะสมอยู่จะเจริญและแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็ว เกิดการย่อยสลายสารประกอบในตัวสัตว์น้ำโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ เช่น กระบวนการ Decarboxylation ของกรดอะมิโน ได้แก่

ฮีสติดีน (Histidine)	เปลี่ยนเป็น	ฮีสตามีน (Histamine)
ไลซีน (Lysine)	เปลี่ยนเป็น	คาเดาเวอรีน (Cadaverine)
ออร์นิทีน (Ornithine)	เปลี่ยนเป็น	พัวเตรสซีน (Putrescine)
ไทโรซีน (Tyrosine)	เปลี่ยนเป็น	ไทรามีน (Tyramine)

จนทำให้สัตว์น้ำเกิดกลิ่นและรสชาติที่แตกต่างไปจากธรรมชาติ (นิรชา วงษ์จินดา, 2556) ทั้งนี้บุษกร อุตรภิชาติ (2545) กล่าวว่าจุลินทรีย์แต่ละชนิดสามารถย่อยสลายโปรตีนและทำให้เกิดกลิ่นเน่าเหม็นของสารระเหยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ไตรเมทธิลเอมีน (Trimethylamine: TMA) เกิดจากการรีดิวซ์สารไตรเมทธิลเอมีนออกไซด์ (Trimethylamine oxide: TMAO) ของจุลินทรีย์กลุ่ม Enterobacteriaceae เกิดเป็นกลิ่นเหม็นคาวในสัตว์น้ำ

- ฮีสตามีน (Histamine) เกิดจากการย่อยกรดอะมิโนฮีสติดีน (Histidine) ของ *Achromobacter histameneum* และผลิตสารฮีสตามีนออกมา ซึ่งสารฮีสตามีนจะทำให้เกิดอาการแพ้ แสบร้อนในปาก เป็นผื่นคัน ความดันโลหิตต่ำ ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน และท้องเสีย เป็นต้น

- แอมโมเนีย (Ammonia) เกิดจากจุลินทรีย์ที่ต้องใช้ยูเรียและสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ ได้แก่ *Pseudomonas geniculate*, *Flavobacterium funcatum*, *Achromobacter butyric* และ *P. putrefaciens* ซึ่งจะผลิตแอมโมเนียออกมา

- ไนเตรท (Nitrate) เกิดจากการใช้ไฮดรอกซิลเอมีน (Hydroxylamine) ของจุลินทรีย์กลุ่ม *Pseudomonas* และเปลี่ยนไฮดรอกซิลเอมีนเป็นไนเตรท

- กลิ่นต่าง ๆ มักเกิดจาก *Shewanella putrefaciens, Achromobacter* sp., *P. fluorescens* และ *P. perolens*

จุลินทรีย์ที่พบว่าเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสียและเสื่อมคุณภาพของกุ้งได้แก่ *Bacillus cereus*, Coliform bacteria, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* และ *Vibrio parahaemolyticus* (มัทนา แสงจินดาวงษ์, 2548)

1.3.2.3 กระบวนการเสื่อมคุณภาพโดยการเติมออกซิเจน (Oxidation reaction): หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือการที่โมเลกุลของสารหนึ่งเกิดการสูญเสียอิเล็กตรอน (Reducing agent) ให้กับโมเลกุลที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Oxidizing agent) ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

มักเกี่ยวข้องกับออกซิเจน เช่นการทำปฏิกิริยากันระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลอิสระ และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอื่นต่อไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ นอกจากนี้ปฏิกิริยาออกซิเดชันยังหมายถึงการเสียไฮโดรเจนอะตอมออกจากโมเลกุลอีกด้วย (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2553) โดยกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันประกอบด้วย 2 กระบวนการคือ

- กระบวนการไฮโดรลิซิส (Hydrolytic rancidity) คือการเกิดกลิ่นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสโดยมีน้ำและเอนไซม์ไลเปสหรือเอนไซม์ไลพอกซิเดสที่มีอยู่ในอาหารเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดการสลายของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ได้เป็นกรดไขมันอิสระทำให้เกิดกลิ่นหืน เป็นการเสื่อมคุณภาพของอาหารและเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง คือ Lipid oxidation ทำให้เกิดกลิ่นหืนมากขึ้น (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554)
- ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation) เป็นปฏิกิริยาระหว่างพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนและอนุมูลอิสระ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ เกิดเป็นสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อสารประกอบเปอร์ออกไซด์สลายตัวเป็นสารโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น สารประกอบในกลุ่มคีโตน อัลดีไฮด์ แอลกอฮอล์และไฮโดรคาร์บอน ทำให้เกิดกลิ่นหืนและเกิดเป็นอนุมูลอิสระเริ่มต้นกระตุ้นให้โมเลกุลของกรดไขมันที่เหลือเกิดปฏิกิริยาต่อไป (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554) ซึ่งกลไกของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สวามินี ธีระวุฒิ (2553) กล่าวว่ามีขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นเริ่มต้น (Initiation) เกิดกับกรดไขมันไม่อิ่มตัว (RH) ที่มีพันธะคู่ไวต่อปฏิกิริยา เกิดการสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมให้กับออกซิเจน มีแสง รังสี หรือโลหะเป็นตัวกระตุ้น เกิดเป็นอนุมูลอิสระไฮโดรคาร์บอน ($R^{\bullet}$) โดยอะตอมอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะมีความไวต่อปฏิกิริยาในขั้นตอนต่อไป

Initiating step: $RH + O_2 \longrightarrow R^{\bullet} + OH$

2. ขั้นลุกลาม (Propagation) เกิดจากการเข้าทำปฏิกิริยาของออกซิเจนกับอนุมูลอิสระไฮโดรคาร์บอน ($R^{\bullet}$) เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี ($ROO^{\bullet}$) ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยอนุมูลเปอร์ออกซีจะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวใหม่ ได้เป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH)

Propagating step: $R^{\bullet} + O_2 \longrightarrow ROO^{\bullet}$

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

3. ขั้นสุดท้าย (Termination) เกิดจากการที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมารวมตัวกันเกิดเป็นสารใหม่ (Secondary product) เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ อัลเคน และกรดอินทรีย์ ซึ่งทำให้เกิดสี กลิ่น และรสชาติที่ผิดปกติของน้ำมันและไขมัน

Terminating step:

$$\begin{aligned} R^{\bullet} + R^{\bullet} &\longrightarrow RR \\ R^{\bullet} + ROOH &\longrightarrow ROOR \\ ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} &\longrightarrow ROOR + O_2 \end{aligned}$$

การเสื่อมคุณภาพของสัตว์น้ำสดที่กล่าวมาข้างต้นมีผลทำให้อายุการเก็บรักษาของสัตว์น้ำสดสั้นลง เกิดลักษณะต่าง ๆ ที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เช่น เนื้อสัมผัสที่ไม่ยืดหยุ่น สูญเสียรสชาติ และเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (นิรชา วงษ์จินดา, 2547) ดังนั้นจึงมีการนำสัตว์น้ำสดมาผ่านกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ เพื่อเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น

2. การประเมินคุณภาพสัตว์น้ำ

การที่ร่างกายได้รับอาหารที่มีประโยชน์และมีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนถือเป็นสิ่งจำเป็น อาหารที่ได้รับจะต้องมีความสด สะอาด ปลอดภัย และปราศจากสารปนเปื้อนที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ในสัตว์น้ำมีคุณค่าทางโภชนาการที่จำเป็นต่อร่างกายทั้งกรดอะมิโนอิสระหรือกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกาย เช่น กรดไขมันโอเมก้า-3 และโอเมก้า-6 ที่พบมากกว่าในสัตว์บก แต่สัตว์น้ำยังมีการเสื่อมคุณภาพที่รวดเร็ว มีการปนเปื้อนได้ง่ายจากทั้งธรรมชาติหรือในกระบวนการผลิตซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้นจึงมีการตรวจสอบเพื่อประเมินคุณภาพสัตว์น้ำรวมทั้งหาทางป้องกัน และสร้างความเชื่อมั่นต่อผู้บริโภค โดยการประเมินคุณภาพสัตว์น้ำมีหลายวิธีดังนี้ (นิรชา วงษ์จินดา, 2547)

2.1 การตรวจวัดทางจุลชีววิทยา (Microbiological methods)

การปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในสัตว์น้ำเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น การปนเปื้อนจากน้ำในบ่อเลี้ยง อุปกรณ์และการปฏิบัติต่อสัตว์น้ำที่ไม่ถูกสุขลักษณะ การคัดแยกขนาดที่อาจทำให้เกิดบาดแผล หรือแม้แต่การปนเปื้อนของน้ำแข็งที่ใช้สลบกุ้ง อย่างไรก็ตามสัตว์น้ำที่ผ่านการแปรรูปแล้วก็สามารถปนเปื้อนจุลินทรีย์ได้ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการตรวจวัดคุณภาพทางจุลชีววิทยา เพื่อสร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้บริโภคว่าผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้บริโภคนั้นมีความสะอาดและปลอดภัย (นิรชา วงษ์จินดา, 2547) จุลินทรีย์ในกลุ่มที่เป็นอันตรายอาจทำให้เกิดอาการอาหารเป็นพิษ เช่น คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องเสีย หรือในบางชนิดอาจทำให้มีอาการต่อระบบประสาท เช่น สารพิษ

Botulism จาก *C. botulinum* โดยตัวอย่างชนิดของจุลินทรีย์ก่อโรคที่มักตรวจพบในสัตว์น้ำที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ได้แก่

2.1.1 Coliform bacteria เป็นจุลินทรีย์รูปท่อนสั้น แกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ เจริญได้ในอากาศแบบ Facultative anaerobic bacteria สามารถหมักย่อยน้ำตาลแลคโตสที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ภายใน 24-48 ชั่วโมงโดยจะสร้างกรดและก๊าซออกมา จุลินทรีย์ที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่ *E. coli* และ *E. aerogenes* (บุษกร อุตรภิชาติ, 2545)

2.1.2 *B. cereus* เป็นจุลินทรีย์รูปท่อน แกรมบวก แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นจะเป็นแกรมลบ ต้องการออกซิเจนในการเจริญ สามารถสร้างเอนโดสปอร์ (Endospore) ที่ทนความแห้งและความร้อนสูง เจริญได้ที่อุณหภูมิ 28-37 องศาเซลเซียส (อัธยา กังสุวรรณ, 2556)

2.1.3 *C. perfringens* เป็นจุลินทรีย์รูปท่อน แกรมบวก เจริญได้ในสภาวะไม่มีออกซิเจน (Anaerobe) สามารถสร้างสปอร์ได้ เจริญได้ที่อุณหภูมิ 20-50 องศาเซลเซียส (อัธยา กังสุวรรณ, 2556)

2.1.4 *Salmonella* spp. เป็นจุลินทรีย์รูปท่อนเล็ก แกรมลบ เจริญในสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน เจริญได้ที่อุณหภูมิ 30-45 องศาเซลเซียส โรคที่มีสาเหตุมาจากเชื้อ *Salmonella* spp. เรียกว่า ซัลโมเนลโลซิส (Salmonellosis) โดยปริมาณที่ทำให้เกิดโรค คือ 10^8-10^9 เซลล์ อาการที่เกิดขึ้นคือ เป็นไข้ ปวดหัว ปวดท้อง ท้องร่วงและอาเจียน ผลที่ตามมา ได้แก่ ข้ออักเสบ โลหิตเป็นพิษ ถุงน้ำดีอักเสบ เส้นเลือดแดงอักเสบ (พูลทรัพย์ วิรุฬหกุล, 2547)

2.1.5 *S. aureus* เป็นจุลินทรีย์รูปกลม แกรมบวก จับกันเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่น บางครั้งอาจอยู่เป็นคู่หรือจับกันเป็นสายสั้น ๆ เจริญในสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน สามารถเจริญและสร้างสารพิษที่อุณหภูมิตั้งแต่ 6-46 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ชนิดนี้จะมีโอกาสเจริญและสร้างสารพิษได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในอาหารที่มี a_w ต่ำ เช่น 0.86 และเกลือสูงถึง 18 เปอร์เซ็นต์ (อัธยา กังสุวรรณ, 2556)

2.1.6 *V. parahaemolyticus* เป็นจุลินทรีย์รูปท่อนโค้ง แกรมลบ เป็นเชื้อในวงศ์ Vibrionaceae พบอยู่ทั่วไปในน้ำกร่อยและน้ำทะเล ตามชายฝั่งและบริเวณปากอ่าว มีการปนเปื้อนสูงในอาหารทะเล ผู้ป่วยที่ได้รับเชื้อดังกล่าวจะมีอาการคลื่นไส้อาเจียน มีไข้ต่ำ จะหายได้เองภายใน 2-3 วัน โดยไม่ต้องใช้ยาปฏิชีวนะหรือสารต้านจุลินทรีย์ (บัญญัติ สุขศรีงาม และคณะ, 2551)

อย่างไรก็ตาม กองควบคุมอาหาร (2552) ได้กำหนดมาตรฐานจุลินทรีย์ สำหรับอาหารทะเลปรุงสุก ดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ค่ามาตรฐานจุลินทรีย์สำหรับอาหารทะเลปรุงสุก (กองควบคุมอาหาร, 2552)

ชนิดจุลินทรีย์	ค่าที่ห้ามเกิน (log CFU/กรัม)
Total plate count	6
B. cereus	2
C. perfringens	-
E. coli	3
Salmonella spp.	-
S. aureus	3.70
V. parahaemolyticus	2

2.2 การตรวจวัดทางเคมีและชีวเคมี (Chemical and biochemical methods)

การตรวจวัดทางเคมีและชีวเคมีเป็นการตรวจวัดสารเคมีต่าง ๆ ที่อยู่ในสัตว์น้ำ เพื่อเป็นตัวชี้วัดคุณภาพความสดและความปลอดภัยของผู้บริโภค เช่นการตรวจวัดการเกิดด่างที่ระเหยได้ (TVB-N) การเกิดเอมีน (TMA-N) การวัดปริมาณความชื้น การประเมินคุณค่าทางโภชนาการประกอบด้วย โปรตีน ไขมันและแร่ธาตุ รวมทั้งการตรวจวัดโลหะหนักที่เป็นพิษหรือตกค้าง สารที่ทำให้เกิดอาการแพ้ เช่น ฮีสตามีน โดยปริมาณสารแต่ละชนิดต้องไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ (นิรชา วงษ์จินดา, 2547) ซึ่งการตรวจวัดทางเคมีและชีวเคมีสามารถตรวจวัดได้ดังนี้

2.2.1 ปริมาณโปรตีน สามารถตรวจได้จากปริมาณไนโตรเจนของตัวอย่าง เพราะการตรวจปริมาณโปรตีนโดยตรงทำได้ยาก เนื่องจากองค์ประกอบโมเลกุลโปรตีนมีความซับซ้อน และไนโตรเจนเป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่สามารถตรวจสอบได้ง่ายกว่า (ราณี สุรกาญจน์กุล, 2554) โดยเมื่อสัตว์น้ำตายลง โปรตีนจะเกิดการเสื่อมสภาพทำให้การยืดหดตัวของกล้ามเนื้อลดลง หากมีการกดหรือสัมผัสเนื้อเยื่อบริเวณนั้นจะทำให้เกิดการยุบตัวและไม่คืนสู่สภาพเดิม

2.2.2 ปริมาณไขมัน เนื่องจากสัตว์น้ำมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง เมื่อเกิดการเสื่อมคุณภาพ กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดกรดไขมันอิสระและมีกลิ่นเหม็นหืน (สวามินี ธีระวุฒิ, 2555)

2.2.3 ปริมาณความชื้น เป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เนื่องจากความชื้นมีผลต่อการเสื่อมคุณภาพของอาหาร โดยเฉพาะการเสื่อมคุณภาพโดยจุลินทรีย์ อาหารที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมคุณภาพง่ายเนื่องจากมีสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์รวมถึง ยีสต์ รา และจุลินทรีย์ก่อโรคต่าง ๆ ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค โดยปริมาณน้ำที่พบจะมีผลต่อเนื้อสัมผัสและ

การยอมรับของผู้บริโภค ทั้งยังมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่มีผลกระทบทางลบต่ออาหารระหว่างการเก็บรักษาด้วย เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและการเกิดสีน้ำตาล (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2553)

2.2.4 ปริมาณเถ้า เป็นวิธีที่สามารถตรวจสารประกอบอนินทรีย์ที่เหลืออยู่หลังจากที่เผาโดยใช้อุณหภูมิสูงจนกระทั่งสารประกอบอินทรีย์ถูกเผาไหม้สลายตัวไปหมด ซึ่งค่าของเถ้าที่วิเคราะห์ได้สามารถบอกถึงคุณภาพของอาหาร ถ้าค่าของเถ้าสูงกว่าปกติก็หมายถึงอาจมีการปลอมปนสารอื่นเข้ามาในอาหาร เช่น ทราย และอื่น ๆ (ราณี สุรกาญจน์กุล, 2554)

2.2.5 ปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile bases nitrogen; TVB-N) เป็นค่าที่ใช้วัดคุณภาพความสดทางเคมีของสัตว์น้ำ โดยวัดปริมาณสารที่เกิดจากการสลายตัวของโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด ได้แก่ แอมโมเนีย เอมีน ไตรเมทธิลเอมีน (TMA) ไดเมทธิลเอมีน (DMA) และสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ ซึ่งหากปริมาณ TVB-N ที่พบในสัตว์น้ำยังที่มีคุณภาพดีจะมีปริมาณน้อยกว่า 12 mg N/100g แต่หากมีปริมาณมากกว่า 35 mg N/100g แสดงว่าสัตว์น้ำเกิดการเน่าเสียและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (EC, 2005)

2.2.6 ปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (Trimethylamine; TMA-N) เป็นการตรวจวัดการสลายตัวของสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีน ให้สารระเหยที่ก่อให้เกิดกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเน่าของสัตว์น้ำ โดยกลไกนั้นเกิดจากการเปลี่ยนไตรเมทธิลเอมีนออกไซด์ (TMAO) ซึ่งเป็นสารที่ป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากตัวสัตว์น้ำ (Water logout) ไปเป็นไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N) โดยมีเอนไซม์ไตรเมทธิลเอมีนออกซิเดส (Trimethylamine oxidase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังสมการต่อไปนี้

$$\underset{\text{(TMAO)}}{(CH_3)_3NO} \xrightarrow{\text{Trimethylamine Oxidase}} \underset{\text{(TMA)}}{(CH_3)_3N}$$

TMA ก่อให้เกิดกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเน่า นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของ TMAO จากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในตัวสัตว์น้ำ (Endogenous enzyme) เปลี่ยน TMAO ไปเป็น DMA และ Formaldehyde ดังแสดงในสมการ

$$\underset{\text{(TMAO)}}{(CH_3)_3NO} \longrightarrow \underset{\text{(DMA)}}{(CH_3)_2NH} + \underset{\text{(Formaldehyde)}}{CH_2O}$$

จากปฏิกิริยาทั้งสองทำให้ปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile bases) เพิ่มขึ้น ในสัตว์น้ำที่ยังมีคุณภาพดีจะมีปริมาณ TMA-N น้อยกว่า 1.5 mg N/100g แต่หากมีปริมาณมากกว่า 5 mg N/100g แสดงว่าสัตว์น้ำเกิดการเน่าเสียและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเนื่องจากเกิดกลิ่นเหม็นเน่า (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554)

2.3 การตรวจวัดทางกายภาพ (Physical methods)

การตรวจวัดทางกายภาพเป็นการตรวจวัดโดยการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เช่น เครื่องมือวัดแรงต้านไฟฟ้า สัตว์น้ำสดจะมีการนำไฟฟ้าที่ดีมีแรงต้านไฟฟ้าน้อย การตรวจวัดความเป็นกรดเบส (pH) การตรวจสอบด้วยเครื่องวัดสี รวมไปถึงการตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยอุปกรณ์ที่เลียนแบบกลไกการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เช่น Universal testing machine (UTM) และ Texture analyzer (TA) ซึ่งวัดการกด แรงเค้นและแรงบิดต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์ (นิรชา วงษ์จินดา, 2547) ในสัตว์น้ำสดโครงสร้างต่าง ๆ ของกล้ามเนื้อยังแข็งแรงทำให้แรงเฉือนมาก แต่เมื่อสัตว์น้ำเริ่มเน่าเสีย โครงสร้างต่าง ๆ ภายในตัวสัตว์น้ำถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ในตัวสัตว์น้ำเองและจากจุลินทรีย์ทำให้แรงเฉือนน้อย (สุมาลี เหลืองสกุล, 2541) ซึ่งการตรวจวัดทางกายภาพสามารถตรวจวัดได้หลายค่าดังนี้

2.3.1 ค่า Water activity (a_w) หมายถึง ปริมาณน้ำในอาหารเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ การเน่าเสียของอาหารเกิดขึ้นช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ จุลินทรีย์แต่ละชนิดเจริญได้ในอาหารที่มีค่า a_w ต่างกัน อาหารที่มีค่า a_w ต่ำเกิดการเน่าเสียได้ยากและสามารถเก็บได้นาน ในอาหารที่มีค่า a_w สูงเกิดการเน่าเสียได้อย่างรวดเร็ว ส่วนยีสต์และราสามารถทนสภาพแห้งแล้งหรือค่า a_w ต่ำได้ดีกว่าจุลินทรีย์ นั่นคือการเน่าเสียส่วนใหญ่เกิดจากยีสต์และรา (สุมาลี เหลืองสกุล, 2541)

2.3.2 ค่าความเป็นกรดเบส (pH) หลังจากสัตว์น้ำตายจะเกิดการใช้ไกลโคเจนภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเกิดเป็นกรดแลคติกสะสม ทำให้ pH ของสัตว์น้ำลดลง โดยทั่วไป pH มีค่าลดลงต่ำที่สุดประมาณ 6.2 เพราะปริมาณของไกลโคเจนในสัตว์น้ำมีน้อย ทำให้ปริมาณกรดแลคติกมีไม่มากนัก และจากนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วงหลังระยะการเกร็งตัว มีการสลายตัวของสารประกอบไนโตรเจนที่มีสมบัติเป็นเบส ส่งผลให้ pH ของสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของ pH ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเก็บรักษา (เนตรนรินทร์ ขุนสูงเนิน, 2546)

2.3.3 ค่าสี (Color) การเปลี่ยนแปลงของสีผิวและเนื้อสัตว์น้ำ เป็นผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งแบบที่เกิดโดยมีเอนไซม์ (Enzymatic oxidation) และไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (Non-enzymatic oxidation) สีเหลือง สีส้ม สีแดง หรือการไม่มีสีของสัตว์น้ำเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ซึ่งมีในผิวหนังและเนื้อของสัตว์น้ำ เนื้อสีขาวอาจเปลี่ยนเป็นสีครีม

หรือเทา กล้ามเนื้อแดงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และพบว่าเนื้อสัตว์น้ำสดมีความใสแต่เนื้อสัตว์น้ำที่เน่าเสียนั้นขุ่น บางครั้งการเปลี่ยนสีอาจมีสาเหตุจากจุลินทรีย์ ยีสต์ หรือราบางชนิด (Potter & Hotchkis, 1995) ในการตรวจวัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter lab ค่าที่ได้ออกมาจะมีค่า L*, a* และ b* ซึ่งค่า L* คือค่าความสว่าง ส่วน a* คือค่าสีแดงและสีเขียว ขณะที่ b* คือค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (Young & Whittle, 1985) สามารถดูค่าเพื่อบอกการเน่าเสียของสัตว์น้ำโดยดูจากแต่ละค่า หากค่าทั้ง 3 มีแนวโน้มลดต่ำลงแสดงว่าเนื้อสัตว์น้ำเกิดการเน่าเสีย (Martínez-Alvarez et al., 2009)

2.3.4 ค่าเนื้อสัมผัส ลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นสมบัติที่สำคัญของกล้ามเนื้อสัตว์น้ำทั้งดิบและสุก การตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัส สามารถทำได้หลายวิธี เช่น Puncture test เป็นการวัดแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุตัวอย่างของหัววัดรูปทรงกระบอก และ Kramer shear cell เป็นการวัดแรงที่ใช้ในการตัดตัวอย่างโดยใบมีดของ Kramer shear cell ซึ่งเคลื่อนผ่านตัวอย่างด้วยความเร็วที่กำหนดไว้ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554)

2.4 การตรวจวัดทางประสาทสัมผัส (Sensory methods)

การตรวจวัดทางประสาทสัมผัสเป็นตรวจวัดภายนอกโดยอาศัยประสาทสัมผัสทั้ง 5 ของมนุษย์ เพื่อตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของสัตว์น้ำได้แก่ เนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติ และสีของเนื้อ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยการฝึกฝนของผู้ทดสอบเพื่อสร้างความชำนาญและลดความมีอคติในผลิตภัณฑ์ โดย นิรชา วงษ์จินดา (2547) กล่าวว่าลักษณะที่ผู้บริโภคสามารถประเมินได้ด้วยประสาทสัมผัส ได้แก่

2.4.1 ลักษณะปรากฏ (Appearance) เป็นลักษณะที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา เช่น

- สี (Color) สัตว์น้ำหรือผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะเช่น ลูกชิ้นปลาต้องมีสีขาว ลูกชิ้นกุ้งสีออกสีส้ม โดยเมื่อเกิดการเน่าเสียโปรตีนของเนื้อสัตว์น้ำถูกทำลาย เม็ดสี (Pigment) ที่เคยจับอยู่กับโปรตีนถูกปลดปล่อย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสีที่อยู่ในผิวหนังในเนื้อหรือในเหงือกของสัตว์น้ำ เช่น แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) เปลี่ยนจากสีเหลือง ส้มหรือแดงไปเป็นสีอ่อนหรือซีดลง เมลานิน (Melanin) เปลี่ยนจากสีน้ำตาลถึงดำไปเป็นสีน้ำตาลอ่อนซีดลง แอสตาแซนธิน (Astaxanthine) ซึ่งมีในเนื้อกุ้ง เปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีเหลืองอ่อนหรือซีดลง และไมโกลบิน (Myoglobin) ซึ่งเป็นเม็ดสีในกล้ามเนื้อแดง เปลี่ยนจากสีแดงไปเป็นสีแดงซีด
- พื้นผิว (Surface) มีความเป็นเงา มันวาว หรือขุ่นมัว
- ขนาดและรูปร่าง (Size and shape) เป็นความยาว ความกว้าง ความหนา และรูปทรงต่าง ๆ

- เนื้อสัมผัส (Texture) เป็นลักษณะที่รับรู้ได้โดยการสัมผัสด้วยนิ้วมือ เช่น ความแน่นของกุ้ง ซึ่งสัมผัสได้โดยการกดดูความยืดหยุ่น เมื่อโปรตีนในสัตว์น้ำถูกทำลาย โปรตีนมีการเสื่อมสภาพทำให้กล้ามเนื้อของสัตว์น้ำมีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง กล้ามเนื้อจะแข็งหรือหยาบกระด้าง การสูญเสียน้ำในกล้ามเนื้อไปมากทำให้คุณภาพของเนื้อปลาเสื่อมลง เช่น เนื้อปลาแข็งและเหนียว (Tough) แห้ง (Dry) และเป็นเสี้ยน (Fibrous)

2.4.2 กลิ่น (Odor) เป็นลักษณะที่รับรู้ได้ด้วยการดม มีความสำคัญมาก มีความหมายแตกต่างกันไปในสัตว์น้ำแต่ละชนิด และความรู้สึกของแต่ละคนที่สัมผัสได้ เช่น กลิ่นสดคล้ายสาหร่ายทะเล กลิ่นคล้ายปลีกล้วย กลิ่นเหม็นเปรี้ยวเมื่อเน่าเสีย โดยเมื่อสัตว์น้ำตายลงไขมันในตัวสัตว์น้ำถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ในตัวสัตว์น้ำและเอนไซม์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น ทำให้เกิดกลิ่นหืนหรือกลิ่นเหม็นเปรี้ยวต่าง ๆ ได้

2.4.3 รสชาติ (Taste) เป็นลักษณะที่รับรู้ได้จากการชิม เช่น ปลาสดมีรสชาติหวาน แต่หากมีการเน่าเสียทำให้รสชาติหวานลดลงหรือมีรสเปรี้ยว โดยมีสาเหตุจากการที่โปรตีนของสัตว์น้ำถูกย่อยสลายกรดอะมิโนต่าง ๆ ที่มีบทบาทต่อรสชาติ เช่น ไกลซีน ที่ส่งผลถึงรสหวานในเนื้อกุ้ง ถูกปลดปล่อยและนำไปใช้ทำให้เนื้อกุ้งมีความหวานลดลง และอาจมีรสชาติที่เปลี่ยนแปลงไปจากเอนไซม์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น

ตัวอย่างการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อกุ้งขาวสุก สามารถบ่งบอกระดับความสดของเนื้อกุ้งสุกได้ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ตัวอย่างการตรวจสอบความสดของกุ้งสุกด้วยวิธีทางประสาทสัมผัส (ทำให้สุกด้วยไอน้ำเดือด) (นิรชา วงษ์จินดา, 2547)

ลักษณะที่ใช้ตรวจ	คุณภาพสด	คุณภาพสดปานกลาง	คุณภาพไม่สด
ลักษณะทั่วไป	มีสีสดใส	สีซีด เริ่มมีสีดำตามส่วนต่าง ๆ เล็กน้อย	หัวหลุด มีสีดำตามส่วนต่าง ๆ
กลิ่น	มีกลิ่นหอม	กลิ่นเหมือนผักต้ม	กลิ่นแอมโมเนีย
รสชาติ	หวาน	จืดเล็กน้อย	จืดชืด เปรี้ยว
เนื้อสัมผัส	นุ่มแน่น	เนื้อยังเหนียว	เนื้อยุ่ยเละ

3. การยับยั้งการเสื่อมคุณภาพของสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำมีการเน่าเสียที่รวดเร็วจากกระบวนการเสื่อมคุณภาพที่ได้กล่าวมาข้างต้น การหาวิธีการต่าง ๆ มาช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพนั้นจึงมีความสำคัญกับทั้งคุณค่าทางโภชนาการและความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ในปัจจุบันได้มีวิธีการมากมายในการยับยั้งการเสื่อมคุณภาพ อาทิเช่น การแปรรูปโดยการใช้ความร้อน หรืออาจเป็นการเลือกใช้สารต่าง ๆ ที่จะช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และรา รวมไปถึงการใช้สารที่มีส่วนช่วยในการชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างไขมันกับออกซิเจนในอากาศ โดยวิธีการเหล่านั้นมีกลไกในการยับยั้ง ดังนี้

3.1 การต้ม

การต้ม (Boiling) เป็นการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง มีจุดประสงค์เพื่อทำลายเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมคุณภาพ มีผลทำให้โปรตีนเสียสภาพ เกิดปฏิกิริยากับสับสเตรทได้ยากขึ้น สีของผลิตภัณฑ์เด่นชัดขึ้น เนื้อสัมผัสดีขึ้น จุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ลดลง เป็นวิธีแปรรูปวิธีหนึ่งที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยอุณหภูมิที่วัดได้จากกึ่งกลางตัวกุ้งเท่ากับ 75±2 องศาเซลเซียส และในระยะเวลาที่เหมาะสมกับขนาดของกุ้ง คือ กุ้งขนาดเล็ก 66-88 ตัวต่อกิโลกรัม ระยะเวลา 2 นาที กุ้งขนาดกลาง 44-66 ตัวต่อกิโลกรัม ระยะเวลา 2.15 นาที และกุ้งขนาดใหญ่ 35-44 ตัวต่อกิโลกรัม ระยะเวลา 3 นาที โดยที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวไม่มีผลต่อรสชาติและสีของกุ้งขาวต้มสุก (ณัฐรียา เกียรติไพบูลย์, 2553)

3.2 การใช้วัตถุเจือปนอาหาร

วัตถุเจือปนอาหาร (Food additive) หมายถึงสารซึ่งปกติไม่ได้นำมาเป็นส่วนประกอบหลักของอาหาร อาจเติมในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหารหรือในระหว่างการบรรจุ เป็นสารที่เติมลงในอาหารเพื่อประโยชน์ในด้านการผลิต เช่นเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ช่วยให้ส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เพิ่มความข้นหนืด ช่วยให้อาหารคงตัว หรือป้องกันการจับตัวกันเป็นก้อน เป็นสารปรุงแต่งสี กลิ่น หรือรสชาติของอาหาร ช่วยให้อาหารมีลักษณะน่ารับประทาน และช่วยป้องกันการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในผัก และผลไม้ ทั้งยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษา มีส่วนช่วยในการทำลายหรือชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาในอาหาร ป้องกันการเสื่อมคุณภาพ และคงคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร วัตถุเจือปนอาหารที่นิยมใช้ เช่น วัตถุกันเสีย สีผสมอาหาร สารให้ความหวานและวัตถุกันหืน เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะต้องผ่านการทดสอบ ผ่านการประเมินทางพิษวิทยา ได้รับอนุญาตให้ใช้ได้ตามกฎหมายในปริมาณที่กำหนด และไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค (พีระพรรณ โพธิ์ทอง, 2557)

ในการยืดอายุการเก็บรักษาโดยใช้วัตถุเจือปนอาหารนั้นอาจมีการใช้ทั้งสารจากธรรมชาติ หรือสารเคมี เช่นสารต้านจุลินทรีย์ หรือสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสารเหล่านี้จะเข้าไปรบกวนการเสื่อมคุณภาพต่าง ๆ โดยสามารถอธิบายกระบวนการยับยั้งได้ดังนี้

3.2.1 สารต้านจุลินทรีย์

สารต้านจุลินทรีย์ที่ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ เรียกว่า Bacteriostatic agent เป็นสารที่ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้แต่ไม่ทำลายจุลินทรีย์ ส่วนสารทำลายจุลินทรีย์ เรียกว่า Bactericidal agent หรือ Bactericide เป็นสารที่ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถมีกิจกรรมเมแทบอลิซึม (Metabolism) ใด ๆ ได้อีกต่อไป การที่สารต้านจุลินทรีย์สามารถยับยั้งการเจริญหรือทำลายจุลินทรีย์ได้นั้นเกิดจากสารที่ใช้เข้าไปมีผลต่อผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์และกลไกทางพันธุกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่ง ปณิธี ทิพยธรรม (2550) กล่าวว่าสารต้านจุลินทรีย์มีกลไกการทำงานในแต่ละส่วนดังนี้

3.2.1.1 ผลต่อผนังเซลล์ของจุลินทรีย์

ผนังเซลล์ (Cell wall) ของจุลินทรีย์เป็นโครงสร้างที่ทำให้เซลล์จุลินทรีย์คงรูปร่างอยู่ได้ ผนังเซลล์ประกอบด้วย Diaminopimelic acid (DAP), N-acetyl glucosamine (NAG) และ N-acetylmuramic acid (NAM) นอกจากนี้ผนังเซลล์ยังประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด เช่น อะลานีน (Alanine) ไกลซีน (Glycine) ไลซีน (Lysine) และกรดกลูตามิก (Glutamic acid) ซึ่งปริมาณและชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์นี้จะมีความแตกต่างกันตามชนิดของจุลินทรีย์ N-acetyl glucosamine และ N-acetylmuramic acid มีการเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวสลับกันโดยมีพันธะเพปไทด์เชื่อมระหว่างกรดอะมิโนที่เกาะกับ N-acetylmuramic acid สองโมเลกุล เรียกว่า Peptide bridge ทำให้เกิดเป็นชั้นของ Mucopeptide หรือ Peptidoglycan ขึ้น

ปฏิกิริยาของสารต้านจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นที่ผนังเซลล์หรือเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ทำให้ความสามารถในการยอมให้สารต่าง ๆ แทรกซึมผ่านผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงไป เส้นทางของอาหารจากภายนอกเข้าสู่ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ขัดข้อง การเจริญของจุลินทรีย์จึงหยุดชะงักและตายในที่สุด การทำลายผนังเซลล์ของจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้จุลินทรีย์ตายได้ เมื่อสารต้านจุลินทรีย์เข้าสู่ภายในเซลล์ทำให้ไซโทพลาสซึม (Cytoplasm) เกิดการตกตะกอน (Coagulate) หรือทำให้เยื่อหุ้มเซลล์แตก เนื่องจากสารดังกล่าวทำลายไขมันที่อยู่บนเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้ผนังเซลล์ฉีกขาด

สารต้านจุลินทรีย์บางชนิดมีผลต่อกระบวนการสร้างหรือสังเคราะห์ส่วนประกอบของผนังเซลล์ทำให้จุลินทรีย์มีผนังเซลล์ที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้จุลินทรีย์ตายได้เช่นกัน โดยปกติองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ของจุลินทรีย์แกรมลบมีความซับซ้อนมากกว่า

จุลินทรีย์แกรมบวก ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์แกรมลบประกอบด้วย Peptidoglycan เพียง 5-20% ที่เหลือเป็น Lipoprotein, Polysaccharide และ Diaminopimelic acid และมีจำนวน Peptide bridge น้อยกว่าผนังเซลล์ของจุลินทรีย์แกรมบวก ในผนังเซลล์ของจุลินทรีย์แกรมบวกมีองค์ประกอบของ Peptidoglycan ถึง 90% แต่มีกรดอะมิโนน้อยชนิดกว่าผนังเซลล์ของจุลินทรีย์แกรมลบ ถึงแม้จุลินทรีย์แกรมลบมีผนังเซลล์บางกว่าจุลินทรีย์แกรมบวก แต่จุลินทรีย์แกรมลบมีเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอก (Outer membrane) ที่มีปริมาณไขมันสูงถึง 11-22% ล้อมรอบ Peptidoglycan ทำหน้าที่กั้นเอนไซม์ที่จำเป็นต่อการเจริญของเซลล์ไม่ให้ออกจากเซลล์และป้องกันสารเคมีและเอนไซม์จากภายนอกไม่ให้เข้าไปทำลายเซลล์ได้ การที่จุลินทรีย์แกรมลบมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่าทำให้โดยส่วนใหญ่จุลินทรีย์แกรมบวกจะมีความไวต่อการถูกยับยั้งของสารต้านจุลินทรีย์มากกว่าจุลินทรีย์แกรมลบ

3.2.1.2 ผลต่อการทำงานของเอนไซม์

เอนไซม์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นส่วนประกอบต่าง ๆ ของเอนไซม์ควรมีอยู่ครบถ้วนและอยู่ในสภาพที่พร้อมทำงาน หากองค์ประกอบหรือสมบัติต่าง ๆ ของเอนไซม์ถูกทำลายหรือถูกทำให้ผิดปกติประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์จะลดลง เช่น สารต้านจุลินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นกรดเมื่อใส่ในอาหารเป็นสาเหตุให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพ (Denature) หรือสารต้านจุลินทรีย์บางชนิดอาจไปจับกับหมู่ซัลไฮดริล (Sulfhydryl group) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์ ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์ลดลงและมีผลต่อเนื่องทำให้การดำรงชีวิตของจุลินทรีย์หยุดชะงักหรือตายได้

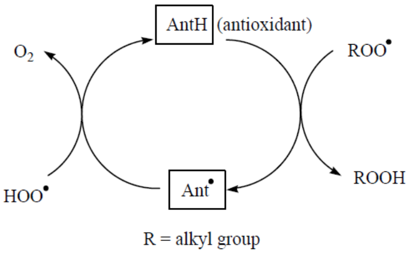
3.2.1.3 ผลต่อกลไกทางพันธุกรรม

การเจริญของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่เกิดจากการแบ่งเซลล์ กระบวนการแบ่งเซลล์นั้นจะมีโครโมโซม (Chromosome) และยีน (Gene) มาเกี่ยวข้อง ในยีนมีดีเอ็นเอ (DNA) และอาร์เอ็นเอ (RNA) เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นหากมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นกับส่วนนี้จะทำให้การแบ่งเซลล์หยุดชะงัก เช่น สารต้านจุลินทรีย์ประเภทที่เป็นสารปฏิชีวนะ จะมีผลกับไรโบโซม (Ribosome) ทำให้เกิดการสะสมของอาร์เอ็นเอ ส่งผลให้การสังเคราะห์โปรตีนหยุดชะงักและมีผลต่อเนื่องให้กระบวนการแบ่งเซลล์หยุดชะงักตามไปด้วย เมื่อจุลินทรีย์ไม่มีการแบ่งเซลล์ จำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์ก็จะไม่เพิ่มขึ้นและเมื่อเซลล์นั้นตายจำนวนจุลินทรีย์ก็จะลดลงไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งหมดไปในที่สุด

3.2.2 สารต้านอนุมูลอิสระ

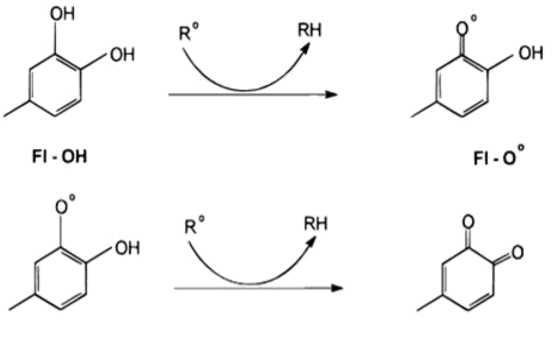
สารต้านอนุมูลอิสระหรือสารต้านออกซิเดชัน เป็นกลุ่มของสารที่มีผลไปยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่ให้ดำเนินต่อไป โดยสารต้านอนุมูลอิสระนี้ไปจับกับอนุมูลอิสระที่เป็นปัญหา เกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่เสถียรกว่า ส่งผลให้หยุดวงจรการเกิดอนุมูลอิสระ

ตัวใหม่ ๆ ขึ้นมาอีก (ภาพที่ 2-2) ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระสามารถแบ่งตามกลไกการยับยั้งได้เป็น 3 กลไก ได้แก่ 1) ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ (Preventive antioxidant) 2) ทำลายหรือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น (Scavenging antioxidant) และ 3) ทำให้ลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระสิ้นสุดลง (Chain breaking antioxidant)



ภาพที่ 2-2 วงจรการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ (นงนภัส ดวงดี, 2551)

ปกติร่างกายของคนเราสามารถผลิตเอนไซม์เพื่อต่อต้านอนุมูลอิสระขึ้นมา เช่น Superoxide dismutase (SOD), Catalase (CAT), Glutathione peroxidase (GPx) และ Glutathione (GSH) โดยเอนไซม์เหล่านี้จะไปจับกับอนุมูลอิสระ เช่น Superoxide หรือ Nitric oxide เป็นการตัดวงจรการสร้างอนุมูลอิสระในร่างกายได้ แต่เนื่องด้วยเอนไซม์ที่ร่างกายสร้างนั้นมีปริมาณจำกัด จึงจำเป็นต้องอาศัยสารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอกร่างกายเพื่อรักษาระบบสมดุลต่าง ๆ ในร่างกายให้ดำเนินต่อไปได้อย่างปกติ (นงนภัส ดวงดี, 2551) ในธรรมชาติมีสารต้านอนุมูลอิสระที่ร่างกายสามารถรับประทานได้ เช่น วิตามิน E วิตามิน C เบต้าแคโรทีน และอนุพันธ์ของฟลาโวนอยด์ (โอภา วัชระคุปต์, 2550) ซึ่งสามารถต่อต้านการเกิดอนุมูลอิสระได้ดีเช่นกัน (ภาพที่ 2-3) อีกทั้งยังมีสารต้านอนุมูลอิสระที่สังเคราะห์ขึ้น เช่น Butylated hydroxyanisole (BHA) และ Butylated hydroxytoluene (BHT) เป็นต้น (Roberfroid & Calderon, 1995)



ภาพที่ 2-3 การยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ในปฏิกิริยาลูกโซ่ของฟลาโวนอยด์ (Pietta, 2000)

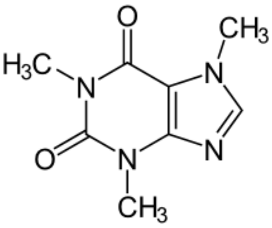
3.3 ชาเขียว (Green tea)

ชาเขียว คือชาที่ได้มาจากต้นชา *Camellia sinensis* ที่ไม่ผ่านการหมัก เตรียมได้จากการนำใบชาสดมาผ่านความร้อนอย่างรวดเร็วเพื่อทำให้ใบชาแห้ง เป็นการยับยั้งการทำงานเอนไซม์ไม่ให้ใบชาเกิดการสลายตัว ได้ใบชาที่แห้งและยังคงความเขียวสดอยู่จึงเรียกว่าชาเขียว เมื่อชงด้วยน้ำร้อนจะได้น้ำชาสีเขียวอ่อน กลิ่นหอม รสชาตินุ่มนวล ชาเขียวมี 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ชาเขียวแบบญี่ปุ่นและชาเขียวแบบจีน ซึ่งแตกต่างกันตรงที่ชาเขียวแบบจีนมีการคั่วด้วยกระทะร้อน แต่ชาเขียวแบบญี่ปุ่นผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ อัครวัฒน์ ชิงชัย (2549) ได้กล่าวถึงสารประกอบที่สำคัญในชาเขียว ดังนี้

3.3.1 สารประกอบที่สำคัญในชาเขียว

สารสำคัญที่พบได้ในชาเขียวประกอบไปด้วย กรดอะมิโน วิตามิน B วิตามิน C วิตามิน E สารในกลุ่ม Xanthine alkaloids คือ คาเฟอีน (Caffeine) และสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่เรียกว่า คาเทชิน (Catechins)

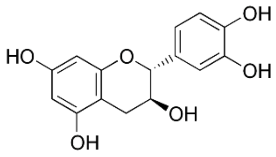
3.3.1.1 คาเฟอีน (Caffeine) เป็นสารที่มีฤทธิ์กระตุ้นการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง เพิ่มการเผาผลาญ เพิ่มการทำงานของหัวใจและไต มีฤทธิ์ในการขับปัสสาวะ (ภาพที่ 2-4)



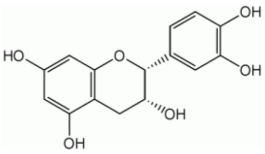
ภาพที่ 2-4 โครงสร้างของคาเฟอีน (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2556)

3.3.1.2 คาเทชิน (Catechins) คือสารโพลีฟีนอล (Polyphenol) กลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นสารประกอบที่พบมากในชาเขียว เป็นสารไม่มีสี ให้รสขมและฝาด ละลายได้เล็กน้อยในน้ำเย็น และละลายได้ดีในน้ำร้อน แอลกอฮอล์ กรดน้ำส้ม และอะซิโตน คาเทชินมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง มีประโยชน์ต่อสุขภาพ และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งคาเทชินสามารถแบ่งได้เป็น 8 อนุพันธ์ คือ คาเทชิน (Catechin; C) คาเทชินกัลป์เลต (Catechin gallate; CG) กัลโลคาเทชิน (Gallocatechin; GC) กัลโลคาเทชินกัลเลต (Gallocatechin gallate; GCG) อีพิคาเทชิน (Epicatechin; EC) อีพิคาเทชินกัลป์เลต (Epicatechin gallate; ECG) อีพิกัลโลคาเทชิน (Epigallocatechin; EGC) และอีพิกัลโลคาเทชินกัลป์เลต

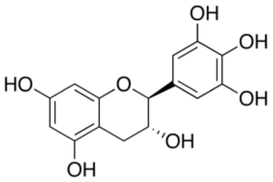
(Epigallocatechin gallate; EGCG) (ภาพที่ 2-5) โดยอีพิกัลโลคาเทชินกัลเลต (EGCG) เป็นอนุพันธ์ที่พบมากที่สุดในชาเขียวประมาณ 35-50% ซึ่งมากกว่าชาดำ (พบประมาณ 10%) และชาอู่หลง (พบประมาณ 8-20%) เนื่องจากฟลาโวนอยด์ในชาดำและชาอู่หลงถูกเปลี่ยนไปเป็น Theaflavins และ Thearubigind ขณะผ่านกระบวนการหมักใบชา แต่ชาเขียวที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักดังกล่าวจึงยังคงรักษาสารประกอบเหล่านี้ไว้ได้ในปริมาณสูง


HO
O
OH
OH
OH
OH

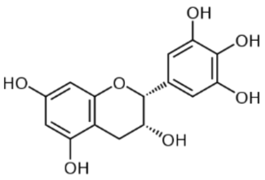
Catechin (C)


HO
O
OH
OH
OH
OH

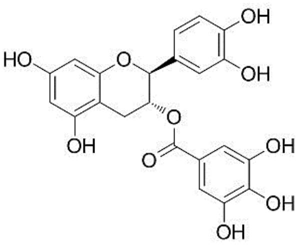
Epicatechin (EC)


OH
OH
HO
O
OH
OH
OH

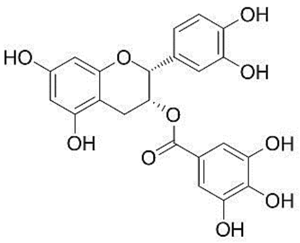
Gallocatechin (GC)


OH
OH
HO
O
OH
OH
OH

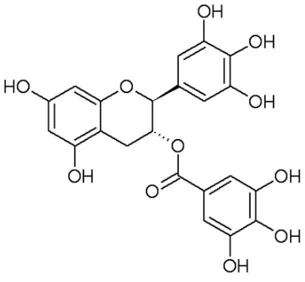
Epigallocatechin (EGC)


OH
HO
O
OH
O
OH
O
OH
OH
OH

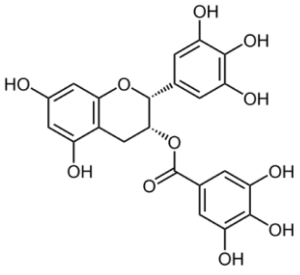
Catechin gallate (CG)


OH
HO
O
OH
O
OH
O
OH
OH
OH

Epicatechin gallate (ECG)


OH
OH
HO
O
OH
O
OH
O
OH
OH
OH

Gallocatechin gallate (GCG)


OH
OH
HO
O
OH
O
OH
O
OH
OH
OH

Epigallocatechin gallate (EGCG)

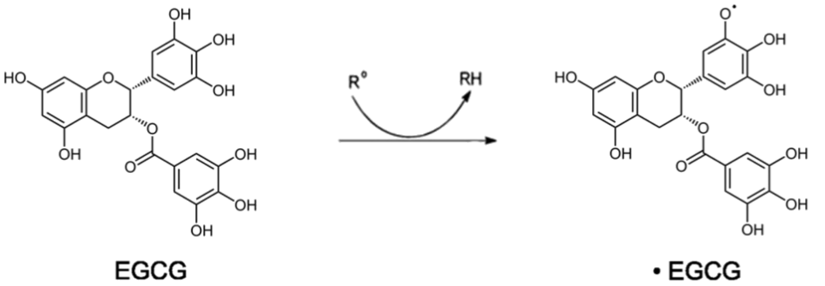
ภาพที่ 2-5 องค์ประกอบของสารโพลีฟีนอลในชาเขียว (Dalluge & Nelson, 2000)

3.3.2 กลไกการยับยั้งการเสื่อมคุณภาพในสัตว์น้ำของชาเขียว

จากข้อมูลเบื้องต้นที่กล่าวถึงสารประกอบที่สำคัญในชาเขียว คือ สารคาเทชิน ที่มีสมบัติในการยังยั้งการเสื่อมคุณภาพจากกระบวนการต่าง ๆ จึงสามารถสรุปกลไกการยับยั้งการเสื่อมคุณภาพได้เป็น 2 กลไก คือ

3.3.2.1 กลไกยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

สารอีพิกัลโลคาเทชินกัลเลต (EGCG) ในชาเขียว เป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ มีโครงสร้างเป็น Phenolic ring และมี Hydroxyl group (OH) เกาะอยู่บนวงเบนซีน มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยจากภาพที่ 2-6 พบว่า Hydroxyl group (OH) ของ EGCG จะปล่อยไฮโดรเจนอะตอม (H^+) ไปจับกับอนุมูลอิสระ (•R) และเปลี่ยนเป็นอนุมลูของ EGCG (•EGCG) อนุมูล •EGCG ที่เกิดขึ้นสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ช้ากว่าอนุมูลอิสระ (•R) และเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่คงตัว จึงสามารถช่วยป้องกันปฏิกิริยาที่จะเกิดขั้นต่อไปได้ (Pietta, 2000)



ภาพที่ 2-6 กลไกการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของชาเขียว

3.3.2.2 กลไกยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

สารคาเทชินในชาเขียวมีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ในหลาย ๆ ปัจจัยที่จะส่งผลต่อเนื่องกันจนจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ โดยพบว่า สารคาเทชินในชาเขียวที่มี Hydroxyl group (OH) อยู่มาก เมื่อแทรกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปภายในเซลล์ เกิดการแตกตัวของไฮโดรเจนอะตอม (H^+) ทำให้ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์มีสภาวะไม่เหมาะสม จุลินทรีย์ต้องใช้พลังงานในการขับไฮโดรเจนอะตอม (H^+) ออกภายนอกเซลล์ ทั้งยังทำลายโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนภายในเซลล์ เช่น ดีเอ็นเอ มีผลไปถึงกระบวนการสังเคราะห์สารสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึม เช่น การสังเคราะห์กรดไขมัน และการทำงานของเอนไซม์ให้มีสภาวะไม่ปกติ จึงเป็นการยับยั้งการเจริญและอาจทำให้จุลินทรีย์ตาย (ปณิธี ทิพยธรรม, 2550)

3.3.3 การใช้สารสกัดจากชาเขียวเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาสัตว์น้ำ

เมื่อพิจารณาสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์และการต้านอนุมูลอิสระของชาเขียว พบว่าสมบัติดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น การนำสารสกัดจากชาเขียวมาเคลือบผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ จากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาแล้วดังนี้

Alghazeer, Saeed, and Howell (2008) ได้ศึกษาผลของการเก็บรักษาเนื้อปลาซาบะ (*Scomber scombrus*) สดแล้วนำไปแช่แข็ง เป็นเวลา 26 สัปดาห์ โดยจัดชุดการทดลองดังนี้ เนื้อปลาซาบะแช่แข็งที่ -80 องศาเซลเซียส (ตัวอย่างควบคุม) เนื้อปลาซาบะจุ่มสารละลายชาเขียว (250 และ 500 ppm) แช่แข็งที่ -10 องศาเซลเซียส และเนื้อปลาซาบะไม่จุ่มสารละลายชาเขียวแช่แข็งที่ -10 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ 4, 8, 16 และ 26 ทำการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) และค่าอัลดีไฮด์ (TBARS) และค่า Hexanal ผลการศึกษาพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ อัลดีไฮด์ และ Hexanal ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (26 สัปดาห์) ซึ่งชุดการทดลองที่ให้ผลดีที่สุดมีค่าต่ำที่สุดในทุก ๆ ค่าคือเนื้อปลาซาบะแช่แข็งที่ -80 องศาเซลเซียส (ตัวอย่างควบคุม) เช่นเดียวกับชุดการทดลองเนื้อปลาซาบะไม่จุ่มสารละลายชาเขียวแช่แข็งที่ -10 องศาเซลเซียสที่มีค่าสูงที่สุดในทุกค่า แต่หากพิจารณาเฉพาะชุดการทดลองที่จุ่มสารละลายชาเขียว (250 และ 500 ppm) แช่แข็งที่ -10 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าอัลดีไฮด์ ในชุดการทดลองเนื้อปลาซาบะจุ่มสารละลายชาเขียว 250 ppm มีค่าต่ำกว่าเนื้อปลาซาบะจุ่มสารละลายชาเขียว 500 ppm ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ต่างจากค่า Hexanal ที่เนื้อปลาซาบะจุ่มสารละลายชาเขียว 250 ppm มีค่าสูงกว่าเนื้อปลาซาบะจุ่มสารละลายชาเขียว 500 ppm ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นกัน ($p \leq 0.05$)

Fan, Chi, and Zhang (2008) ศึกษาการใช้สารโพลีฟีนอลจากชาในการยืดอายุการเก็บรักษาปลาเกล็ดเงิน (*Hypophthalmichthys molitrix*) สดที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง โดยวิธีการจุ่มตัวอย่างลงในสารละลายโพลีฟีนอลจากชา (0.2% w/v) และเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 32 วัน เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา (จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด) คุณภาพทางกายภาพ (ค่า pH, TVB-N, TBA และ K-value) และคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าตัวอย่างปลาที่จุ่มด้วยสารละลายโพลีฟีนอลจากชามีคุณภาพดีและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าตัวอย่างปลาที่ไม่ได้จุ่ม

Nirmal and Benjakul (2011a) ศึกษาการใช้สารสกัดจากชาเขียวในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งขาว (*L. vannamei*) สดที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง โดยเปรียบเทียบกันระหว่างสารสกัดที่ได้จากชาใบหม่อน ชาเขียวที่มีและไม่มีคลอโรฟิลล์ พบว่ากุ้งขาวที่ใช้สารสกัดจากชาเขียวที่มีและไม่มีคลอโรฟิลล์ในการเก็บรักษาสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าชาใบหม่อนและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่า 12 วัน

Sundararajan et al. (2011) ศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากชาเขียวในการเคลือบกุ้งแชบ๊วย (*L. setiferus*) สดแช่แข็งด้วยสารไครโอเจน (ไนโตรเจนเหลว) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -21 องศาเซลเซียส เมื่อวิเคราะห์ค่า pH ความชื้น น้ำหนักเมื่อเคลือบ น้ำหนักหลังละลาย ค่าสี และ TBARS ทุก 30 วัน เป็นระยะเวลา 180 วัน พบว่าสกัดจากชาเขียวมีประสิทธิภาพในการควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชันของกุ้งได้ดี แต่ความชื้นของกุ้งแช่แข็งที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวหลัง 180 วันของการเก็บรักษา พบว่ากุ้งที่เคลือบด้วยสารสกัดชาเขียวมีความชื้นสูงเมื่อเทียบกับกลุ่มตัวอย่างควบคุม โดยสารสกัดจากชาเขียวมีผลกระทบต่อค่าสี a* และ b* แต่ไม่มีผลกระทบต่อค่า L* ของกุ้งแชบ๊วยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Li et al. (2012a) ศึกษาผลของสารละลายโพลีฟีนอลจากชาและสารสกัดจากโรสแมรี่ร่วมกับไคโตซาน ในการรักษาคุณภาพปลาจวดเหลือง (*Pseudosciaena crocea*) สดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา (จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด) คุณภาพทางกายภาพ (ค่า pH, TVB-N, K-value, PV และ TBARS) และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นเวลา 20 วัน พบว่าตัวอย่างที่เคลือบด้วยสารละลายทั้งสองชนิด (สารละลายโพลีฟีนอลจากชาและสารสกัดจากโรสแมรี่) ร่วมกับไคโตซานสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 8-10 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่เก็บได้ 5-6 วัน

Xi, Liu, and Su (2012) ศึกษาผลของสารสกัดจากชาหลงจิ่งในการลดการเจริญของจุลินทรีย์และจุลินทรีย์ก่อโรค *V. parahaemolyticus* และการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อหอยนางรม (*Crassostrea gigas*) สดแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์ทุก ๆ 2 วัน นาน 18 วัน โดยมีการจัดชุดการทดลองดังนี้ T (หอยนางรมแช่ในสารสกัดชาหลงจิ่ง 10% นาน 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องและเก็บในสารสกัดชาหลงจิ่ง 10%) DT (หอยนางรมแช่ในสารสกัดชาหลงจิ่ง 10% นาน 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องและเก็บในน้ำปราศจากไอออน (DI)) และ D (หอยนางรมแช่ในน้ำ DI นาน 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องและเก็บในน้ำ DI) จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง และจำนวน *V. parahaemolyticus* จากผลการศึกษาพบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลางในทุกชุดการทดลองมีการลดลงในช่วง 2-6 วันแรกและจากนั้นค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยจากมาตรฐาน ของจำนวนจุลินทรีย์ (6 log CFU/g) สรุปได้ว่า ชุดการทดลองที่ดีที่สุดคือ T สามารถเก็บได้มากกว่า 18 วัน ในขณะที่ชุดการทดลอง DT เก็บได้ 12 วัน และชุดการทดลอง D เก็บได้ 8 วัน และผลของจำนวน *V. parahaemolyticus* พบว่ามีการลดลงของ *V. parahaemolyticus* ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยชุดการทดลองที่ดีที่สุดคือ T รองลงมาคือ DT และ D ตามลำดับ

Dong, Zhu, Li, and Li (2013) ศึกษาผลของโพลีฟีนอลจากชาที่มีต่อลักษณะทางกายภาพและเคมีของหมึก (*Dosidicus gigas*) แห้งปรุงรส ทำการเก็บรักษาในอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าหมึกแห้งปรุงรส มีค่าสี (b*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งตรงข้ามกับปริมาณของน้ำตาลและกรดอะมิโนอิสระที่ลดลง โดยจะเห็นได้ว่าหมึกปรุงรสที่จุ่มสารละลายโพลีฟีนอลจากชาสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า TMAO, TBA และ TMA-N ได้ ในขณะที่ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลยังเกิดขึ้นอย่างปกติ

Fereahtian, Kamani, Zenoozian, Rigi, and Safari (2014) ศึกษาผลของชาเขียวที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยาในกุ้งขาว (*L. vannamei*) สดที่เก็บรักษาด้วยการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน ทำการวิเคราะห์ทุก ๆ 5 วัน นาน 15 วัน โดยกำหนดชุดการทดลองตามความเข้มข้นที่แตกต่างกันของสารสกัดจากชาเขียว (200, 400, และ 600 ppm) ทำการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก และจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง จากการศึกษาพบว่าสารสกัดจากชาเขียวในชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นสูงจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษากุ้งขาวสดได้นานกว่าชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นรองลงมาได้นาน 2-5 วัน อีกทั้งยังพบว่าความเข้มข้นที่แตกต่างกันของสารสกัดจากชาเขียวส่งผลให้ต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ในกุ้งขาวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยความเข้มข้นที่ดีที่สุดของสารสกัดจากชาเขียวที่ 600 ppm สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ด้านต่าง ๆ ได้ดีที่สุด ($p \leq 0.05$)

3.3.4 ประโยชน์และข้อจำกัดของชาเขียว

ชาเขียวเป็นชาที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมากที่สุดหากเปรียบเทียบกับชาชนิดอื่น ชาเขียวมีส่วนช่วยในการลดอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เนื่องจากสารอีพิกัลโลคาเทชินกัลเลต (EGCG) ในชาเขียวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง ช่วยป้องกันโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดและโรคหัวใจ ช่วยควบคุมระดับคอเลสเตอรอลและน้ำตาลในเลือด ช่วยป้องกันฟันผุ เนื่องจากชาเขียวช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในช่องปากได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยบรรเทาอาการท้องเสียได้เนื่องจากในชาเขียวมีสารแทนนิน (Tannin) ที่มีรสฝาด แต่ถ้าหากมีการดื่มชาเขียวมากเกินไป สารคาเฟอีนในชาเขียวอาจส่งผลทำให้ร่างกายมีอาการใจสั่น นอนไม่หลับและยับยั้งการดูดซึมวิตามิน B1 และธาตุเหล็ก การดื่มชาเขียวมากเกินไปจึงไม่เหมาะสำหรับผู้ที่มีภาวะโลหิตจาง อีกทั้งในการดื่มชาเขียวที่ชงทิ้งไว้นาน ๆ หรือมีความเข้มข้นมากเกินไป ปริมาณสารแทนนินในชาจะทำให้ร่างกายมีอาการท้องอืดหรือท้องผูกได้ (อัครวัฒน์ ชิงชัย, 2549)

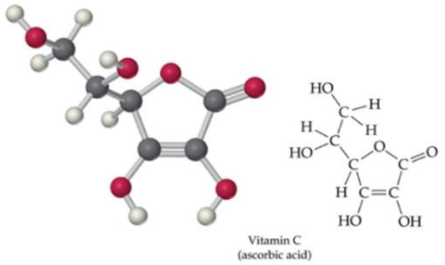
3.4 กรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซส ละลายน้ำได้ดี ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดีและกระจายตัวไปตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั่วร่างกาย นอกจากนี้ยังสามารถนำกรดแอสคอร์บิกมาใช้เป็นส่วนผสมในกระบวนการแปรรูปอาหารหรือใช้ในรูปวัตถุเจือปนอาหาร นอกจากนั้นกรดแอสคอร์บิกยังช่วยป้องกันการเกิดจุดดำในกุ้ง อีกทั้งยังใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นสารต้านออกซิเดชันโดยทำหน้าที่ชะลอการเสื่อมคุณภาพของอาหาร การเหม็นหืน และการเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรดแอสคอร์บิกจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวหยุดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ เป็นตัวจับออกซิเจน หรือเป็น Chelator ของโลหะ เป็นต้น โดยกรดแอสคอร์บิกที่นำมาใช้เป็นสารต้านออกซิเดชันคือ กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) เกลือของกรดแอสคอร์บิก เช่นโซเดียมแอสคอร์เบท (Sodium ascorbate) และแคลเซียมแอสคอร์บิก (Calcium ascorbate) และไอโซเมอร์ของกรดแอสคอร์บิก (D- และ L-Isoascorbic acid) จัดอยู่ในกลุ่มของสารที่มีความปลอดภัยสามารถนำไปเติมลงในอาหารได้ (ศิริวรรณ สุทธจิตต์, 2550)

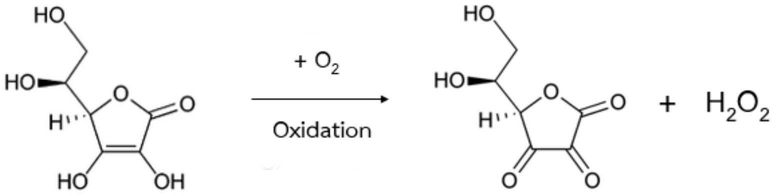
กรดแอสคอร์บิกสลายตัวได้ง่ายในสภาวะที่มีความร้อน แสง ความชื้น โลหะหนัก และในสิ่งแวดล้อมที่มีสภาพเป็นด่าง (ฉัตรชัย ไตรทอง, 2553) มีหน้าที่ทางชีวภาพหลายด้าน เช่น ช่วยป้องกันการกลายพันธุ์ของเซลล์อันเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งต่าง ๆ ช่วยสร้างภูมิคุ้มกัน ป้องกันการติดเชื้อและลดอาการหวัด ช่วยลด ขับ หรือทำลายสารพิษ ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล รวมทั้งเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางอย่างแพร่หลาย ซึ่งในธรรมชาติจะพบกรดแอสคอร์บิกในทุกส่วนของพืช เช่น ใบ ผล และดอก ยกเว้นส่วนที่เป็นเนื้อไม้และเปลือกไม้ (ศิริวรรณ สุทธจิตต์, 2550)

3.4.1 สมบัติทางเคมีของกรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิก มีโมเลกุลขนาดเล็กอยู่ในรูปของ Ascorbic acid ชื่อทางเคมี คือ L-xyloascorbic acid มีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2-7 โมเลกุลของกรดแอสคอร์บิกค่อนข้างไม่เสถียร ดังนั้นในธรรมชาติจึงพบกรดแอสคอร์บิกอยู่ทั้งใน Reduced form คือ L-xyloascorbic acid และ Oxidized form คือ Dehydroascorbic acid ทั้งสองรูปแบบนี้มีฤทธิ์ของกรดแอสคอร์บิกเท่ากัน ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกสามารถเกิดขึ้นได้ง่าย โดยการเร่งของสารออกซิไดซ์เป็นสารประกอบออกซิเจนที่ว่องไว เช่น Lipid peroxidation รวมทั้งไอออนเหล็ก และไอออนทองแดง โดยกรดแอสคอร์บิกเปลี่ยนจาก Ascorbic acid ให้เป็น Dehydroascorbic acid ดังภาพที่ 2-8 โดยหมู่ Diol ตรงตำแหน่งคาร์บอนที่ 2 และ 3 ทำให้กรดแอสคอร์บิกมีสมบัติในการรีดิวซ์ได้ดี (ศิริวรรณ สุทธจิตต์, 2550)



ภาพที่ 2-7 โครงสร้างของ Ascorbic acid (L-xyloascorbic acid) (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554)



ภาพที่ 2-8 กลไกของ Ascorbic acid ถูกออกซิไดส์เป็น Dehydroascorbic acid (Scollary, 2015)

3.4.2 กลไกการยับยั้งการเสื่อมคุณภาพในสัตว์น้ำของกรดแอสคอร์บิก

3.4.2.1 กลไกยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

กรดแอสคอร์บิกเป็นสารที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยออกซิเดชัน ซึ่งเมื่อมีการเติมออกซิเจน (O_2) กรดแอสคอร์บิกในรูป L-xyloascorbic acid จะถูกออกซิไดส์จับกับออกซิเจนเปลี่ยนเป็น Dehydroascorbic acid และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide; H_2O_2) ทำให้ปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ที่จะเกิดขึ้นหยุดชะงักลง (ภาพที่ 2-8) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอย่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ยังสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีอีกด้วย (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2557)

3.4.2.2 กลไกยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

กรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิดที่ไม่ชอบสภาวะความเป็นกรดได้ดี อีกทั้งโครงสร้างของกรดแอสคอร์บิกที่มี Hydroxyl group (OH) ที่ไม่เสถียร เมื่อแทรกผ่านเข้าไปภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ เกิดการแตกตัวของไฮโดนเจนอะตอม (H^+) ทำให้ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์มีสภาวะไม่เหมาะสม จุลินทรีย์ต้องใช้พลังงานในการขับไฮโดนเจนอะตอม (H^+) ออกนอกเซลล์ ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ รวมถึงไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการออกซิไดซ์ของ L-xyloascorbic acid กับออกซิเจน ก็มีส่วนช่วยในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เช่นกัน โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์เกิดปฏิกิริยา

Lipid peroxidation มีผลทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดความเสียหาย ความสามารถในการแลกเปลี่ยนสารต่าง ๆ ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เสียไป และยังมีผลกับเชื้อรา (Mold) ทำให้เกิด Oxidizing effect ภายในเซลล์ และไปทำลายโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนภายในเซลล์ เช่น ดีเอ็นเอ ส่งผลไปถึงกระบวนการสังเคราะห์สารสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึม เช่น การสังเคราะห์กรดไขมัน และเอนไซม์เสียสภาพการทำงาน จึงเป็นการยับยั้งการเจริญและอาจทำให้จุลินทรีย์ตาย (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2557)

3.4.3 การใช้กรดแอสคอร์บิกเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาสัตว์น้ำ

กรดแอสคอร์บิกเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี และสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพของสัตว์น้ำต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

Khan, Parrish, and Shahidi (2006) ศึกษาผลของการเก็บรักษาหอยแมลงภู่ (*Mytilus edulis*) สดที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง โดยใช้กรดแอสคอร์บิกในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) พบว่าหอยแมลงภู่สดที่เคลือบด้วยกรดแอสคอร์บิก สามารถเก็บรักษาได้นาน 5 วัน

Taheri, Motalebi, and Fazlara (2012) ศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพของเนื้อปลาช่อนทะเล (*Rachycentron canadum*) สดแช่แข็ง โดยการนำเนื้อปลาช่อนทะเลสดแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.25% และ 0.5% นาน 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 เดือน วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี (PV, FFA, TBA, pH และ EM) และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและลักษณะปรากฏในเดือนที่ 1, 3 และ 6 พบว่าคุณภาพทางเคมีของเนื้อปลาช่อนที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกมีค่า FFA, pH, EM และคุณภาพทางประสาทสัมผัสต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งจากผลการทดลองกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0.5% มีประสิทธิภาพในการควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าความเข้มข้น 0.25%

3.4.4 ประโยชน์และข้อจำกัดของกรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามิน C เป็นสารอาหารจำเป็นที่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ การได้รับวิตามิน C ในปริมาณที่เพียงพอส่งผลให้ร่างกายสร้างภูมิคุ้มกันได้ดีมากขึ้น เพราะวิตามิน C มีส่วนช่วยในการยังยั้งและต้านทานโรคติดเชื้อโดยจุลินทรีย์และไวรัสได้ ทำหน้าที่ป้องกันผนังเซลล์ของเม็ดเลือดขาวไม่ให้ถูกทำลายและทำให้เม็ดเลือดขาวสามารถทำลายเชื้อโรคต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว ช่วยลดการเกิดภูมิแพ้ เนื่องจากวิตามิน C เป็นส่วนสำคัญในการกระตุ้นกระบวนการทางเคมี ยับยั้งสารที่เรียกว่า ฮิสตามีน ซึ่งเป็นสารที่ร่างกายสร้างขึ้นเมื่อมีอาการแพ้ ช่วยสร้างและรักษาสภาพของคอลลาเจน ป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน ช่วยบำรุงผิวป้องกัน

การเกิดริ้วรอยก่อนวัย ช่วยต้านการเกิดเม็ดสีเมลานินอันเป็นต้นเหตุของการเกิดฝ้า ช่วยให้ร่างกายดูดซึมธาตุเหล็กได้ป้องกันโรคโลหิตจาง ช่วยลดการเกิดก้อนแข็งตัวในเส้นเลือดและเพิ่มความแข็งแรงให้กับผนังหลอดเลือดทำให้หลอดเลือดแดงมีความยืดหยุ่นตัวได้ดียิ่งขึ้น ป้องกันการเกิดภาวะความดันโลหิตสูงและโรคหัวใจ ช่วยป้องกันอาการเลือดไหลไม่หยุด และช่วยรักษาอาการท้องผูกเนื่องจากวิตามิน C ช่วยให้กากอาหารในลำไส้ไม่แข็งตัวจึงทำให้ขับถ่ายสะดวก (ฉัตรชัย ไตรทอง, 2553)

งานวิจัยหลายฉบับได้มีการนำสารสกัดจากชาเขียวมาใช้งานร่วมกับกรดแอสคอร์บิก ซึ่งผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้งานร่วมกัน ดังนี้

Sancho, Pedro, Mariano, Garrido, and Alejandra (2007) ศึกษาผลการใช้ชาเขียว (GTE) และสารสกัดจากเมล็ดองุ่น (GSE) ในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อวัวดิบบด เพื่อนำมาเทียบกับเกลือแอสคอร์เบทและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SO_2) โดยจัดชุดการทดลองดังนี้ ตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมสาร) S (โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 100 มิลลิกรัม) SA (โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 100 มิลลิกรัม +เกลือแอสคอร์เบท 400 มิลลิกรัม) ST (โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 100 มิลลิกรัม+ชาเขียว 300 มิลลิกรัม) และ SG (โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 100 มิลลิกรัม+สารสกัดจากเมล็ดองุ่น 300 มิลลิกรัม) (มิลลิกรัมต่อเนื้อ 1 กิโลกรัม) เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนโคลิฟอร์มทั้งหมด ค่า pH ค่าความสว่าง ค่าสี ค่า Hue angle ค่า Metmyoglobin ค่า TBARS และคุณภาพด้านประสาทสัมผัส (สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส) ทุก ๆ 3 วัน นาน 9 วัน ผลการทดลองพบว่าในชุดการทดลอง ST, SG และ SA มีการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ การสูญเสียสีแดง และการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ช้าที่สุด ซึ่งสามารถเก็บได้นานกว่าชุดการทดลอง S (โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 100 มิลลิกรัม) 3 วัน อีกทั้งเมื่อวัดคะแนนด้านประสาทสัมผัสยังพบว่าทั้ง ST, SG และ SA ไม่มีกลิ่นหืนเมื่อปรุงสุก และมีคะแนนเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ ซึ่งการทดสอบนี้ชี้ให้เห็นว่า การเพิ่มเกลือแอสคอร์เบท ชาเขียว (GTE) และสารสกัดจากเมล็ดองุ่น (GSE) มีประสิทธิภาพในการเก็บรักษามากกว่าการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพียงอย่างเดียว และยังสามารถลดปริมาณการเติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ลงในผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ดิบเพื่อเป็นผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคอีกทางหนึ่งด้วย

Nirmal and Benjakul (2011b) ศึกษาผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ (MAP) ร่วมกับสารสกัดชาเขียว (GTE) และกรดแอสคอร์บิก (AA) ที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งขาว (*L. vannamei*) สดเก็บรักษาแบบแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์ทุก ๆ 2 วัน นาน 10 วัน ซึ่งมีการจัดชุดการทดลองดังนี้ Control (เก็บในบรรยากาศปกติ), MAP, 0.1% GET + MAP และ 0.1% GET + 0.005% AA + MAP จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

ทางจุลชีววิทยา (จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง, Enterobacteriaceae, จุลินทรีย์ที่ผลิต H_2S และจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก) คุณภาพทางเคมี (pH, TVB และ TBARS) และการเกิด Melanosis โดยผลการศึกษาพบว่า กุ้งขาวในชุดการทดลองที่มีสารสกัดจากชาเขียวร่วมอยู่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งขาวในทุกด้านช้ากว่าชุดการทดลองอื่น ๆ อีกทั้งเมื่อมีการใช้ร่วมกับกรดแอสคอร์บิกและการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศก็ยิ่งส่งผลให้มีค่าการเปลี่ยนแปลงที่ลดน้อยลงเช่นกัน ซึ่งชุดการทดลองที่ดีที่สุดในการรักษาครั้งนี้คือ 0.1% GET + 0.005% AA + MAP รองลงมาคือ 0.1% GET + MAP, MAP และชุดการทดลองควบคุม (Control) ตามลำดับ

Nirmal and Benjakul (2012) ศึกษาผลของสารสกัดจากชาเขียว (GTE) และกรดแอสคอร์บิก (AA) ที่ส่งผลต่อการเกิด Melanosis และคุณภาพของกุ้งขาว (*L. vannamei*) สดเก็บรักษาโดยแช่น้ำแข็ง ทำการวิเคราะห์ทุก ๆ 2 วัน นาน 12 วัน โดยมีการจัดชุดการทดลองดังนี้ Control, 0.1% GET, 0.1% GET + 0.005% AA และ 0.1% GET + 0.01% AA จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา (จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง, Enterobacteriaceae, และจุลินทรีย์ที่ผลิต H_2S) คุณภาพทางเคมี (pH, TVB และ TBARS) การเกิด Melanosis และคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยผลการศึกษาพบว่า กุ้งขาวในชุดการทดลองที่มีสารสกัดจากชาเขียวสามารถชะลอเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งขาวได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุม หากพิจารณาจากการนำสารสกัดจากชาเขียวไปใช้ร่วมกับกรดแอสคอร์บิก พบว่า ชุดการทดลองที่มีกรดแอสคอร์บิกร่วมอยู่ด้วย (0.005% และ 0.01% AA) มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งขาวช้ากว่าการใช้ชาเขียวเพียงอย่างเดียว แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่าง 2 ความเข้มข้น จึงสรุปได้ว่าความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งขาว โดยชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกน้อยกว่าอย่าง (0.1% GET + 0.005% AA) จึงเป็นชุดการทดลองที่ดีที่สุดที่สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษากุ้งขาวได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ

1.1 กุ้งขาวสด (ขนาด 60-70 ต่อกิโลกรัม) จากสะพานปลา ต.อ่างศิลา อ.เมือง จ.ชลบุรี บรรจุกุ้งใส่ถุงพลาสติกก่อนใส่ในกล่องสไตโรโฟม รักษาความเย็นด้วยน้ำแข็งเกล็ดในอัตราส่วน น้ำแข็ง : กุ้งขาว (1 : 2) ขนส่งด้วยรถยนต์มายังห้องปฏิบัติการภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ภายในเวลา 30 นาที

1.2 สารสกัดจากชาเขียว (Green tea extract) ชนิด food grade (Specialty Natural Produce Co., Ltd., Thailand)

1.3 กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid) ชนิด food grade (Changsha Winner Bio-Tech Co. Ltd., China)

1.4 ผงอัลจิเนต (Alginate powder) ชนิด food grade (Yantai Xinwang Seaweed Co. Ltd., Shandong, China)

1.5 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ชนิด food grade (Quzhou Menjie Chemicals Co. Ltd., Shandong, China)

2. อุปกรณ์ในการแปรรูปและเครื่องมือที่ใช้บรรจุและเก็บรักษา

- 2.1 อุปกรณ์ในการแปรรูป
  - 2.1.1 อุปกรณ์งานครัว
  - 2.1.2 เทอร์โมมิเตอร์ (100 องศาเซลเซียส)
  - 2.1.3 เครื่องกวนสารให้ความร้อน (C-MAG HS 7, IKAMAG, Italy)
- 2.2 เครื่องมือที่ใช้บรรจุและเก็บรักษา
  - 2.2.1 ตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (RF-115MGS, Mirage, Japan)
  - 2.2.2 ถุงพลาสติก Polyethylene (PE) ชนิดทนความเย็น ขนาด 6x9 นิ้ว

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

- 3.1 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (HM-200, AND, Japan)
- 3.2 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (PB 3002-5, Mettler Toledo, Switzerland)

3.3 เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเบส (713 pH Meter, Metrohm, Switzerland)

3.4 เครื่องวัดสี (CM 3500d, Konica Minolta, Japan)

3.5 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA.XT *plus,* Stable Micro Systems, England)

3.6 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) (CX-2, AquaLab, USA)

3.7 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ (FED 400, Binder, USA)

3.8 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (SS-325, Tomy, USA)

3.9 ตู้บ่มเชื้อควบคุมอุณหภูมิ (WIG-32, Wisd, Korea)

3.10 เครื่องตีปั่นผสมอาหาร (B.P.S. 432570, AES Labortorie, France)

3.11 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (SBK 25D, Salvislab, Switzerland)

3.12 กระดาษกรองวอทแมนเบอร์ 1 (Whatman No.1)

3.13 เครื่องปั่นผสมอาหาร (BE 120, OTTO, China)

3.14 จานคอนเวย์ (060310-2A, Sibata, Japan)

3.15 โถดูดความชื้น

3.16 เครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์

3.17 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบประสาทสัมผัส

3.18 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

4. อาหารเลี้ยงเชื้อและรีเอเจนต์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์

4.1 อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้วิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีของ AOAC (1995) คือ Standard plate count agar (PCA)

4.2 อาหารเลี้ยงเชื้อและรีเอเจนต์ที่ใช้วิเคราะห์ *B. cereus* ตามวิธีของ FDA (2001) คือ Mannitol egg-yolk phenol red polymyxin agar (MYP)

4.3 อาหารเลี้ยงเชื้อและรีเอเจนต์ที่ใช้วิเคราะห์ *C. perfringens* ตามวิธีของ APHA (1992) คือ Tryptose sulfite egg-yolk cycloserine agar

4.4 อาหารเลี้ยงเชื้อและรีเอเจนต์ที่ใช้วิเคราะห์จำนวนแบคทีเรีย Coliform และ *E.coli* ตามวิธีของ AOAC (1994) คือ อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป 3M petrifilm^{TM} CC

4.5 อาหารเลี้ยงเชื้อและรีเอเจนต์ที่ใช้วิเคราะห์ *Salmonella* spp. ตามวิธีของ AOAC (1995) คือ Lactose broth (LB)

4.6 อาหารเลี้ยงเชื้อและรีเอเจนต์ที่ใช้วิเคราะห์ *S. aureus* ตามวิธีของ FDA (2001) คือ Baird-parker agar (BPA)

4.7 อาหารเลี้ยงเชื้อและรีเอเจนต์ที่ใช้วิเคราะห์ *V. parahaemolyticus* ตามวิธีของ APHA (1992) คือ Thiosulfate-citrate-sucrose agar (TCBS)

5. สารเคมี

5.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลโปรตีนโดยวิธี SDS-PAGE ตามวิธีของ Laemmli (1970) ได้แก่ Tris hydrochloride (Tris-HCl), Sodium dodecyl sulfate (SDS), Acrylamide, Ammonium Persulfate (APS), Tetramethylethylenediamine (TEMED), Glycerol, Glycine, Mercaptoethanol, Bromophenol blue, Coomassie blue, Methanol และ Glacial acetic acid

5.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณด่างที่ระเหยได้ (TVB-N) และปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N) โดย Conway micro diffusion method ตามวิธีของ Hasegawa (1987) ได้แก่ Mixed indicator, Inner ring solution, HCl, K_2CO_3, Trichloroacetic acid และ Formaldehyde

6. วิธีการทดลอง

6.1 การเตรียมตัวอย่าง

6.1.1 กุ้งขาวต้มสุก

นำกุ้งขาวมาล้างทำความสะอาดเปลือกภายนอกและสิ่งสกปรกที่ติดมาบนกุ้งขาวด้วยน้ำประปา แกะหัว เปลือกและลำไส้ที่หลังออก เอาแต่เนื้อ (เนื้อกุ้งที่ได้ต้องมีลักษณะที่สมบูรณ์ไม่ฉีกขาด) นำเนื้อกุ้งที่แกะเสร็จแล้วใส่ในถุงพลาสติกเก็บในน้ำแข็งเพื่อรักษาความสดก่อนนำไปต้ม จากนั้นจึงนำเนื้อกุ้งไปต้มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 1 นาที และนำเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่ได้ไปศึกษาต่อในขั้นตอนต่อไป

6.2 การเตรียมสารละลายสำหรับการเคลือบ

6.2.1 สารละลายอัลจิเนต 0.002% (w/v): นำผงอัลจิเนต 0.02 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร ต้มบนเครื่องกวนสารให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ประมาณ 20 นาที จนได้สารละลายใสเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นต้มสุกที่อุณหภูมิห้องจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

6.2.2 สารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันในสารละลายอัลจิเนต 0.002% (w/v)

T112 (สารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 1.25%): นำสารสกัดจากชาเขียว 12.5 กรัม และกรดแอสคอร์บิก 12.5 กรัม มาละลายในสารละลายอัลจิเนต 0.002% (w/v)

T106 (สารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 0.625%): นำสารสกัดจากชาเขียว 12.5 กรัม และกรดแอสคอร์บิก 6.25 กรัม มาละลายในสารละลายอัลจิเนต 0.002% (w/v)

T212 (สารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25%): นำสารสกัดจากชาเขียว 25 กรัม และกรดแอสคอร์บิก 12.5 กรัม มาละลายในสารละลายอัลจิเนต 0.002% (w/v)

T206 (สารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 0.625%): นำสารสกัดจากชาเขียว 25 กรัม และกรดแอสคอร์บิก 6.25 กรัม มาละลายในสารละลายอัลจิเนต 0.002% (w/v)

6.2.3 สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.002% (w/v): นำแคลเซียมคลอไรด์ 0.02 กรัม ผสมน้ำกลั่นปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 5 นาที จนได้สารละลายใสเป็นเนื้อเดียวกัน

6.3 ระดับความเข้มข้นสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาและชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

นำเนื้อกุ้งขาวต้มสุกมาเคลือบด้วยสารละลายที่จัดเป็นชุดการทดลองดังตารางที่ 3-1 ในอัตราส่วน เนื้อกุ้งขาวต้มสุก 150 กรัม (≈30 ตัว) : สารละลาย 1 ลิตร โดยระหว่างการเคลือบ 1 และการเคลือบ 2 ทิ้งให้สะเด็ดสารละลายเป็นเวลา 1 นาที

ตารางที่ 3-1 สภาวะการเคลือบเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

ชุดการทดลอง	การเคลือบ 1 (30 วินาที)	การเคลือบ 2 (30 วินาที)
TAC	- สารละลายอัลจิเนต 0.002%	- สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.002%
T112	- สารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%	- สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.002%
T106	- สารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%	- สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.002%
T212	- สารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%	- สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.002%
T206	- สารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%	- สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.002%

นำเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่ผ่านการเคลือบในชุดการทดลองต่าง ๆ บรรจุในถุงพลาสติก PE ขนาด 6x9 นิ้ว โดยบรรจุเนื้อกุ้งขาวต้มสุก 75 กรัม (≈15 ตัว)/ 1 ถุง ปิดผนึกด้วยความร้อน เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส นำไปวิเคราะห์คุณภาพของกุ้งขาวต้มสุก

6.4 การวิเคราะห์คุณภาพของกุ้งขาวต้มสุกที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่มีความเข้มข้นต่างกัน

นำเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่ผ่านการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่มีความเข้มข้นต่างกันในชุดการทดลองจากข้อ 6.3 ไปวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 วัน เป็นเวลา 28 วัน ซึ่งวิธีที่ใช้ในวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่

6.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

6.4.1.1 วิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีของ AOAC (1995)

6.4.1.2 วิเคราะห์ *B. cereus* ตามวิธีของ FDA (2001)

6.4.1.3 วิเคราะห์ *C. perfringens* ตามวิธีของ APHA (1992)

6.4.1.4 วิเคราะห์ *E. coli* และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ตามวิธีของ AOAC (1994)

6.4.1.5 วิเคราะห์ *Salmonella* spp. ตามวิธีของ AOAC (1995)

6.4.1.6 วิเคราะห์ *S. aureus* ตามวิธีของ FDA (2001)

6.4.1.7 วิเคราะห์ *V. parahaemolyticus* ตามวิธีของ APHA (1992)

โดยวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและ *V. parahaemolyticus* ทุก 2 วัน เป็นเวลา 28 วัน และวิเคราะห์จุลินทรีย์ก่อโรคอื่น ๆ เฉพาะวันที่ 0 ของการเก็บรักษา (วิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดก่อนทำการเก็บรักษาและวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส 4 วัน เพื่อให้ทราบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดยังไม่เกินมาตรฐาน (6 log CFU/g) ก่อนให้ผู้ทดสอบทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส)

6.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

6.4.2.1 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลโปรตีน (Sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis; SDS-PAGE)

6.4.2.2 ปริมาณด่างที่ระเหยได้ (TVB-N) และปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N) โดยวิธี Conway micro diffusion method (Hasegawa, 1987)

โดยวิเคราะห์ปริมาณด่างที่ระเหยได้ (TVB-N) และปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N) ทุก 2 วัน และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลโปรตีนทุก 4 วัน เป็นเวลา 28 วัน

6.4.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

6.4.3.1 ค่า A_w

6.4.3.2 ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ตามวิธีของ AOAC (1995)

6.4.3.3 ค่าสี ระบบ CIE (L*, a* และ b*) ตามวิธีของ Young & Whittle (1985)

6.4.3.4 ค่าแรงเฉือน

- ใบมีดชนิด HDP/WBV Warner Bratzler blade set
- ความเร็วที่ใช้ทดสอบ: Pre-test speed เท่ากับ 2.00 มิลลิเมตร/วินาที Test speed เท่ากับ 2.00 มิลลิเมตร/วินาที Post-test speed เท่ากับ 2.50 มิลลิเมตร/วินาที
- Target mode: Strain 100%
- Trigger force: 5.0 กรัม (สวามินี ธีระวุฒิ, ปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, อรัชพร บุญสัน และพรพิพัฒน์ เล็กสิงห์โต, 2560)

6.4.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

วิธีการทดสอบเชิงพรรณนา (Quantitative descriptive analysis; QDA)

6.4.4.1 การคัดเลือกผู้ทดสอบ โดยคัดเลือกจากผู้ทดสอบที่มีความสมัครใจ สามารถรับประทานกุ้งได้ ไม่มีอาการแพ้ และสามารถทดสอบได้ตลอดระยะเวลาการทดลอง จำนวน 20 คน ต่อมาให้ผู้ทดสอบทำการทดสอบเนื้อกุ้งขาวต้มสุกและให้คะแนนความชอบ ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส จากนั้นทำการคัดเลือกผู้ทดสอบที่ให้คะแนนแต่ละลักษณะใกล้เคียงกันจำนวน 10 คน และนำไปทำการทดสอบในข้อ 6.4.4.2 - 6.4.4.4

6.4.4.2 การพัฒนาคำศัพท์เพื่อใช้ในแบบทดสอบเชิงพรรณนาของกุ้งขาวต้มสุก ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 10 คน ทดสอบเนื้อกุ้งขาวต้มสุกทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก จากนั้นให้ผู้ทดสอบเขียนคำศัพท์อธิบายความรู้สึกโดยแยกลักษณะที่ทดสอบได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส แล้วรวบรวมและสรุปคำศัพท์ที่ใช้บ่งบอกความรู้สึกตามลักษณะต่าง ๆ ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก และนำคำศัพท์ที่ได้มากำหนดลงบนสเกลแบบทดสอบเชิงพรรณนาที่มีความยาว 12 เซนติเมตร Stone, (1992) โดยพิจารณาสเกลแยกกันในแต่ละคำศัพท์

6.4.4.3 การฝึกผู้ทดสอบด้วยแบบทดสอบเชิงพรรณนา ให้ผู้ทดสอบจำนวน 10 ทำการทดสอบตัวอย่างเนื้อกุ้งขาวต้มสุกทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกอีกครั้ง และให้คะแนนความถี่ตามความรู้สึกของผู้ทดสอบที่ตรงกับตัวอย่างลงบนสเกล ทำการทดสอบจนกระทั่งผู้ทดสอบทุกคนสามารถบ่งบอกความรู้สึกของแต่ละลักษณะบนสเกลใกล้เคียงกัน

6.4.4.4 การทดสอบเชิงพรรณนาสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการการฝึกด้วยทดสอบเชิงพรรณนาข้างต้นนำไปทดสอบต่อในขั้นต่อไป โดยใช้ตัวอย่างที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกในชุดการทดลองที่กำหนดไว้ (นึ่งเนื้อกุ้งด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลา 3 นาทีก่อนทำการทดสอบ โดยผู้ทดสอบ 1 คน ทดสอบเนื้อกุ้ง 2 ตัว ส่วนด้านลักษณะปรากฏให้ผู้ทดสอบดูเนื้อกุ้ง 3 ตัวจากตัวอย่างเดียวกัน) ทำการทดสอบคุณภาพทุก 2 วัน เป็นเวลา 28 วัน

6.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ใช้การวิเคราะห์แบบ General linear model (GLM) โดยกำหนด Factor หรือ Trt (ชุดการทดลอง) 5 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan’s multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

6.6 สถานที่ทำการทดลอง

6.6.1 ห้องปฏิบัติการภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

6.6.2 ห้องปฏิบัติการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

กุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน และเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส ดังนี้

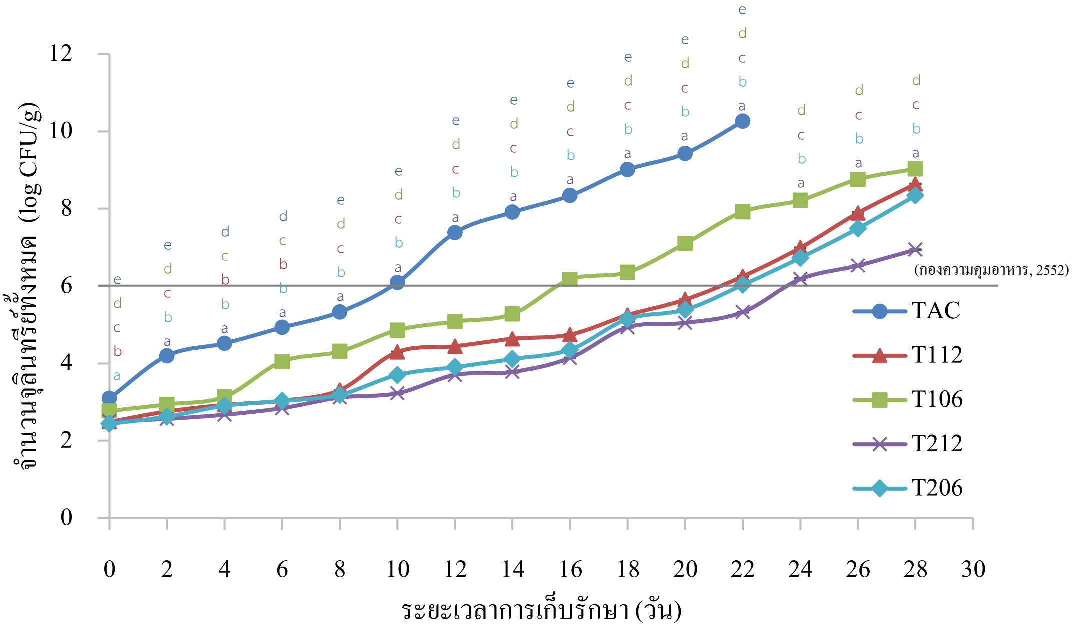
1. คุณภาพทางจุลชีววิทยาของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

1.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งขาวต้มสุก ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาพบว่า TAC, T112, T106, T212 และ T206 มีค่าประมาณ 2.44 - 3.10 log CFU/g และในทุกชุดการทดลองมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ซึ่งในการทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อนนั้นอุณหภูมิที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ทั้งหมดอยู่ที่ 121 องศาเซลเซียส (บุษกร อุตรภิชาติ, 2545) แต่การต้มเนื้อกุ้งในการทดลองครั้งนี้ใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จึงไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด จุลินทรีย์บางส่วนยังสามารถเจริญและทำให้เนื้อกุ้งเกิดการเน่าเสียได้อยู่ สอดคล้องกับ Okpala, Choo, and Dykes (2014) ที่พบว่าในการเก็บรักษากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดด้วยน้ำแข็งมีจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 วัน และ Ahmad et al. (2012) พบว่าเนื้อปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*) ห่อด้วยฟิล์มเจลาตินรวมกับน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นกัน โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาของกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC (วันที่ 22) มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 10.26 log CFU/g และในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (วันที่ 28) ได้แก่ T112 มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 8.64 log CFU/g, T106 เท่ากับ 9.03 log CFU/g, T212 เท่ากับ 6.94 log CFU/g และ T206 เท่ากับ 8.34 log CFU/g (ภาพที่ 4-1)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC ที่ไม่เคลือบสารดังกล่าวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากหมู่ Hydroxyl group (OH) ที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก สามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ เกิดการแตกตัวของไฮโดรเจนอะตอม (H^+) ทำให้ภายในเซลล์ของ

จุลินทรีย์มีสภาวะเป็นกรด โครงสร้างโปรตีนต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ เช่น ดีเอ็นเอและเอนไซม์เกิดการเสียสภาพ ส่งผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2556) สอดคล้องกับ Fereahtian et al. (2014) ที่ศึกษาการใช้ชาเขียวในการเก็บรักษากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่ากุ้งขาวสดที่เคลือบชาเขียวมีการเจริญของจุลินทรีย์น้อยกว่าตัวอย่างควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และ Nirmal and Benjakul (2011b) พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดที่เคลือบชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกร่วมกับการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศก่อนนำไปแช่เย็น มีจุลินทรีย์น้อยกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการใช้ชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกเช่นกัน



ภาพที่ 4-1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.01-0.02)

กุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T212 ที่มีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด (สารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25%) มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นที่มีความเข้มข้นรองลงมา (T106, T112 และ T206) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงกว่าชุดการทดลองอื่น จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์มากตามความเข้มข้น สอดคล้องกับ Fereahtian et al. (2014) ที่พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดแช่เย็น

ที่เก็บรักษาด้วยชาเขียวที่ความเข้มข้นสูงที่สุด (600 ppm) มีการเจริญของจุลินทรีย์น้อยกว่าชุดการทดลองที่มีชาเขียวในความเข้มข้นรองลงมา (200 และ 400 ppm) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และ Nirmal and Benjakul (2012) ที่พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดแช่น้ำแข็งในชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของชาเขียว (GET) และกรดแอสคอร์บิก (AA) สูงที่สุด (0.1% GET + 0.01% AA) มีการเจริญของจุลินทรีย์น้อยกว่าชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นรองลงมา (0.1% GET + 0.005% AA) และยังพบว่าชุดการทดลองที่มีการใช้ชาเขียวร่วมกับกรดแอสคอร์บิกมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าชุดการทดลองที่ใช้ชาเขียวเพียงอย่างเดียว (0.1% GET) ในการเก็บรักษา และเมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษาตามมาตรฐานของกองควบคุมอาหาร (2552) ที่กำหนดให้อาหารทะเลปรุงสุกต้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 6.0 log CFU/g พบว่า T212 สามารถเก็บได้นาน 22 วัน, T206 และ T112 เก็บได้ 20 วัน, T106 เก็บได้ 14 วัน และ TAC ที่เก็บได้เพียง 8 วัน

1.2 จุลินทรีย์ก่อโรค

การปนเปื้อนจุลินทรีย์ก่อโรคเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น การปนเปื้อนจากน้ำในบ่อเลี้ยง อุปกรณ์และการปฏิบัติต่อสัตว์น้ำที่ไม่ถูกสุขลักษณะ การคัดแยกขนาดที่อาจทำให้เกิดบาดแผล การปนเปื้อนของน้ำแข็งที่ใช้สลบกุ้ง ซึ่งสามารถลดปัจจัยการปนเปื้อนดังกล่าวได้จากมาตรฐานฟาร์มเพาะเลี้ยง ในกระบวนการแปรรูปก็สามารถเกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรคได้เช่นกัน หากมีการปฏิบัติต่อสัตว์น้ำแปรรูปที่ไม่ถูกสุขลักษณะ ในการทดลองได้ทำการสวมผ้าปิดปาก ถุงมือ เสื้อกาวน์ รวมถึงการทำความสะอาดภาชนะในการแปรรูปทั้งก่อนและหลังการใช้งานเพื่อลดการปนเปื้อนที่ส่งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ ของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

การตรวจสอบจุลินทรีย์ก่อโรคในกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกครั้งนี้ได้ตรวจ *V. parahaemolyticus* ทุก 2 วัน เป็นเวลา 28 วัน และจุลินทรีย์ก่อโรคได้แก่ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย, *E. coli*, *B. cereus*, *C. perfringens*, *Salmonella* spp. และ *S. aureus* ตรวจเฉพาะวันที่ 0 ของการเก็บรักษา โดยการศึกษาครั้งนี้ตรวจไม่พบ *V. parahaemolyticus* ของกุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนจุลินทรีย์ก่อโรคอื่น ๆ ทั้งโคลิฟอร์มแบคทีเรีย, *E. coli*, *B. cereus*, *C. perfringens*, *Salmonella* spp. และ *S. aureus* พบว่าในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาตรวจไม่พบจุลินทรีย์ก่อโรคดังกล่าวในกุ้งขาวต้มสุกทุกชุดการทดลอง เป็นผลจากอุณหภูมิในการต้มกุ้งขาวที่ 95 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคเหล่านั้นได้ สอดคล้องกับหลายงานวิจัย เช่น Martínez-Alvarez et al. (2009) ที่พบว่ากุ้งตะกาด (*Parapenaeus longirostris*) นึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่ม Enterobacteriaceae เช่น โคลิฟอร์มแบคทีเรีย, *E. coli* และ

Salmonella spp. ได้ รวมถึง Daelman et al. (2013) ที่พบว่าความร้อนที่ 95 องศาเซลเซียส สามารถทำลายเซลล์และสปอร์ *B. cereus* ได้ และ Xi, Liu, and Su (2012) พบว่าสารสกัดจากชาเขียวสามารถยับยั้งการเจริญของ *V. parahaemolyticus* ในหอยนางรม (*C. gigas*) สดได้ อย่างไรก็ตาม หากบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนจุลินทรีย์ก่อโรคเข้าไปอาจทำให้เกิดอาการต่าง ๆ เช่น ปวดหัว เป็นไข้ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องร่วงอย่างรุนแรง เป็นต้น

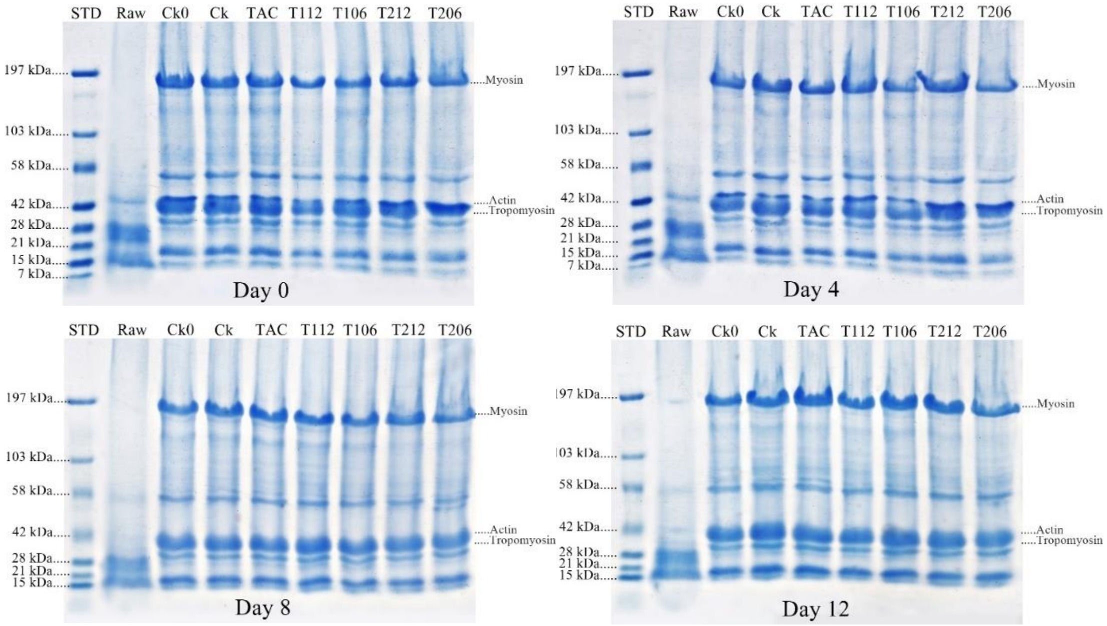
2. คุณภาพทางเคมีของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

2.1 การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลโปรตีน (SDS-PAGE)

SDS-PAGE เป็นเทคนิคการแยกโมเลกุลโปรตีนด้วยกระแสไฟฟ้า โดยโมเลกุลโปรตีนจะจับกับสารละลาย Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) และมีประจุเป็นลบ เมื่อให้กระแสไฟฟ้าโมเลกุลโปรตีนที่มีประจุเป็นลบดังกล่าวจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวกผ่านโครงข่ายตะแกรงสามมิติที่มีลักษณะเป็นรูพรุนของแผ่นเจล Acrylamide ซึ่งโมเลกุลโปรตีนที่มีขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่ช้ากว่าโมเลกุลขนาดเล็ก (Enzmart Biotech, 2017) การวิเคราะห์ SDS-PAGE ของสัตว์น้ำโดยทั่วไปจะทำการวิเคราะห์โมเลกุลโปรตีน Myosin, Actin และ Tropomyosin เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากเป็นโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักของสัตว์น้ำ มีบทบาทในการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเคลื่อนที่ให้ความยืดหยุ่น และอุ้มน้ำได้ดี (สวามินี ธีระวุฒิ, 2555) ซึ่งแถบโปรตีนมาตรฐาน (STD) มีน้ำหนักโมเลกุลโปรตีน Myosin อยู่ที่ 197 kDa แต่ไม่มีน้ำหนักโมเลกุลอื่นที่จะใช้อ้างอิงโปรตีน Actin และ Tropomyosin ได้ จึงเลือกอ้างอิงน้ำหนักโมเลกุลดังกล่าวจากงานวิจัยของ Zhang, Fang, Hao, and Zhang (2018) ที่ศึกษาการเกิดออกซิเดชันของโปรตีนไมโอไฟบริลล่าในกุ้งขาว (*L. vannamei*) ปอกเปลือกแช่แข็งพบว่า น้ำหนักโมเลกุลโปรตีน Actin ในเนื้อกุ้งขาวอยู่ที่ประมาณ 45 kDa และโปรตีน Tropomyosin อยู่ที่ประมาณ 38 kDa จากการวิเคราะห์โมเลกุลโปรตีนของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก เมื่อเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการเคลื่อนที่ของแถบโปรตีนกับค่าลอการิทึมของน้ำหนักโมเลกุลมาตรฐาน (log MW) (Bio-Rad Laboratories, 2004) พบว่า เนื้อกุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลองพบแถบโปรตีน Myosin ที่น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 185-197 kDa แถบโปรตีน Actin ที่น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 43-45 kDa และแถบโปรตีน Tropomyosin ที่น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 36-38 kDa (ภาพที่ 4-2 และภาพที่ 4-3) แสดงว่าในเนื้อกุ้งขาวต้มสุกมีโปรตีน Myosin, Actin และ Tropomyosin

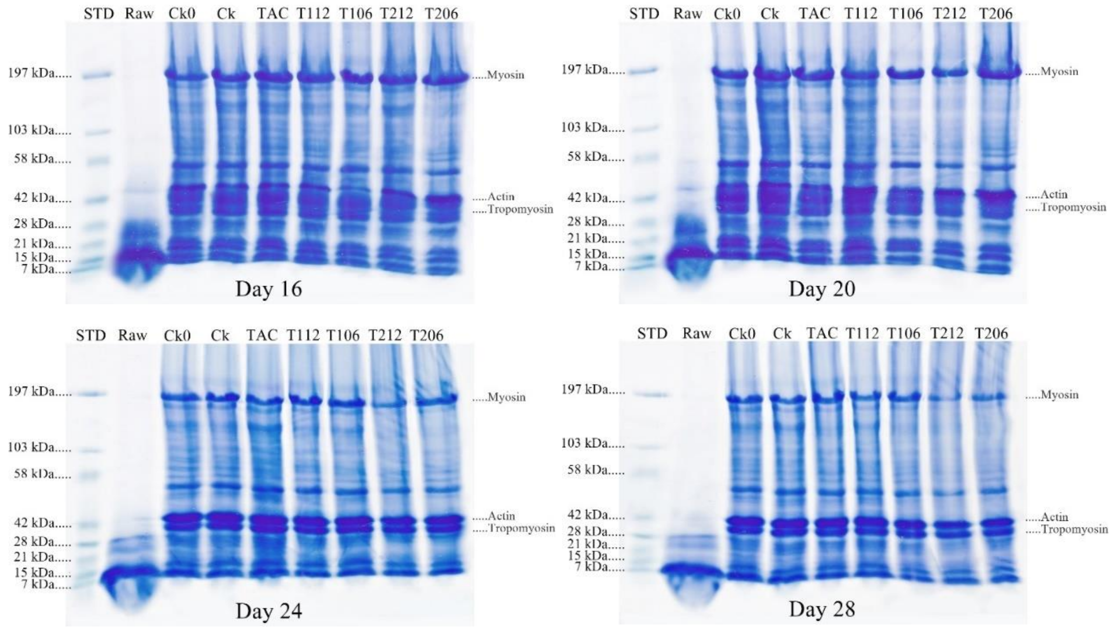
ผลการทดลองพบว่า ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาแถบโปรตีน Myosin, Actin และ Tropomyosin ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกมีลักษณะเข้มและหนา แสดงถึงโมเลกุลโปรตีนในเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่ยังคงสภาพดีและมีปริมาณมาก แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นเนื้อกุ้งเกิดการเน่าเสีย

จุลินทรีย์ย่อยสลายโปรตีนและนำไปใช้ในการเจริญ ทำให้โมเลกุลของโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลง แถบโปรตีน Myosin, Actin และ Tropomyosin จึงมีลักษณะจางและแคบลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา (28 วัน) สอดคล้องกับ Tokur and Korkmaz (2007) พบว่าแถบโปรตีนของปลาซาดีน ปลาโอแถบ ปลาแอนโชวี่ และปลาบลูฟิชสด มีลักษณะจางและแคบลงตลอดระยะเวลาการวิเคราะห์ (0, 1, 3 และ 5 ชั่วโมง) และ Eymard, Baron, and Jacobsen (2009) ที่พบว่าเนื้อปลาทู (*Trachurus trachurus*) บดที่เก็บรักษาในอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีแถบโปรตีนจางและแคบลงหลังจากเก็บรักษาผ่านไป 96 ชั่วโมง


STD Raw Ck0 Ck TAC T112 T106 T212 T206
197 kDa
103 kDa
58 kDa
42 kDa
28 kDa
21 kDa
15 kDa
7 kDa
Myosin
Actin
Tropomyosin
Day 0
STD Raw Ck0 Ck TAC T112 T106 T212 T206
197 kDa
103 kDa
58 kDa
42 kDa
28 kDa
21 kDa
15 kDa
7 kDa
Myosin
Actin
Tropomyosin
Day 4
STD Raw Ck0 Ck TAC T112 T106 T212 T206
197 kDa
103 kDa
58 kDa
42 kDa
28 kDa
21 kDa
15 kDa
Myosin
Actin
Tropomyosin
Day 8
STD Raw Ck0 Ck TAC T112 T106 T212 T206
197 kDa
103 kDa
58 kDa
42 kDa
28 kDa
21 kDa
15 kDa
Myosin
Actin
Tropomyosin
Day 12

ภาพที่ 4-2 การวิเคราะห์ SDS-PAGE ของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน วันที่ 0, 4, 8 และ 12 ของการเก็บรักษา โดยกำหนดให้

STD คือ Prestained Broad Range SDS-PAGE Standards
Raw คือ เนื้อกุ้งขาวสด (ตัวอย่างเดียวกันจนถึงวันสุดท้าย)
Ck0 คือ เนื้อกุ้งขาวต้มสุก (ตัวอย่างเดียวกันจนถึงวันสุดท้าย)
Ck คือ เนื้อกุ้งขาวต้มสุกตามระยะเวลาการเก็บรักษา
TAC คือ เนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารละลายอัลจิเนต 0.002% (control)
T112 คือ เนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%
T106 คือ เนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%
T212 คือ เนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%
T206 คือ เนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%



ภาพที่ 4-3 การวิเคราะห์ SDS-PAGE ของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน วันที่ 16, 20, 24 และ 28 ของการเก็บรักษา โดยกำหนดให้

STD คือ Prestained Broad Range SDS-PAGE Standards
Raw คือ เนื้อกุ้งขาวสด (ตัวอย่างเดียวกันจนถึงวันสุดท้าย)
Ck0 คือ เนื้อกุ้งขาวต้มสุก (ตัวอย่างเดียวกันจนถึงวันสุดท้าย)
Ck คือ เนื้อกุ้งขาวต้มสุกตามระยะเวลาการเก็บรักษา
TAC คือ เนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารละลายอัลจิเนต 0.002% (control)
T112 คือ เนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%
T106 คือ เนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%
T212 คือ เนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%
T206 คือ เนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก มีแถบโปรตีน Myosin, Actin และ Tropomyosin จางและแคบกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีการเคลือบสารดังกล่าว (TAC) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและความเป็นกรดของสารละลายที่ใช้เคลือบเนื้อกุ้ง (T112, T106, T212 และ T206) มีผลทำให้โมเลกุลโปรตีนขาดออกจากกัน (Fragmentation) และมีสภาพไม่สมบูรณ์ การแสดงออกของแถบโปรตีน Myosin, Actin และ Tropomyosin จึงมีลักษณะจางและแคบ หากพิจารณาในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัด

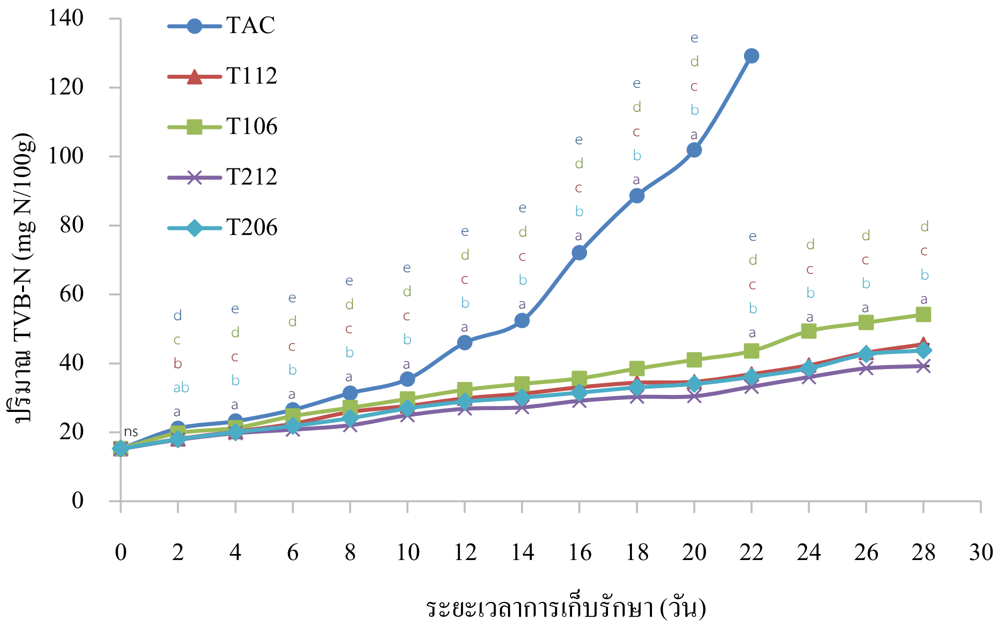
จากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) พบว่าแถบโปรตีน Myosin, Actin และ Tropomyosin ของทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันในวันที่ 0-16 ของการเก็บรักษา แต่วันที่ 20-28 ของการเก็บรักษา แถบโปรตีน Myosin, Actin และ Tropomyosin ของชุดการทดลอง T212 และ T206 มีลักษณะจางและแคบกว่าชุดการทดลอง T112 และ T106 ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 28) พบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T212 มีแถบโปรตีน Myosin, Actin และ Tropomyosin จางและแคบที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและความเป็นกรดของสารละลายที่มากที่สุด (สารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25%) ส่งผลให้โปรตีนเกิดการ Fragmentation และอยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์มากกว่าชุดการทดลองอื่น แถบโปรตีน Myosin, Actin และ Tropomyosin จึงจางและแคบที่สุด สอดคล้องกับ Cao, Ai, True, and Xiong (2018) พบว่าโปรตีนจากเนื้อหมูผสมสาร EGCG ในชาเขียว มีแถบโปรตีน Myosin และ Actin จางและแคบกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีสาร EGCG และยังพบว่าโปรตีนจากเนื้อหมูผสมสาร EGCG ที่ความเข้มข้นสูงที่สุด (1,000 mg/L) มีแถบโปรตีน Myosin และ Actin จางและแคบกว่าชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นรองลงมา (50, 100, 200 และ 500 mg/L)

2.2 ปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N)

ปริมาณ TVB-N ของกุ้งขาวต้มสุกในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาพบว่าในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีค่าระหว่าง 15.17 - 15.25 mg N/100g. ($p > 0.05$) และหลังจากวันที่ 2-28 ของการเก็บรักษาพบว่าปริมาณ TVB-N ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเกิดการย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนโดยจุลินทรีย์ทำให้เกิดเป็นสารประกอบกลุ่ม TVB-N ได้แก่ แอมโมเนีย ไตรเมทธิลเอมีน (TMA) ไดเมทธิลเอมีน (DMA) เมทธิลเอมีน (Methylamine) และสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้เพิ่มขึ้น (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554) สอดคล้องกับ Li et al. (2012b) พบว่าเนื้อปลาทอง (*C. auratus*) ที่ใช้สารโพลีฟีนอลจากชาร่วมกับไคโตซานในการเก็บรักษา มีปริมาณ TVB-N เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และ Okpala et al. (2014) พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดแช่น้ำแข็งมีปริมาณ TVB-N เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษากุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC (วันที่ 22) มีค่าเท่ากับ 129.22 mg N/100g. และวันที่ 28 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการเก็บรักษาของชุดการทดลอง T112 มีค่าเท่ากับ 45.52 mg N/100g., T106 เท่ากับ 54.12 mg N/100g., T212 เท่ากับ 39.23 mg N/100g. และ T206 เท่ากับ 43.72 mg N/100g. (ภาพที่ 4-4)

ผลการทดลองครั้งนี้พบว่า กุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) มีปริมาณ TVB-N น้อยกว่ากุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC เนื่องจากประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากชาเขียว

และกรดแอสคอร์บิก (Hatano et al., 2008) ทำให้การเจริญของจุลินทรีย์ที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นปริมาณ TVB-N เกิดได้น้อยลง สอดคล้องกับ Li et al. (2012b) ที่พบว่าปลาทอง (*C. auratus*) ที่ใช้สารโพลีฟีนอลจากชาร่วมกับไคโตซานในการเก็บรักษามีปริมาณ TVB-N น้อยกว่าชุดการทดลองควบคุม และ Nirmal and Benjakul (2010) ที่พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดเคลือบสารคาเทชินก่อนแช่เย็นมีปริมาณ TVB-N น้อยกว่าชุดการทดลองควบคุม



ภาพที่ 4-4	ปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.00-0.16)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) พบว่าชุดการทดลองที่มีปริมาณ TVB-N ต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาคือ T212 เนื่องจากมีความเข้มข้นของชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงกว่าชุดการทดลองอื่น (T112, T106 และ T206) ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์มีมากตามความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก และเมื่อจุลินทรีย์เจริญได้น้อยลงกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่จะส่งผลต่อปริมาณ TVB-N จึงลดลง ทำให้ปริมาณ TVB-N ของชุดการทดลอง T212 มีปริมาณต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ สอดคล้องกับ Nirmal and Benjakul (2012) ที่พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดแช่น้ำแข็งในชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของชาเขียวและ

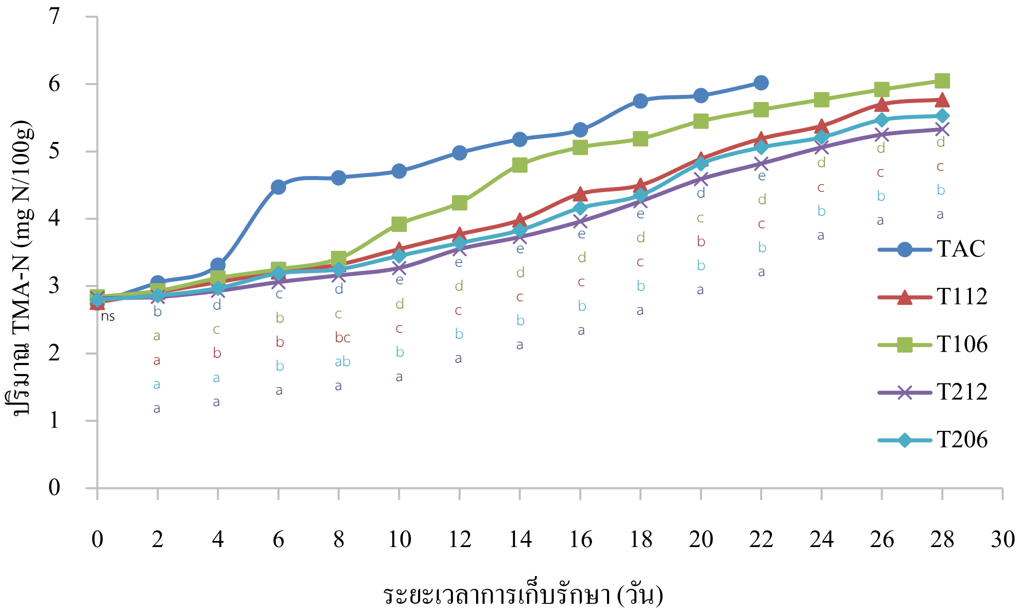
กรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด (0.1% GET + 0.01% AA) มีปริมาณ TVB-N ต่ำกว่าชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นรองลงมา (0.1% GET + 0.005% AA) และ Fereahtian et al. (2014) พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดแช่เย็นในชุดการทดลองที่ใช้ชาเขียวความเข้มข้นสูงที่สุด (600 ppm) มีการเจริญของจุลินทรีย์น้อยกว่าชุดการทดลองที่ใช้ชาเขียวความเข้มข้นรองลงมา (200 และ 400 ppm) แสดงให้เห็นว่าชาเขียวที่มีความเข้มข้นสูงสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุในการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TVB-N ได้ดี ทั้งนี้ปริมาณ TVB-N สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้อายุการเก็บรักษาของสัตว์น้ำได้ โดยสัตว์น้ำแปรรูปที่มีคุณภาพดีควรมีปริมาณ TVB-N ไม่เกิน 35 mg N/100g. (EC, 2005) ซึ่งหากพิจารณาจากค่ามาตรฐานดังกล่าวพบว่า ชุดการทดลองที่มีปริมาณ TVB-N ต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาอย่าง T212 สามารถเก็บได้ 22 วัน รองลงมาได้แก่ T206 และ T112 ที่เก็บได้ 20 วัน และ T106 ซึ่งเก็บได้นาน 14 วัน ในขณะที่ตัวอย่างควบคุม (TAC) เก็บได้เพียง 8 วัน

2.3 ปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N)

ปริมาณ TMA-N ของกุ้งขาวต้มสุกในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาพบว่า ปริมาณ TMA-N ของทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีค่าระหว่าง 2.75 - 2.84 mg N/100g. ($p > 0.05$) และหลังจากวันที่ 2-28 ของการเก็บรักษาพบว่าปริมาณ TMA-N ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากเมื่อเนื้อกุ้งเน่าเสียจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่เหลือจากการต้มกุ้งสร้างเอนไซม์ไตรเมทธิลเอมีนออกซิเดส เปลี่ยนสารไตรเมทธิลเอมีนออกไซด์ไปเป็นไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N) ที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นคาวในสัตว์น้ำ (บุษกร อุตรภิชาติ, 2545) สอดคล้องกับ Zhang, Ma, Deng, Xie, and Qiu (2015) ที่ศึกษาผลของการใช้น้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนร่วมกับการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศในการเก็บรักษากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดแช่แข็งพบว่ามีปริมาณ TMA-N เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และ Feng, Jiang, Wang, and Li (2012) ที่พบว่าเนื้อปลากะพง (*Sparus macrocephalus*) แช่เย็นที่เคลือบสารโพลีฟีนอลจากชาร่วมกับการล้างด้วยน้ำโอโซน มีปริมาณ TMA-N เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นกัน โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาชุดการทดลอง TAC (วันที่ 22) มีค่าเท่ากับ 6.71 mg N/100g และในวันที่ 28 ซึ่งเป็นสุดท้ายของการเก็บรักษาในชุดการทดลอง T112 มีค่าเท่ากับ 5.77 mg N/100g., T106 เท่ากับ 6.05 mg N/100g., T212 เท่ากับ 5.33 mg N/100g. และ T206 เท่ากับ 5.53 mg N/100g. (ภาพที่ 4-5)

จากการศึกษาพบว่ากุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) มีปริมาณ TMA-N น้อยกว่ากุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC ที่ไม่มีการเคลือบสารดังกล่าวตั้งแต่วันที่ 0-28 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก Hydroxyl group (OH) ที่มีอยู่ในโครงสร้างชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีผลในการยับยั้ง

จุลินทรีย์ ทำให้ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์เกิดสภาวะไม่สมดุลจุลินทรีย์จึงไม่สามารถเจริญได้ การสร้างเอนไซม์ทำให้สารไตรเมทธิลเอมีนออกไซด์ (TMAO) ให้เป็นไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N) ของจุลินทรีย์จึงเกิดได้น้อยลง ปริมาณ TMA-N จึงน้อยลงตามไปด้วย สอดคล้องกับ ของ Feng et al. (2012) พบว่าเนื้อปลากะพง (*S. macrocephalus*) แช่เย็นที่เคลือบสารโพลีฟีนอลจากชาร่วมกับการล้างด้วยน้ำโอโซนมีปริมาณ TMA-N น้อยกว่าชุดการทดลองควบคุม และ Dong et al. (2013) ที่ศึกษาผลของการใช้สารโพลีฟีนอลจากชาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหมึก (*Dosidicus gigas*) แห้งปรุงรส พบว่าสารโพลีฟีนอลจากชาสามารถลดการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TMA-N ของหมึกแห้งปรุงรสได้ดีกว่าชุดการทดลองควบคุม



ภาพที่ 4-5 ปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N) ของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.00-0.08)

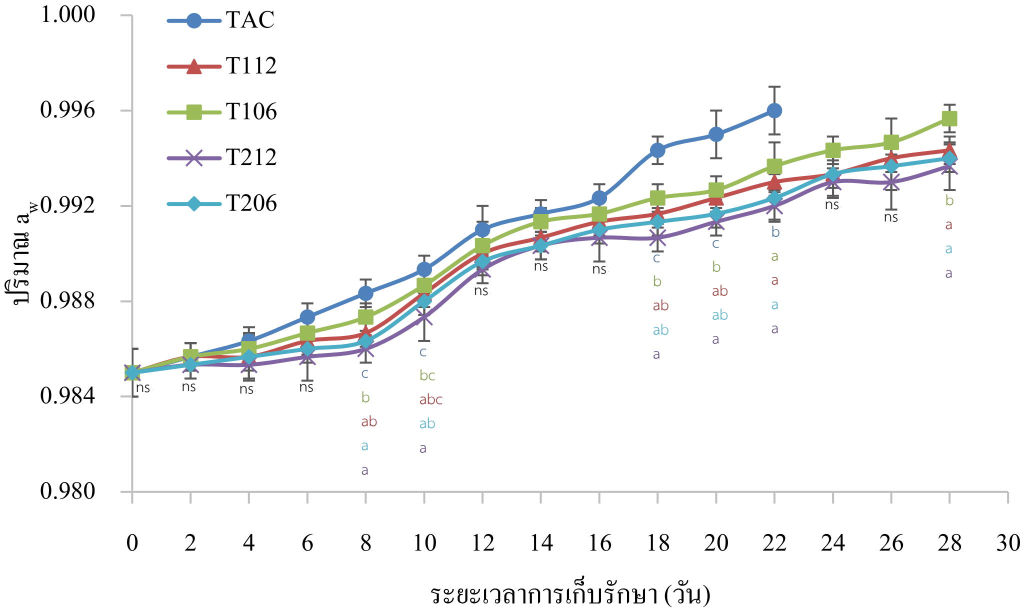
อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T112 และ T206) พบว่าชุดการทดลองที่มีปริมาณ TMA-N ต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาคือ T212 เนื่องจากมีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงกว่าชุดการทดลองอื่น (T112, T106 และ T206) ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์มีมากตามความเข้มข้น และเมื่อการเจริญของจุลินทรีย์ลดลง กิจกรรมของจุลินทรีย์

ที่ส่งผลต่อปริมาณ TMA-N จึงลดลงตามไปด้วย ทำให้ปริมาณ TMA-N ของชุดการทดลอง T212 ต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ สอดคล้องกับ Fereahtian et al. (2014) ที่พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดแช่เย็นที่เก็บรักษาด้วยชาเขียวที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด (600 ppm) มีการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุในการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TMA-N น้อยกว่าชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นชาเขียวรองลงมา (200 และ 400 ppm) และ Nirmal and Benjakul (2012) ที่พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดแช่น้ำแข็งในชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด มีการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุในการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TMA-N น้อยกว่าชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกรองลงมาเช่นกัน โดยทั่วไปสัตว์น้ำแปรรูปที่มีคุณภาพดีควรมีปริมาณ TMA-N ไม่เกิน 5 mg N/100g. (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554) ซึ่งหากพิจารณาจากค่ามาตรฐานดังกล่าวพบว่าชุดการทดลองที่มีปริมาณ TMA-N ต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาอย่างชุดการทดลอง T212 สามารถเก็บได้ 22 วัน รองลงมาได้แก่ T206 และ T112 ที่เก็บได้ 20 วัน และ T106 ซึ่งเก็บได้นาน 14 วัน ในขณะที่ตัวอย่างควบคุม (TAC) เก็บได้เพียง 8 วัน

3. คุณภาพทางกายภาพของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

3.1 ปริมาณ a_w

ปริมาณ a_w หมายถึงปริมาณน้ำอิสระ (Free water) ในอาหารที่มีประโยชน์ต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปจุลินทรีย์ต้องการน้ำปริมาณมากในการเจริญ อาหารแต่ละชนิดจะเสียเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญของจุลินทรีย์ อาหารที่มีปริมาณ a_w ต่ำนั้นเกิดการเน่าเสียได้ยากและสามารถเก็บรักษาได้นาน ต่างจากอาหารที่มีปริมาณ a_w สูงที่เกิดการเน่าเสียได้รวดเร็วและเก็บรักษาได้ในระยะเวลาสั้น ๆ เนื่องจากมีปริมาณน้ำที่มีประโยชน์ต่อการเจริญของจุลินทรีย์มาก (สุมาลี เหลืองสกุล, 2541) ดังนั้นการทราบปริมาณ a_w จึงสามารถใช้ในการบ่งบอกการเน่าเสียของอาหารได้ จากการทดลองพบว่าปริมาณ a_w ของกุ้งขาวต้มสุกทุกชุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.985 ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาและมีปริมาณเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) เนื่องจากกุ้งขาวต้มสุกที่เก็บรักษานานขึ้นจุลินทรีย์เกิดการเพิ่มจำนวนและสร้างเอนไซม์เพื่อย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนของเนื้อกุ้ง โมเลกุลของน้ำที่เคยจับกับโปรตีน (Bound water) ถูกปลดปล่อย ได้เป็นน้ำอิสระ (Free water) ที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์มากขึ้น ก่อให้เกิดการเน่าเสียได้มากขึ้น (สุมาลี เหลืองสกุล, 2541) โดยในวันสุดท้ายของ TAC (วันที่ 22) มีค่าเท่ากับ 0.996 ส่วน T112, T106, T212 และ T206 ที่ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 28) มีค่าเท่ากับ 0.994, 0.996, 0.994 และ 0.994 ตามลำดับ (ภาพที่ 4-6)



ภาพที่ 4-6 ปริมาณ a_w ของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าเท่ากับ 0.006-0.012)

ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณ a_w ในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันโดยกุ้งขาวต้มสุกที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) มีปริมาณ a_w ต่ำกว่า TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากจุลินทรีย์ถูกยับยั้งการเจริญโดยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ทำให้การสลายตัวของโปรตีนเกิดน้อยลง ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนจึงยังมีมาก น้ำถูกปลดปล่อยออกมาได้น้อยส่งผลให้มีปริมาณ a_w ต่ำ ซึ่งจากงานวิจัยของ Nirmal and Benjakul (2010) พบว่ากุ้งขาว *(L. vannamei)* สดเคลือบสารคาเทชินจากชาก่อนนำไปแช่เย็นมีการเจริญของจุลินทรีย์ที่จะส่งผลต่อปริมาณ a_w น้อยกว่าชุดการทดลองควบคุม

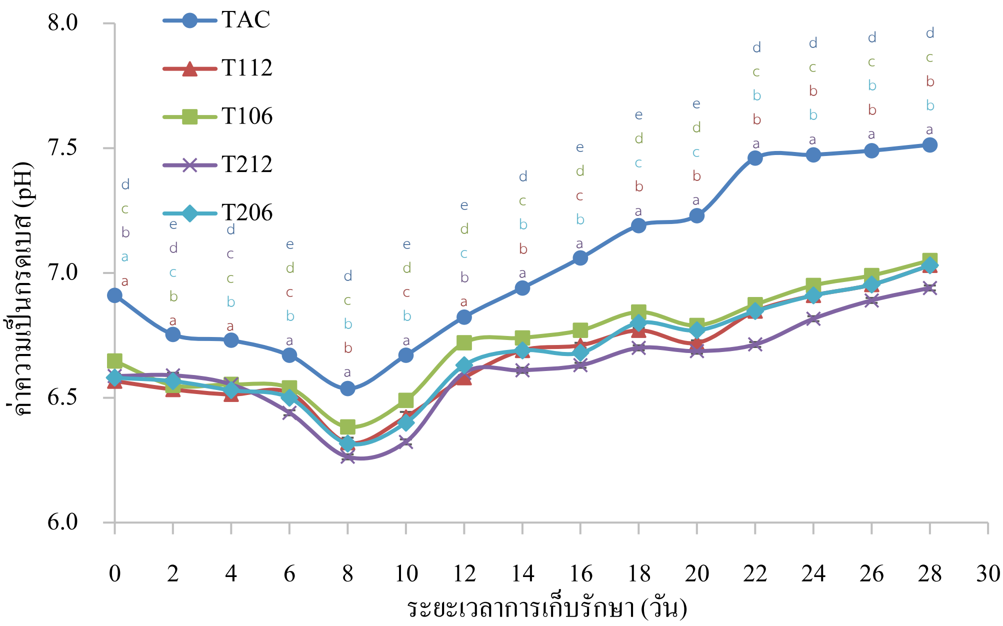
หากพิจารณาชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก พบว่า T212 ที่มีความเข้มข้นของชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุดมีปริมาณ a_w ต่ำกว่า T112, T106 และ T206 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของปริมาณ a_w ได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่นที่มีความเข้มข้นรองลงมา (T112, T106 และ T206) สอดคล้องกับ Nirmal and Benjakul (2012) ที่พบว่าชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด (0.1% GET + 0.01% AA) มีการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่นที่มีความเข้มข้นรองลงมา (0.1% GET + 0.005% AA) ตลอดระยะเวลา

การเก็บรักษา ผลการทดลองสรุปได้ว่ากุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T212 (สารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25%) มีปริมาณ a_w น้อยที่สุดรองลงมาคือ T206, T112, T106 และ TAC ตามลำดับ

3.2 ค่าความเป็นกรดเบส (pH)

จากการทดลองพบว่าวันที่ 0 ของการเก็บรักษากุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีค่า pH ระหว่าง 6.57 - 6.91 จากนั้นค่า pH ลดลงในช่วง 8 วันแรกของการเก็บรักษา เนื่องจากการสลายตัวของไกลโคเจนภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) อย่างต่อเนื่องจนปริมาณไกลโคเจนหมดลงได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดแลคติกสะสมทำให้ค่า pH ของเนื้อกุ้งลดลง ต่อมาในวันที่ 10-28 ของการเก็บรักษา กุ้งขาวต้มสุกเกิดการเน่าเสียอย่างต่อเนื่องโดยเกิดการสลายตัวของสารประกอบไนโตรเจนที่มีสมบัติเป็นเบส (TVB-N) ส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้น โดยวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 28) กุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC มีค่า pH เท่ากับ 7.51, T112 เท่ากับ 7.03, T106 เท่ากับ 7.05, T212 เท่ากับ 6.94 และ T206 เท่ากับ 7.03 ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 4-7) สอดคล้องกับ Li et al. (2012b) ที่พบว่าเนื้อปลาทอง (*C. auratus*) แช่เย็นที่เก็บรักษาโดยการใช้สารโพลีฟีนอลจากชาร่วมกับไคโตซาน มีค่า pH ลดลงในช่วง 10 วันแรกของการเก็บรักษา จากนั้นจึงเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และ Nirmal and Benjakul (2009) ได้ศึกษาการใช้กรดเฟอรูริกในการเก็บรักษากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดด้วยน้ำแข็ง พบว่าค่า pH มีการเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นกัน

กุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีค่า pH ต่ำกว่า TAC เนื่องจากประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ทำลายโครงสร้างโปรตีนต่าง ๆ ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ เช่น ดีเอ็นเอและเอนไซม์ ทำให้การเจริญของจุลินทรีย์ถูกชะลอหรือทำให้จุลินทรีย์ตาย (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2556) เมื่อการเจริญของจุลินทรีย์ลดลงการสร้างสาร TVB-N จึงเกิดขึ้นได้น้อยลง ค่า pH ของชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 จึงมีค่าต่ำกว่าชุดการทดลอง TAC โดยจากงานวิจัย Feng et al. (2012) ที่พบว่าเนื้อปลากะพง (*S. macrocephalus*) ที่เคลือบสารละลายโพลีฟีนอลจากชาร่วมกับการล้างด้วยน้ำโอโซนมีค่า pH น้อยกว่าชุดการทดลองอื่นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และ Li et al. (2012a) ที่พบว่าสารโพลีฟีนอลจากชาร่วมกับไคโตซานสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในการเก็บรักษาปลาจวดเหลือง (*P. crocea*) ได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่นเช่นกัน



ภาพที่ 4-7 ค่าความเป็นกรดเบสของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.00-0.02)

ทั้งนี้พบว่ากุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกในชุดการทดลอง T212 มีค่า pH น้อยกว่า T112, T106 และ T206 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากมีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด ทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของ T212 มีมากตามความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ความสามารถในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียจึงมีมากกว่า ค่า pH ของ T212 จึงน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น (T112, T106 และ T206) สอดคล้องกับ Nirmal and Benjakul (2012) ที่พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดแช่น้ำแข็งในชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของชาเขียว (GET) และกรดแอสคอร์บิก (AA) สูงที่สุด (0.1% GET + 0.01% AA) มีค่า pH น้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และ Nirmal and Benjakul (2011b) ที่พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดแช่เย็นที่ใช้ชาเขียว (GET) และกรดแอสคอร์บิก (AA) ร่วมกับการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ (MAP) (GET+AA+MAP) มีค่า pH น้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่มีการใช้ GET+MAP เพียงอย่างเดียว

อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในชุดการทดลองที่เคลือบและไม่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกพบว่า มีค่าแตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 0 ของการ

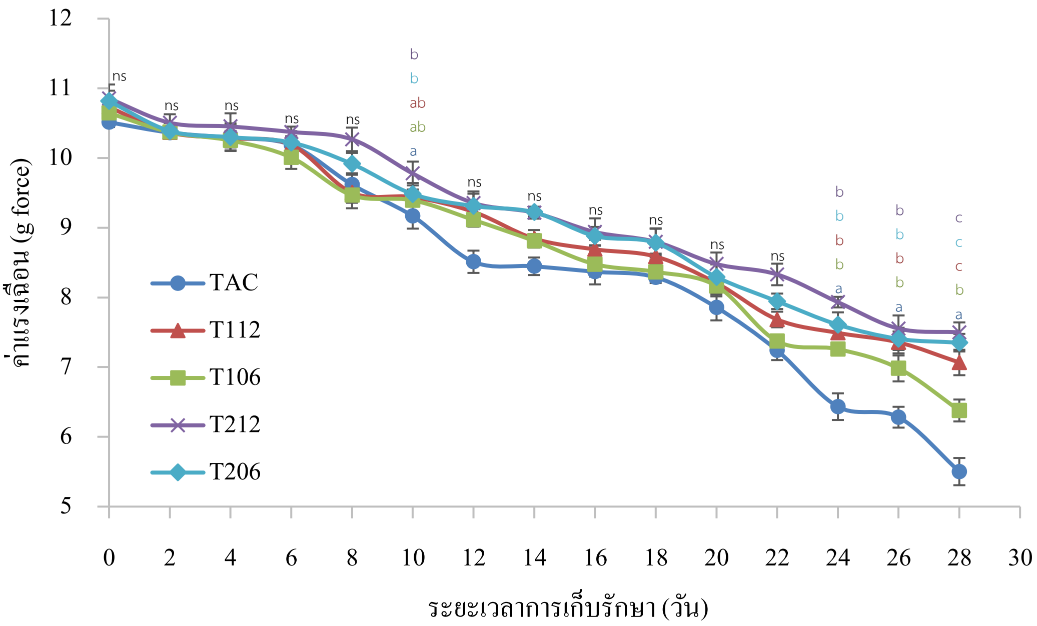
เก็บรักษา โดยค่า pH ของชุดการทดลอง TAC เท่ากับ 6.91 ต่างจากชุดการทดลองที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) ที่มีค่า pH ประมาณ 6.57 - 6.65 ซึ่งความต่างนี้เกิดจากสภาวะความเป็นกรดของสารละลายที่ใช้เคลือบเนื้อกุ้งทำให้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาค่า pH ของชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีค่าความเป็นกรดสูงกว่าชุดการทดลอง TAC แต่เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในวันที่ 0-28 ของการเก็บรักษาพบว่าชุดการทดลอง TAC มีการเพิ่มขึ้นสูงกว่าชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 โดยชุดการทดลอง TAC เพิ่มขึ้น 0.60 (ค่า pH วันที่ 0 เท่ากับ 6.91 วันที่ 28 เท่ากับ 7.51) แต่ในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกได้แก่ T112 เพิ่มขึ้น 0.46, T106 เพิ่มขึ้น 0.40, T212 เพิ่มขึ้น 0.35 และ T206 เพิ่มขึ้น 0.45 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชุดการทดลอง TAC เกิดการเน่าเสียมากกว่าชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 เนื่องจากมีอัตราเพิ่มขึ้นของค่า pH สูงกว่า (ความเป็นเบสสูง) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกในชุดการทดลอง T212 สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลง pH ของกุ้งขาวต้มสุกได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ T206, T112, T106 และ TAC ตามลำดับ

3.3 ค่าแรงเฉือน

โดยทั่วไปค่าแรงเฉือนของกุ้งขาวต้มสุกนั้นมีการลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งเกิดจากในช่วงต้นของการเก็บรักษาโครงสร้างต่าง ๆ ของกล้ามเนื้อยังแข็งแรง โปรตีนยังคงสภาพดีและมีความยืดหยุ่นสูง ทำให้เมื่อวัดค่าแรงเฉือนจึงมีค่าแรงเฉือนมีมาก แต่เมื่อเกิดการเน่าเสีย เอนไซม์ของจุลินทรีย์ถูกปล่อยออกมาย่อยสลายโปรตีนทำให้กล้ามเนื้อเริ่มอ่อนตัวลง ส่งผลต่อค่าแรงเฉือนที่วัดได้มีค่าน้อยลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา (สุมาลี เหลืองสกุล, 2541) ผลการศึกษาค่าแรงเฉือนของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกพบว่า ค่าแรงเฉือนของทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยในวันที่ 0 ค่าแรงเฉือนมีค่าระหว่าง 10.53 - 10.92 g force และมีค่าแรงเฉือนลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Imran, Chawalit, and Somrote (2013) ที่ศึกษาคุณภาพของกุ้งขาว (*L. vannamei*) แช่แข็งพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นเนื้อกุ้งมีค่าแรงเฉือนลดลง ในวันสุดท้าย (วันที่ 28) ของการเก็บรักษา พบว่าค่าแรงเฉือนของชุดการทดลอง TAC มีค่าเท่ากับ 5.56 g force, T106 มีค่าเท่ากับ 6.38 g force, T112 มีค่าเท่ากับ 7.04 g force, T206 มีค่าเท่ากับ 7.31 g force และ T212 มีค่าเท่ากับ 7.50 g force (ภาพที่ 4-8)

เนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีค่าแรงเฉือนสูงกว่าชุดการทดลอง TAC เนื่องจากประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีผลทำให้จุลินทรีย์เจริญ

ได้น้อยลง การย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์เกิดน้อย การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนจึงเกิดขึ้นได้ช้าลง สอดคล้องกับ Li et al. (2012b) พบว่าเนื้อปลาทอง (*C. auratus*) ที่เคลือบสารโพลีฟีนอลจากชาร่วมกับไคโตซานมีค่าแรงเฉือนลดลงช้ากว่าตัวอย่างควบคุม และ Feng et al. (2012) พบว่าเนื้อปลากะพง (*S. macrocephalus*) ที่เคลือบสารโพลีฟีนอลจากชาร่วมกับการล้างด้วยน้ำโอโซน มีค่าแรงเฉือนลดลงช้ากว่าตัวอย่างควบคุมเช่นกัน



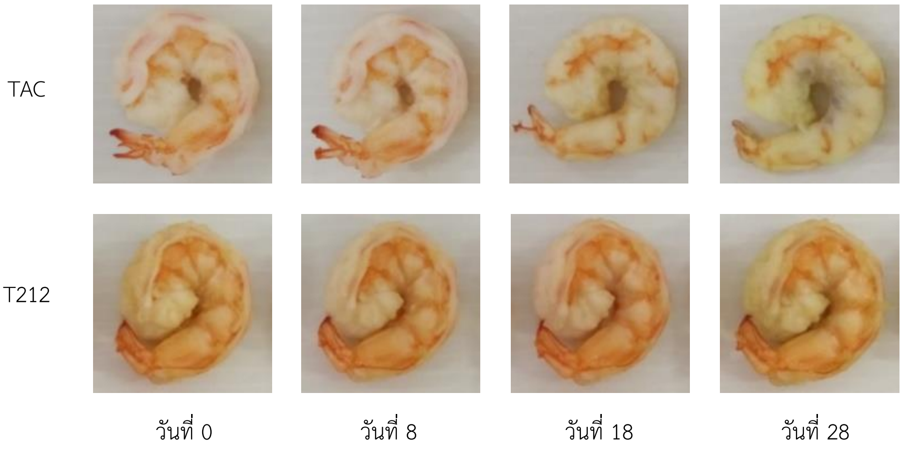
ภาพที่ 4-8 ค่าแรงเฉือนของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.01-0.20)

กุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกในชุดการทดลอง T212 มีค่าแรงเฉือนสูงกว่าชุดการทดลอง T112, T106 และ T206 เนื่องจากความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกในชุดการทดลอง T212 สูงกว่าชุดการทดลองอื่น ทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ส่งผลต่อค่าแรงเฉือนของชุดการทดลอง T212 มีมากตามความเข้มข้น สอดคล้องกับ Nirmal and Benjakul (2010) ที่พบว่ากุ้งขาว *(L. vannamei)* สดเคลือบสารคาเทชินก่อนนำไปแช่เย็นในชุดการทดลองที่คาเทชินเข้มข้นสูงที่สุด (0.2%) มีการเจริญของจุลินทรีย์ที่ส่งผลต่อค่าแรงเฉือนน้อยกว่าชุดการทดลองที่ความเข้มข้มรองลงมา (0.05% และ 0.1%) และ Fereahtian et al. (2014) ที่พบว่าชาเขียวที่ความเข้มข้นสูงที่สุด (600 ppm) สามารถยับยั้งการเจริญ

ของจุลินทรีย์ที่ส่งผลต่อการลดลงของค่าแรงเฉือนได้ดีกว่าชุดการทดลองที่มีเข้มข้นรองลงมา (200 และ 400 ppm) ทั้งนี้พบว่าชุดการทดลอง T212 ที่มีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุดมีค่าแรงเฉือนมากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา รองลงมาคือ T206, T112, T106 และ TAC ตามลำดับ

3.4 ค่าสี (L, a* และ b*)*

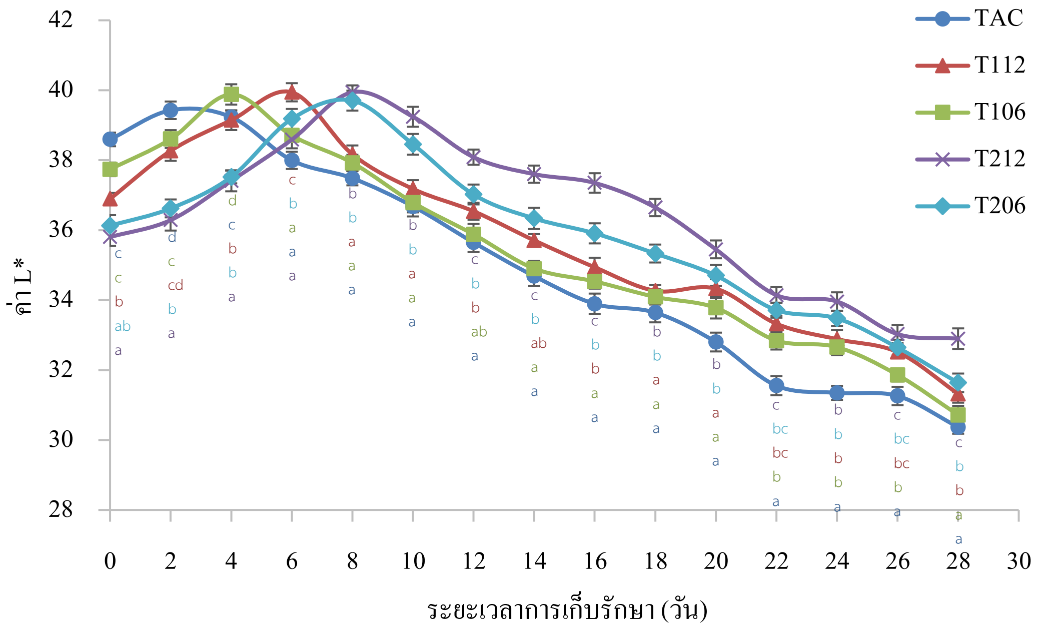
ผลทดลองพบว่า เนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลองที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) มีสีคล้ำกว่าชุดการทดลอง TAC เนื่องจากสีของสารสกัดจากชาเขียวทำให้เนื้อกุ้งมีสีขาวอมเหลือง (ภาพที่ 4-9) ต่อมาเมื่อเนื้อกุ้งเกิดการเน่าเสียจุลินทรีย์ย่อยสลายโปรตีนทำให้น้ำที่เคยจับกับโปรตีนถูกปลดปล่อยออกมาชะล้างสีของสารสกัดจากชาเขียวที่เคลือบเนื้อกุ้ง ทำให้เนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T212 มีสีขาวมากขึ้น และวันที่ 18 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 28) พบว่า เนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC ที่มีสีคล้ำกว่าชุดการทดลอง T212



ภาพที่ 4-9 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC และ T212 วันที่ 0, 8, 18 และ 28 ของการเก็บรักษา

3.4.1 ค่า L* คือค่าความสว่างของสี มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยถ้าค่า L* มากแสดงว่าสีสว่างมากและถ้าค่า L* เท่ากับ 0 เป็นสีดำ หากค่ามีแนวโน้มลดต่ำลงแสดงว่าสัตว์น้ำเกิดการเน่าเสีย (Young & Whittle, 1985) ผลการทดลองพบว่า ในวันที่ 0 ของทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีค่า L* ระหว่าง 35.61 - 38.42 จากนั้นชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีค่า L* เพิ่มขึ้น โดยชุดการทดลอง T106 มีค่า L* เพิ่มขึ้นในวันที่ 0-4 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นค่า L* มีค่าลดลงจนถึงวันที่ 28 ของการเก็บรักษา ส่วน

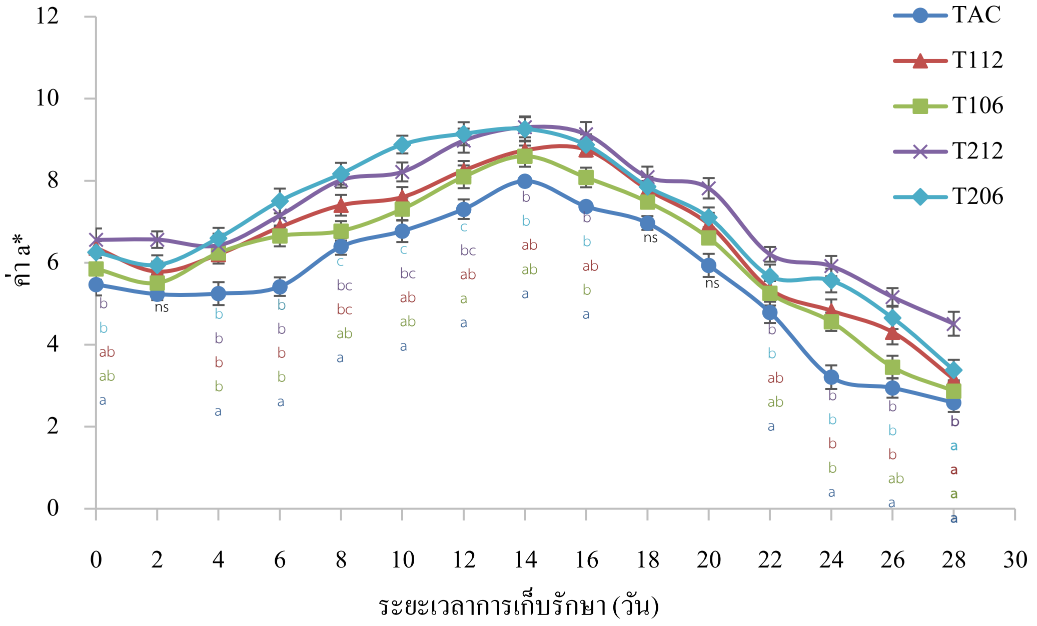
ชุดการทดลอง T112 มีค่า L* เพิ่มขึ้นในวันที่ 0-6 ของการเก็บรักษา จากนั้นค่า L* มีค่าลดลงจนถึงวันที่ 28 ของการเก็บรักษาเช่นกัน และในชุดการทดลอง T212 และ T206 มีค่า L* เพิ่มขึ้นในวันที่ 0-8 ของการเก็บรักษา และจากนั้นค่า L* มีค่าลดลงจนถึงวันที่ 28 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 28) กุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC มีค่า L* น้อยที่สุดเท่ากับ 30.56 รองลงมาคือ T106 เท่ากับ 30.98, T112 เท่ากับ 31.70, T206 เท่ากับ 31.89 และ T212 เท่ากับ 33.12 ตามลำดับ (ภาพที่ 4-10)



ภาพที่ 4-10 ค่า L* ของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.13-0.30)

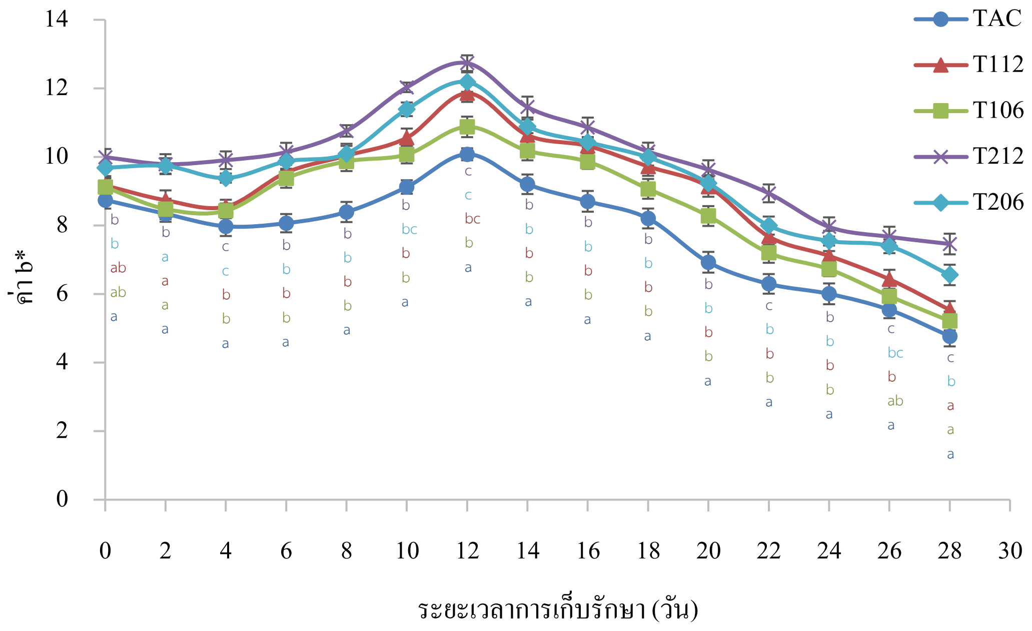
3.4.2 ค่า a* คือค่าแสดงระดับสีแดง-เขียว เมื่อค่า a* มีค่าบวกแสดงถึงลักษณะสีแดงและเมื่อค่าเป็นลบแสดงถึงลักษณะสีคล้ำเข้มไปทางสีเขียว หากแนวโน้มของค่าที่ลดต่ำลงแสดงว่าสีเข้าใกล้สีเขียว ซึ่งแสดงว่าสัตว์น้ำเริ่มมีการเน่าเสีย (Young & Whittle, 1985) ผลการทดลองพบว่าในวันที่ 0 ของการเก็บรักษากุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีค่าระหว่าง 5.40 - 6.94 จากนั้นค่า a* มีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 0-14 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นค่า a* มีค่าลดลงจนถึงวันที่ 28 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา

กุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC มีค่า a* น้อยที่สุดเท่ากับ 2.81 รองลงมาคือ T106 เท่ากับ 3.09, T112 เท่ากับ 3.17, T206 เท่ากับ 3.33 และ T212 เท่ากับ 4.35 ตามลำดับ (ภาพที่ 4-11)



ภาพที่ 4-11 ค่า a* ของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.13-0.30)

3.4.3 ค่า b* คือค่าแสดงระดับสีเหลือง-น้ำเงิน เมื่อค่า b* มีค่าบวกแสดงถึงลักษณะสีเหลืองและเมื่อค่าเป็นลบแสดงถึงลักษณะสีคล้ำเข้มไปทางสีน้ำเงิน โดยเมื่อค่าห่างจาก 0 มากแสดงถึงค่าสีเหลืองหรือห่างจากสีน้ำเงินมากขึ้น (Young & Whittle, 1985) จากการศึกษาค่า b* ของกุ้งขาวต้มสุกพบว่า ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษากุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีค่าเท่ากับ 8.60 - 9.87 จากนั้นค่า b* มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 12 วันแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นค่า b* มีค่าลดลงวันที่ 28 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา กุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC มีค่า b* น้อยที่สุดเท่ากับ 4.91 รองลงมาคือ T106 เท่ากับ 5.53, T112 เท่ากับ 5.57, T206 เท่ากับ 6.57 และ T212 เท่ากับ 7.43 ตามลำดับ (ภาพที่ 4-12)



ภาพที่ 4-12 ค่า b* ของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.13-0.30)

ผลการทดลองพบว่าค่าสี (L*, a* และ b*) ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีการเปลี่ยนแปลง 2 ช่วงคือ ช่วงแรกที่มีการเพิ่มขึ้น โดยค่า L* เพิ่มขึ้นในช่วง 8 วันแรกของการเก็บรักษา ค่า a* เพิ่มขึ้นในช่วง 14 วันแรกของการเก็บรักษา และค่า b* เพิ่มขึ้นในช่วง 12 วันแรกของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างทองแดงของฮีโมไซยานินในเนื้อกุ้งกับออกซิเจนในอากาศ มีผลทำให้จุดสีส้มของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเข้มขึ้น (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554) ช่วงต่อมาที่มีการลดลงของค่าสี โดยหลังจากวันที่ 8 ของค่า L* หลังวันที่ 14 ของค่า a* และหลังวันที่ 12 ของค่า b* พบว่าค่าสีของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ที่มีในเนื้อกุ้ง เปลี่ยนสีของเนื้อกุ้งเป็นสีครีมหรือเทา (Potter & Hotchkis, 1995) สอดคล้องกับ Martínez-Alvarez et al. (2009) ที่พบว่ากุ้งตะกาด (*P. longirostris*) นึ่งสุก มีการของค่า L* และ a* เพิ่มขึ้นในช่วง 7 วันแรกของการเก็บรักษาและมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และ Zhang et al. (2015) พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดแช่แข็งที่เก็บรักษาด้วยน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนร่วมกับการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศมีการลดลงของค่า L* และ a* ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นกัน

แม้ว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a* และ b*) ของกุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลองเหมือนกัน แต่พบว่ากุ้งขาวต้มสุกที่เคลือบสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีค่า a* และ b* สูงกว่าชุดการทดลอง TAC เนื่องจากสีของสารสกัดจากชาเขียวที่ส่งผลให้เนื้อกุ้งมีสีขาวอมเหลือง เมื่อทำการวัดค่าสีทำให้ชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีค่าสีสูงกว่าชุดการทดลอง TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนค่า L* พบว่าสีของสารสกัดจากชาเขียวดังกล่าวส่งผลต่อค่า L* ในช่วง 8 วันแรกของการเก็บรักษาเท่านั้น เพราะหลังจากที่เนื้อกุ้งเกิดการเน่าเสียมากขึ้น จุลินทรีย์ย่อยสลายโปรตีนทำให้น้ำที่เคยจับกับโปรตีนถูกปลดปล่อยออกมาชะล้างสีของสารสกัดจากชาเขียว ทำให้เนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีสีขาวมากขึ้น ร่วมกับเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC ที่เกิดการเน่าเสียมากกว่าทำให้มีสีคล้ำกว่าชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ตั้งแต่วันที่ 10-28 ของการเก็บรักษา ทั้งนี้ความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวยังส่งผลต่อเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวความเข้มข้นสูงได้แก่ T212 และ T206 (สารสกัดจากชาเขียว 2.5%) ที่พบว่ามีค่าสี (L*, a*และ b*) สูงกว่า T112, T106 ที่มีความเข้มข้นรองลงมา เนื่องจากสีน้ำตาลของสารสกัดจากชาเขียวทำให้เนื้อกุ้งมีสีขาวอมเหลืองเข้มกว่าชุดการทดลอง T112 และ T106 และผลดังกล่าวเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

4. การพัฒนาคำศัพท์เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

ผู้ทดสอบจำนวน 10 คนที่ผ่านการฝึกแล้วมาทดสอบเนื้อกุ้งขาวต้มสุกทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกในวันที่ 0 และ 8 ของการเก็บรักษา (เก็บเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส) ให้ผู้ทดสอบเขียนคำศัพท์อธิบายความรู้สึกโดยแยกลักษณะที่ทดสอบได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส และรวบรวมคำศัพท์ที่ใช้บ่งบอกลักษณะต่าง ๆ ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่สดและไม่สด (ตารางที่ 4-1) ได้แก่

4.1 ลักษณะปรากฏ ประกอบด้วยคำศัพท์ 4 ลักษณะได้แก่ 1) แถบสีส้มบนผิวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก 2) สีของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก 3) ความมันเงาบนผิวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก และ 4) ความเป็นเมือกบนผิวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

4.2 ลักษณะด้านกลิ่น ประกอบด้วยคำศัพท์ 4 ลักษณะได้แก่ 1) กลิ่นกุ้งต้มของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก 2) กลิ่นคาวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก 3) กลิ่นเปรี้ยวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก และ 4) กลิ่นชาเขียวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

4.3 ลักษณะด้านรสชาติ ประกอบด้วยคำศัพท์ 4 ลักษณะได้แก่ 1) รสหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก 2) รสขมของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก 3) รสเปรี้ยวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก และ 4) รสอร่อยของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

4.4 ลักษณะด้านกลิ่นรส ประกอบด้วยคำศัพท์ 2 ลักษณะได้แก่ 1) กลิ่นรสหอมหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก และ 2) กลิ่นรสคาวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

4.5 ลักษณะด้านเนื้อสัมผัส ประกอบด้วยคำศัพท์ 2 ลักษณะได้แก่ 1) ความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก และ 2) ความฉ่ำน้ำของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

ตารางที่ 4-1 คำศัพท์ที่ใช้บ่งบอกความรู้สึกตามลักษณะต่าง ๆ ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบและไม่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

ลักษณะ	**ไม่เคลือบ**		**เคลือบ**	
	สด	ไม่สด	สด	ไม่สด
ลักษณะปรากฏ	- แถบสีส้มสด - เนื้อสีขาวมาก - มันเงามาก	- แถบสีส้มจาง - เนื้อสีขาวคล้ำ - มันเงาน้อย - เป็นเมือกเล็กน้อย	- แถบสีส้มคล้ำ - เนื้อสีขาวคล้ำ - ผิวด้านไม่มันเงา	- แถบสีส้มจาง - เนื้อสีขาวคล้ำ - ผิวด้านไม่มันเงา - เป็นเมือกเล็กน้อย
กลิ่น	- กลิ่นกุ้งต้มมาก	- กลิ่นกุ้งต้มน้อย - กลิ่นเหม็นเปรี้ยว - กลิ่นคาว	- กลิ่นกุ้งต้มมาก - กลิ่นชาเขียว	- กลิ่นกุ้งต้มน้อย - กลิ่นเหม็นเปรี้ยว - กลิ่นคาว
รสชาติ	- รสหวานมาก - รสอร่อย	- รสจืด - รสหวานน้อย	- รสหวานมาก - รสขม - รสเปรี้ยว	- รสหวานน้อย - รสจืด
กลิ่นรส	- กลิ่นรสหอมหวานมาก	- กลิ่นรสหอมหวานน้อย - กลิ่นรสคาว	- กลิ่นรสหอมหวานมาก	- กลิ่นรสหอมหวานน้อย - กลิ่นรสคาว
เนื้อสัมผัส	- ยืดหยุ่นมาก - ฉ่ำน้ำมาก	- ยืดหยุ่นน้อย - ฉ่ำน้ำน้อย	- ยืดหยุ่นมาก - ฉ่ำน้ำมาก	- ยืดหยุ่นน้อย - ฉ่ำน้ำน้อย

5. คุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

5.1 ลักษณะด้านลักษณะปรากฏ

การประเมินการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกตามคำศัพท์ที่พัฒนาได้จากผลการทดลองในข้อที่ 4 กำหนดคำศัพท์ลงบนสเกลแบบทดสอบเชิงพรรณนาที่มีความยาว 12 เซนติเมตร โดยพิจารณาสเกลแยกกันในแต่ละคำศัพท์และให้คะแนนบนสเกลตามความรู้สึกของผู้ทดสอบในลักษณะปรากฏทั้ง 4 ได้แก่ 1) แถบสีส้มบนผิวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก 2) สีของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก 3) ความมันเงาบนผิวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก และ 4) ความเป็นเมือกบนผิวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

5.1.1 แถบสีส้มบนผิวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

แถบสีส้มบนผิวของเนื้อกุ้งกำหนดให้ 0 คือมีสีขาวและ 10 คือมีสีส้มพบว่า ผู้ทดสอบประเมินให้แถบสีส้มบนผิวของเนื้อกุ้งในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112,T106, T212 และ T206) มีสีจางลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ผลการทดสอบพบว่าชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก มีแถบสีส้มบนผิวของเนื้อกุ้งจางกว่าชุดการทดลอง TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นผลจากสีน้ำตาลของสารสกัดจากชาเขียวที่ใช้เคลือบเนื้อกุ้ง ทำให้เนื้อกุ้งมีสีคล้ำแถบสีส้มที่ควรเห็นได้ชัดเจนดูจางลง ทั้งยังทำให้ชุดการทดลองที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวที่ความเข้มข้นสูงได้แก่ T212 และ T206 มีแถบสีส้มจางกว่าชุดการทดลอง T112 และ T106 ที่ความเข้มข้นรองลงมา ถึงแม้ในช่วง 12 วันแรกของการเก็บรักษาชุดการทดลอง T212 มีแถบสีส้มจางกว่าชุดการทดลองอื่น แต่กลับมีแถบสีส้มเข้มกว่าชุดการทดลอง T206 และ T112 หลังจากวันที่ 20 ของการเก็บรักษา เนื่องจากชุดการทดลอง T212 มีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงกว่าชุดการทดลอง T206 และ T112 ทำให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่มีผลต่อการจางลงของแถบสีส้มได้มากกว่า และมีแถบสีส้มบนผิวของเนื้อกุ้งเข้มกว่าจนวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 4-13)

5.1.2 สีของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

สีของเนื้อกุ้งที่มีระดับ 0 คือสีขาว ถึง 10 คือสีน้ำตาล พบว่าผู้ทดสอบประเมินให้ระดับสีของเนื้อกุ้งเข้มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) ($p \leq 0.05$) และยังพบว่าในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) มีระดับสีของเนื้อกุ้งเข้มกว่า TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นผลจากสีน้ำตาลของสารสกัดจากชาเขียวทำให้เนื้อกุ้งมีสีขาว

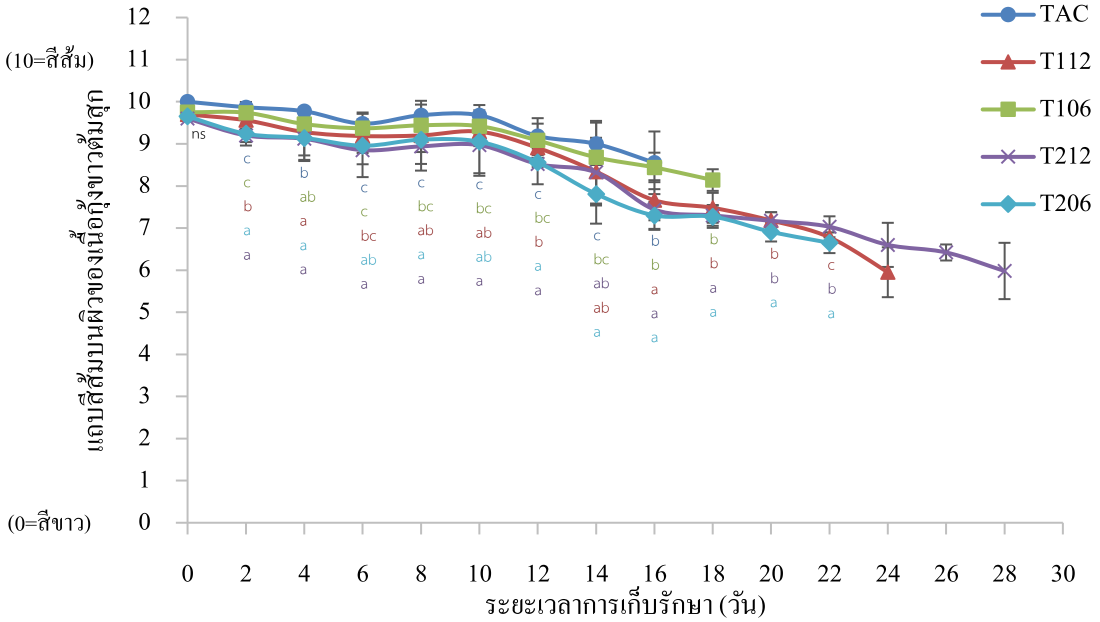
อมเหลือง ทั้งยังส่งผลให้เนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T212 และ T206 ที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวที่ความเข้มข้นสูงที่สุดมีสีขาวอมเหลืองเข้มกว่าชุดการทดลอง T112 และ T106 ที่ความเข้มข้นรองลงมา ($p \leq 0.05$) ในช่วง 10 วันแรกของการเก็บรักษาพบว่าชุดการทดลอง T212 มีระดับสีของเนื้อกุ้งเข้มกว่าชุดการทดลองอื่น จากนั้นตั้งแต่วันที่ 12-28 ของการเก็บรักษาสีของเนื้อกุ้งในชุดการทดลอง T206 มีระดับเข้มกว่าชุดการทดลอง T212 เนื่องจากประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อกุ้งมีน้อยกว่าชุดการทดลอง T212 ตามความเข้มข้นที่ต่ำกว่า และมีสีเข้มกว่า T212 จนวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 4-14)

5.1.3 ความมันเงาบนผิวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

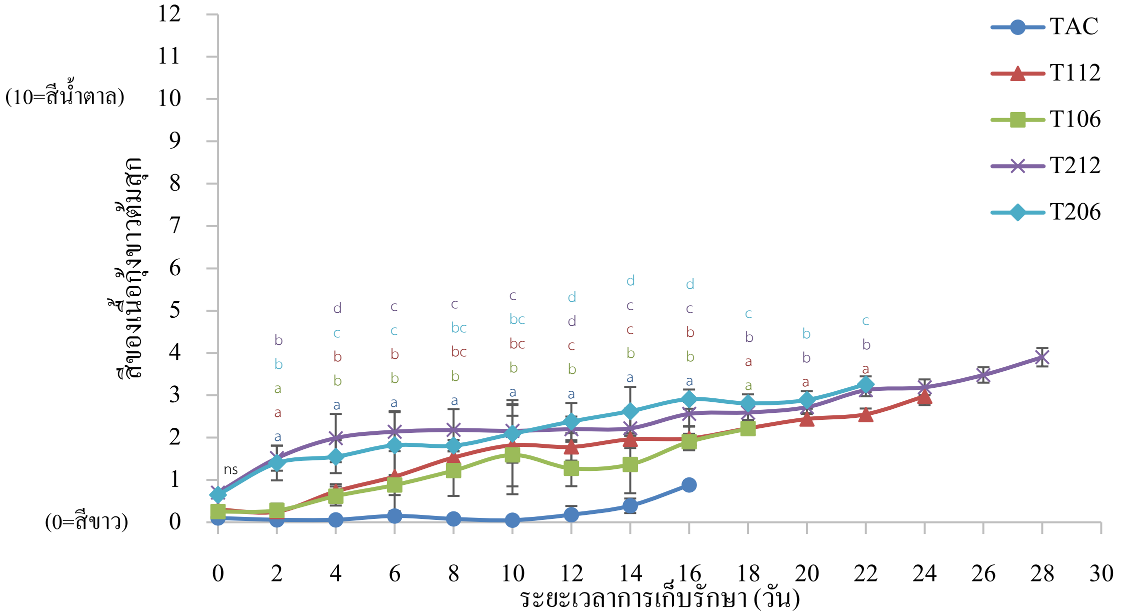
ความมันเงาบนผิวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่มีระดับ 0 คือด้าน ถึง 10 คือมันเงา พบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) ผู้ทดสอบประเมินให้มีระดับความมันเงาลดลงตามระยะเวลา ($p \leq 0.05$) โดยในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีระดับความมันเงาบนผิวของเนื้อกุ้งน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) เนื่องจากสารสกัดจากชาเขียวและสภาวะความเป็นกรดของสารละลายที่ใช้เคลือบเนื้อกุ้งที่มีผลทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ เนื้อกุ้งจึงมีลักษณะแห้งไม่มันเงา ผลดังกล่าวยังทำให้ชุดการทดลองที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวที่มีความเข้มข้นสูงได้แก่ชุดการทดลอง T212 และ T206 มีความมันเงาบนผิวของเนื้อกุ้งน้อยกว่าชุดการทดลอง T112 และ T106 ที่มีความเข้มข้นรองลงมาตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 4-15)

5.1.4 ความเป็นเมือกบนผิวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

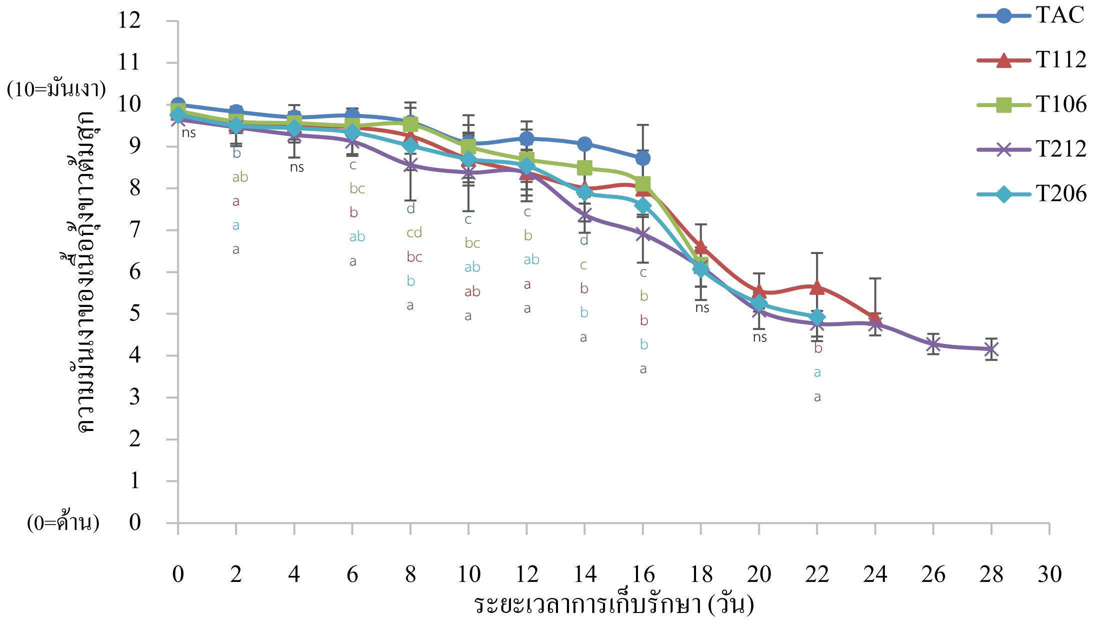
การเพิ่มขึ้นของความเป็นเมือกของเนื้อกุ้งโดยทั่วไปแล้วเกิดจากการที่จุลินทรีย์กลุ่มที่มีแคปซูลที่เป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทำให้เกิดเมือกในอาหารมีการเจริญมากขึ้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2554) ซึ่งจากการประเมินความเป็นเมือกบนผิวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่กำหนดให้ระดับ 0 คือไม่เป็นเมือก ถึง 10 คือเป็นเมือกมาก พบว่าในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) มีความเป็นเมือกบนผิวของเนื้อกุ้งน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC ที่ไม่มีการเคลือบสารดังกล่าวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) และในชุดการทดลอง T212 ที่มีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด มีความเป็นเมือกบนผิวของเนื้อกุ้งน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) รองลงมาได้แก่ชุดการทดลอง T112, T206, T106 และ TAC ตามลำดับ (ภาพที่ 4-16)



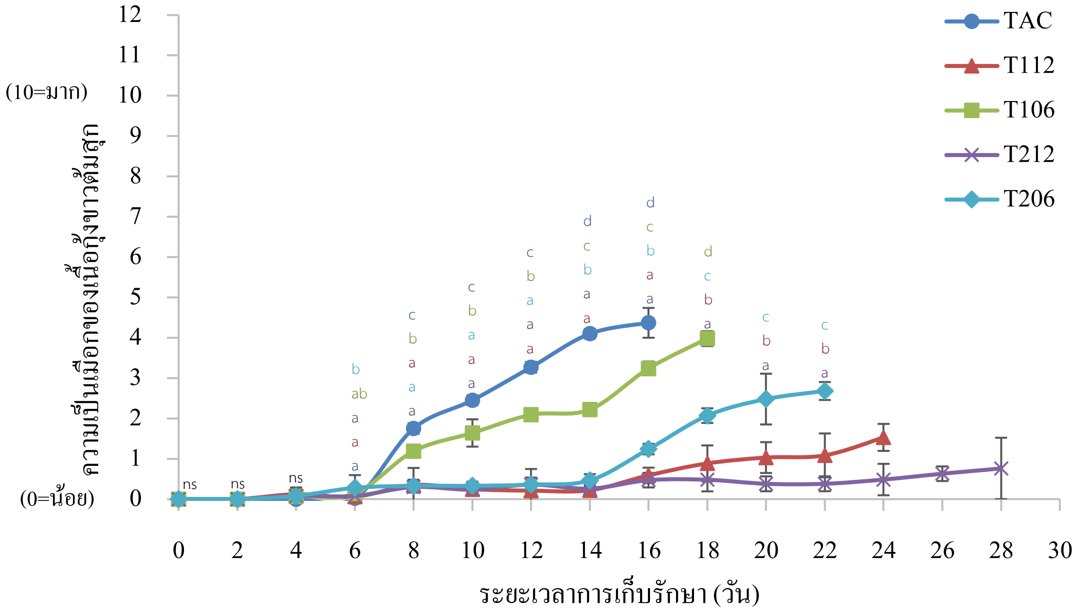
ภาพที่ 4-13 แถบสีส้มบนผิวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.87)



ภาพที่ 4-14 สีของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.97)



ภาพที่ 4-15 ความมันเงาของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.95)



ภาพที่ 4-16 ความเป็นเมือกของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.76)

ผลการประเมินแถบสีส้มบนผิวของเนื้อกุ้งพบว่า เนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC, T112, T106, T212 และ T206 มีแถบสีส้มบนผิวของเนื้อกุ้งจางลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) เกิดจากการที่จุลินทรีย์สร้างเอนไซม์เพื่อย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนที่จับกับเม็ดสีของเนื้อกุ้ง ทำให้แถบสีส้มบนเนื้อกุ้งมีสีซีดจางลง (Cadun, Kışla, & Çaklı, 2008) ทั้งยังส่งผลต่อความมันเงาของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกอีกด้วย เพราะเมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนลดลง น้ำที่ทำให้ผิวของเนื้อกุ้งดูมันเงาถูกปลดปล่อย ความมันเงาของเนื้อกุ้งจึงลดลง (นิรชา วงษ์จินดา, 2547) ผู้ทดสอบจึงประเมินให้ระดับความมันเงาบนผิวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกลดลงตามระยะเวลาในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) ($p \leq 0.05$) และการที่จุลินทรีย์กลุ่มที่มีแคปซูลที่เป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทำให้เกิดเมือกในอาหารเจริญมากขึ้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2554) ความเป็นเมือกของเนื้อกุ้งจึงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลอง ($p \leq 0.05$) ส่วนสีของเนื้อกุ้งพบว่า ในทุกชุดการทดลองผู้ทดสอบประเมินให้สีของเนื้อกุ้งมีระดับเพิ่มขึ้น (สีขาวเข้มขึ้น) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบแคโรทีนอยด์ในเนื้อกุ้งส่งผลให้สีของเนื้อกุ้งเปลี่ยนเป็นสีครีมหรือเทา (Potter & Hotchkis, 1995)

การเคลือบเนื้อกุ้งขาวต้มสุกด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกส่งผลต่อแถบสีส้มบนผิวของเนื้อกุ้ง สีของเนื้อกุ้ง และความมันเงาของเนื้อกุ้ง เนื่องจากสีน้ำตาลของสารสกัดจากชาเขียวทำให้เนื้อกุ้งที่เคลือบสารดังกล่าว (T112, T106, T212 และ T206) มีสีขาวอมเหลือง แถบสีส้มจางและความมันเงาน้อยลง ชุดการทดลองดังกล่าวจึงมีระดับสีของเนื้อกุ้งเข้ม แถบสีส้มจางและความมันเงาน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับ Bañón, Díaz, Rodríguez, Garrido, and Price (2007) ที่ใช้ผงชาเขียวเป็นส่วนผสมในเนื้อวัวบด พบว่าผงชาเขียวที่มีสีเขียวอมน้ำตาลส่งผลให้เนื้อวัวบดมีสีเข้มและไม่มันเงา ทำให้ชุดการทดลองดังกล่าวมีคะแนนการยอมรับด้านสีของเนื้อวัว (Meat colour) น้อยกว่าชุดการทดลองอื่นที่ไม่ใช้ชาเขียวเป็นส่วนผสม

ในการทดลองครั้งนี้ถึงแม้สีของสารสกัดจากชาเขียวส่งผลต่อลักษณะข้างต้น แต่กลับส่งผลดีในการชะลอการเกิดเมือกของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก เห็นได้จากในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีระดับความเป็นเมือกบนผิวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC ($p \leq 0.05$) หมายถึงสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดเมือกของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกได้ สอดคล้องกับ Siripatrawan and Noipha (2012) ที่พบว่าฟิล์มไคโตซานผสมสารสกัดจากชาเขียวที่ใช้ห่อหุ้มไส้กรอกหมู เกิดเมือกน้อยกว่าชุดการทดลองควบคุมที่ไม่มีการใช้สารสกัดจากชาเขียวเป็นส่วนผสม

ทั้งนี้สีน้ำตาลของสารสกัดจากชาเขียวมีผลต่อสีของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกตามความเข้มข้น เห็นได้จากชุดการทดลอง T212 และ T206 ที่มีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวสูงที่สุด ที่มีสีของเนื้อกุ้งเข้ม แถบสีส้มบนผิวของเนื้อกุ้งจางและความมันเงาของเนื้อกุ้งน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลอง T112 และ T106 ที่มีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวต่ำกว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) แต่ความเข้มข้นสูงของสารสกัดจากชาเขียวส่งผลดีต่อประสิทธิภาพในการชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก เป็นผลให้การเกิดเมือกบนผิวของเนื้อกุ้งเกิดได้ช้าลงกว่าชุดการทดลองอื่น ความเป็นเมือกบนผิวของเนื้อกุ้งในชุดการทดลอง T212 จึงมีระดับน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษารองลงมาคือ T112, T206, T106 และ TAC ตามลำดับ สอดคล้องกับ Nirmal and Benjakul (2011a) พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดแช่น้ำแข็งที่เคลือบสารสกัดจากชาในความเข้มข้นสูงที่สุด (10 g/L^{-1}) มีการเจริญของจุลินทรีย์น้อยกว่าชุดการทดลองที่ใช้สารสกัดจากชาความเข้มข้นต่ำกว่า (5 g/L^{-1}) นั้นหมายถึงชาเขียวที่มีความเข้มข้นสูงสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดเมือกในอาหารได้ดี

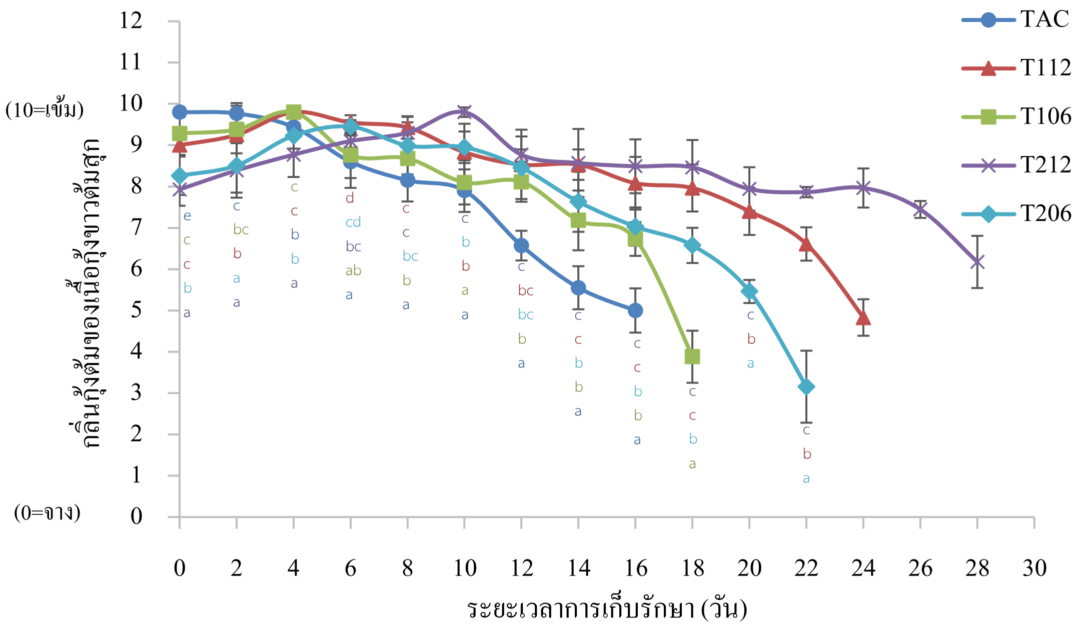
5.2 ลักษณะด้านกลิ่น

การประเมินการเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านกลิ่นของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ตามคำศัพท์ที่พัฒนาได้จากผลการทดลองในข้อที่ 4 โดยพิจารณาสเกลแยกกันในแต่ละคำศัพท์และให้คะแนนบนสเกลตามความรู้สึกของผู้ทดสอบในลักษณะด้านกลิ่นทั้ง 4 ลักษณะได้แก่ 1) กลิ่นกุ้งต้มของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก 2) กลิ่นคาวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก 3) กลิ่นเปรี้ยวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก และ 4) กลิ่นชาเขียวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

5.2.1 กลิ่นกุ้งต้มของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

ผลการประเมินกลิ่นกุ้งต้มของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่กำหนดให้ 0 คือไม่มีกลิ่นกุ้งต้ม ถึง 10 คือมีกลิ่นกุ้งต้มเข้ม พบว่าชุดการทดลอง TAC มีกลิ่นกุ้งต้มจางลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ส่วนชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก มีกลิ่นกุ้งต้มเข้มขึ้นในช่วงแรกของการเก็บรักษาโดยชุดการทดลอง T112 และ T106 มีกลิ่นกุ้งต้มเข้มขึ้นในวันที่ 0-4 , T206 ในวันที่ 0-6 และ T212 ในวันที่ 0-10 ของการเก็บรักษา จากนั้นจึงมีกลิ่นกุ้งต้มจางลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) มีกลิ่นกุ้งต้มเข้มกว่าชุดการทดลอง TAC โดยชุดการทดลอง T112 มีกลิ่นกุ้งต้มเข้มกว่าชุดการทดลอง TAC ตั้งแต่วันที่ 4-24, T106 ตั้งแต่วันที่ 4-18, T212 ตั้งแต่วันที่ 6-28 และ T212 ตั้งแต่วันที่ 6-22 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) และในชุดการทดลอง T212 ที่มีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด

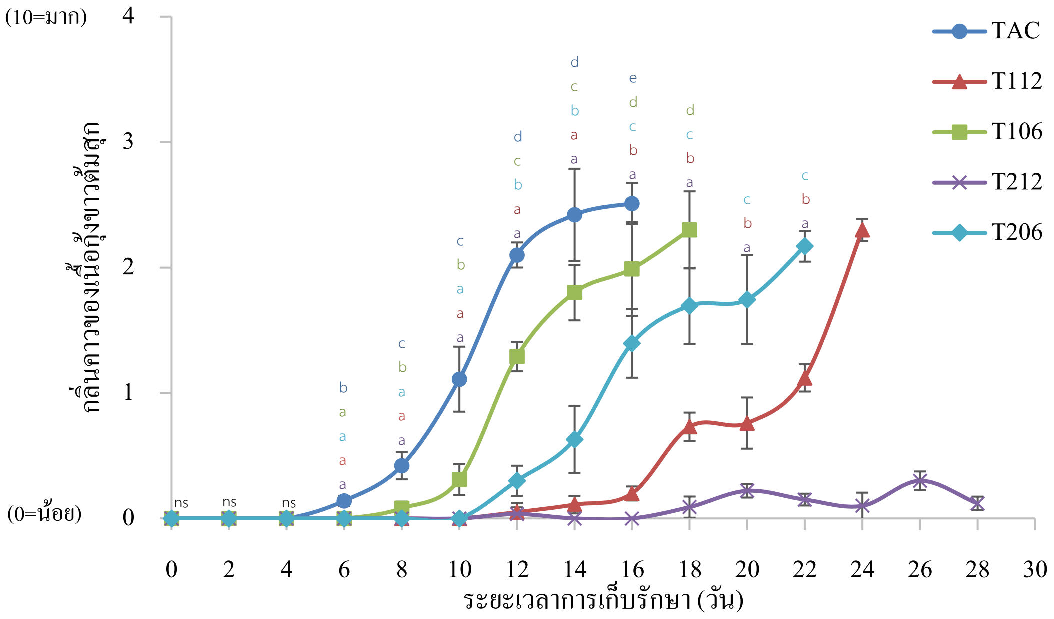
มีกลิ่นกุ้งต้มเข้มกว่าชุดการทดลองอื่นตั้งแต่วันที่ 10 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) รองลงมาได้แก่ชุดการทดลอง T112, T206, T106 และ TAC ตามลำดับ (ภาพที่ 4-17)



ภาพที่ 4-17 กลิ่นกุ้งต้มของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.12 - 0.87)

5.2.2 กลิ่นคาวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

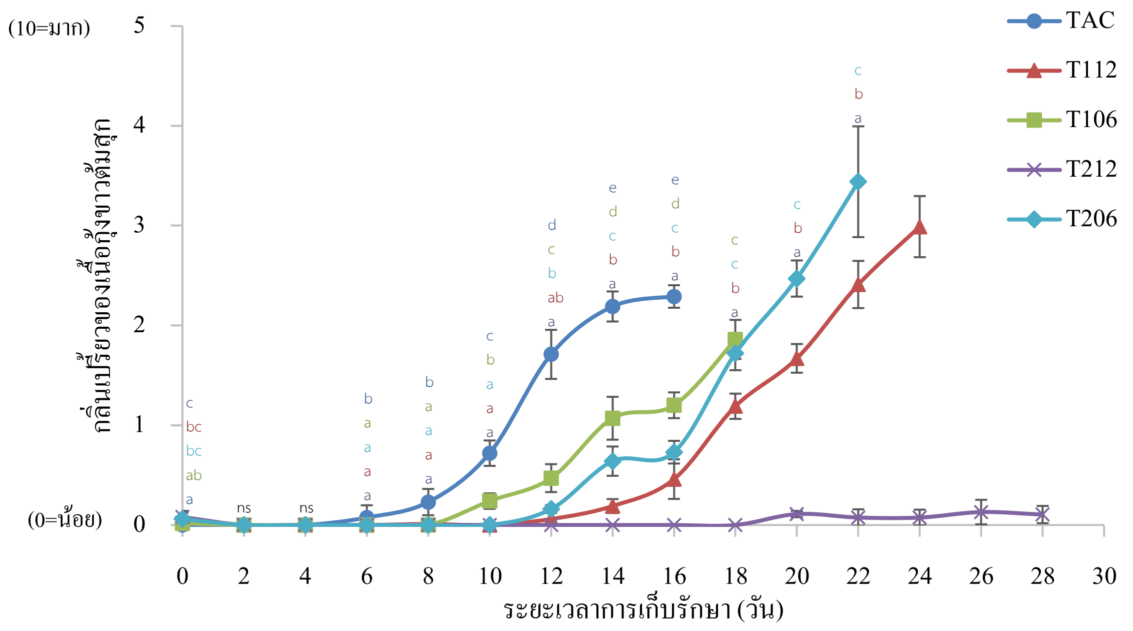
กลิ่นคาวเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากย่อยสลายโปรตีนโดยจุลินทรีย์ได้เป็นสารประกอบต่างที่ระเหยได้ทำให้เกิดกลิ่นคาวในเนื้อสัตว์น้ำ (นิรชา วงษ์จินดา, 2547) ซึ่งการประเมินกลิ่นคาวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกกำหนดให้ระดับ 0 คือไม่มีกลิ่นคาว ถึง 10 คือมีกลิ่นคาวมาก พบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีกลิ่นคาวมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่มีกลิ่นคาวของเนื้อกุ้งน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) และชุดการทดลองที่มีกลิ่นคาวของเนื้อกุ้งน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาได้แก่ T212 ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่มีสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกเข้มข้นสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือชุดการทดลอง T112, T206, T106 และ TAC ตามลำดับ (ภาพที่ 4-18)



ภาพที่ 4-18 กลิ่นคาวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.37)

5.2.3 กลิ่นเปรี้ยวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

กลิ่นเปรี้ยวที่เกิดขึ้นในการทดลองหมายถึงกลิ่นเหม็นเปรี้ยวที่เกิดจากการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดแลคติก ทำให้เนื้อสัตว์น้ำมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (นิรชา วงษ์จินดา, 2547) ซึ่งผลการประเมินกลิ่นเปรี้ยวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกกำหนดให้ระดับ 0 คือไม่มีกลิ่นเปรี้ยว ถึง 10 คือมีกลิ่นเปรี้ยวมากพบว่า ในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีกลิ่นเปรี้ยวมากขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยชุดการทดลองที่มีกลิ่นเปรี้ยวมากที่สุดได้แก่ TAC ต่างจาก T112, T106, T212 และ T206 ที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก มีกลิ่นเปรี้ยวน้อยกว่า TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ชุดการทดลองที่มีระดับกลิ่นเปรี้ยวน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาได้แก่ T212 ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ชุดการทดลอง T112, T206, T106 และ TAC ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 4-19)



ภาพที่ 4-19 กลิ่นเปรี้ยวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.56)

5.2.4 กลิ่นชาเขียวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

ผลการประเมินกลิ่นชาเขียวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่กำหนดให้ระดับ 0 คือไม่มีกลิ่นชาเขียว ถึง 10 คือมีกลิ่นชาเขียวมาก พบว่าในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) มีกลิ่นชาเขียวที่เกิดขึ้นเล็กน้อยใน 2 วันแรกของการเก็บรักษาและไม่พบอีกตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งกลิ่นชาเขียวดังกล่าวไม่ส่งผลต่อกลิ่นของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกแต่อย่างใด ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-2)

ตารางที่ 4-2 กลิ่นชาเขียวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน

ระยะเวลา การเก็บรักษา (วัน)	กลิ่นชาเขียวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก (Mean ± SD)				
	TAC$_{ns}$	T112	T106	T212	T206
0	0.00^{A} ± 0.00	0.20_{c}^{C} ± 0.00	0.15_{c}^{B} ± 0.00	0.45_{c}^{E} ± 0.00	0.40_{c}^{D} ± 0.00
2^{NS}	0.00 ± 0.00	0.02_{b} ± 0.04	0.02_{b} ± 0.03	0.04_{b} ± 0.07	0.05_{b} ± 0.06
4^{NS}	0.00 ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00
6^{NS}	0.00 ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00
8^{NS}	0.00 ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00
10^{NS}	0.00 ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00
12^{NS}	0.00 ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00
14^{NS}	0.00 ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00
16^{NS}	0.00 ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00
18^{NS}	-	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00
20^{NS}	-	0.00_{a} ± 0.00	-	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00
22^{NS}	-	0.00_{a} ± 0.00	-	0.00_{a} ± 0.00	0.00_{a} ± 0.00
24	-	0.00_{a} ± 0.00	-	0.00_{a} ± 0.00	-
26	-	-	-	0.00_{a} ± 0.00	-
28	-	-	-	0.00_{a} ± 0.00	-

TAC คือ เคลือบสารละลายอัลจิเนต 0.002% (control)

T112 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

T106 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

T212 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

T206 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

a, b, c…ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C…ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

NS ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการทดสอบพบว่ากลิ่นกุ้งต้มในชุดการทดลอง TAC มีระดับจางลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากการย่อยสลายกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นหอมของเนื้อกุ้งต้มโดยจุลินทรีย์ส่งผลให้กลิ่นกุ้งต้มจางลง ส่วนชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) พบว่าในช่วง 2-4 วันแรกของการเก็บรักษาชุดการทดลองดังกล่าวมีกลิ่นกุ้งต้มจางกว่าชุดการทดลอง TAC ที่ไม่มีการเคลือบสารละลาย แต่หลังจากนั้นเมื่อสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกถูกน้ำที่ปลดปล่อยจากโปรตีนที่เสียสภาพชะล้างตามระยะเวลาการเก็บรักษา ร่วมกับกลิ่นกุ้งต้มในชุดการทดลอง TAC ที่เริ่มจางลง ผู้ประเมินจึงรู้สึกว่ากลิ่นกุ้งต้มในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีกลิ่นเข้มกว่าและประเมินให้มีระดับกลิ่นกุ้งต้มสูงกว่าชุดการทดลอง TAC หลังจากวันที่ 6 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้การเจริญของจุลินทรีย์ตามระยะเวลาการเก็บรักษายังส่งผลต่อกลิ่นไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเปรี้ยวของเนื้อกุ้ง โดยกลิ่นคาวเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการย่อยสลายโปรตีนของจุลินทรีย์ได้เป็นสารประกอบด่างที่ระเหยได้ (บุษกร อุตรภิชาติ, 2545) ซึ่งเป็นผลให้เนื้อกุ้งขาวต้มสุกมีกลิ่นคาวมากขึ้น ($p \leq 0.05$) รวมถึงกลิ่นเหม็นเปรี้ยวที่มีกลิ่นมากขึ้นเมื่อมีการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดแลคติกเพิ่มขึ้น (บุษกร อุตรภิชาติ, 2545) และเป็นผลให้เนื้อกุ้งขาวต้มสุกมีกลิ่นเปรี้ยวมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$)

ถึงแม้ในช่วงแรกของการเก็บรักษาชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีกลิ่นกุ้งต้มจางกว่า TAC แต่เนื่องด้วยประสิทธิภาพของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่มีผลต่อการจางลงของกลิ่นกุ้งต้มได้ดีส่งผลให้ชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีกลิ่นกุ้งต้มเข้มกว่าชุดการทดลอง TAC หลังจากวันที่ 6 จนสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) อีกทั้งประสิทธิภาพของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกยังส่งผลดีต่อการเพิ่มขึ้นของกลิ่นคาวและกลิ่นเปรี้ยว เนื่องจากสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่จะทำให้เกิดกลิ่นคาวและกลิ่นเปรี้ยวของเนื้อกุ้งได้ กลิ่นคาวและกลิ่นเปรี้ยวจึงมีน้อยลง และพบว่าชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีกลิ่นคาวและกลิ่นเปรี้ยวเกิดขึ้นช้าและมีระดับน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$)

ทั้งนี้ความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อการชะลอเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านกลิ่นของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก โดยชุดการทดลอง T212 ที่มีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด ผู้ทดสอบประเมินให้มีระดับกลิ่นกุ้งต้มเข้มที่สุดตั้งแต่วันที่ 10 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 28) และยังมีระดับกลิ่นคาวและกลิ่นเปรี้ยวน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นรองลงมา (T112, T106 และ T206) เนื่องจากชุดการทดลอง T212 มีปริมาณของสารประกอบที่มีประสิทธิภาพ

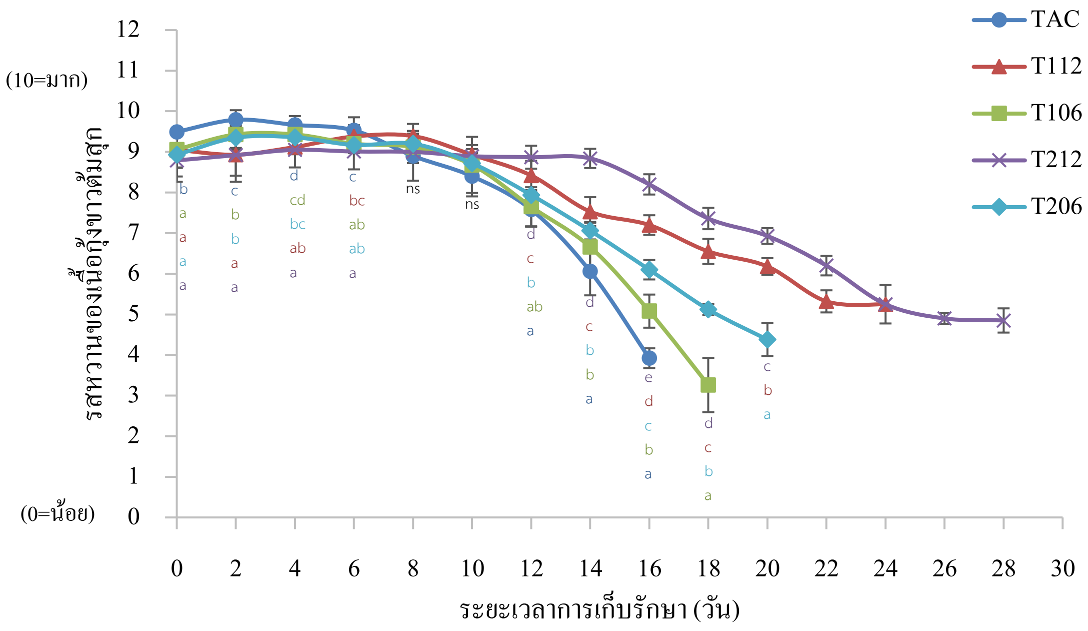
ในการยับยั้งจุลินทรีย์มากกว่าชุดการทดลองอื่น จึงชะลอการเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านกลิ่นได้ดี สอดคล้องกับ Nirmal and Benjakul (2012) ที่พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดที่เคลือบชาเขียว 0.1% และกรดแอสคอร์บิก 0.01% มีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นไม่ต่างกับชุดการทดลองที่เคลือบชาเขียวความเข้มข้นชาเขียว 0.1% และกรดแอสคอร์บิก 0.005% มีคะแนนการยอมรับมากกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีการเคลือบสารดังกล่าว ทั้งนี้ชุดการทดลองที่ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านกลิ่นของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกได้ดีที่สุดคือ T212 รองลงมาคือ T112, T206, T106 และ TAC ตามลำดับ

5.3 ลักษณะด้านรสชาติ

การประเมินการเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านรสชาติของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ตามคำศัพท์ที่พัฒนาได้จากผลการทดลองในข้อที่ 4 โดยพิจารณาสเกลแยกกันในแต่ละคำศัพท์และให้คะแนนบนสเกลตามความรู้สึกของผู้ทดสอบในลักษณะด้านรสชาติทั้ง 4 ลักษณะ ได้แก่ 1) รสหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก 2) รสขมของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก 3) รสเปรี้ยวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก และ 4) รสอร่อยของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

5.3.1 รสหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

การประเมินรสหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่มีระดับ 0 คือไม่มีรสหวาน ถึง 10 คือมีรสหวานมาก พบว่าในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีรสหวานลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีรสหวานค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกของการเก็บรักษา จากนั้นรสหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกจึงลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยชุดการทดลอง T112 มีรสหวานคงที่ในวันที่ 0-8 ของการเก็บรักษาและลดลงในวันที่ 10-22 ของการเก็บรักษา ส่วนชุดการทดลอง T106 มีรสหวานคงที่ในวันที่ 0-6 ของการเก็บรักษาและลดลงในวันที่ 8-18 ของการเก็บรักษา ในชุดการทดลอง T212 มีรสหวานคงที่ในวันที่ 0-14 ของการเก็บรักษาและลดลงในวันที่ 16-28 ของการเก็บรักษา และชุดการทดลอง T206 มีรสหวานคงที่ในวันที่ 0-8 ของการเก็บรักษาและลดลงในวันที่ 10-20 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้รสหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่ถึงจะมีรสหวานน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC ในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษา แต่วันที่ 8 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาพบว่ามีรสหวานมากกว่าชุดการทดลอง TAC และในชุดการทดลอง T212 เป็นชุดการทดลองที่มีรสหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกมากที่สุดตั้งแต่วันที่ 8-28 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) รองลงมาได้แก่ชุดการทดลอง T112, T206, T106 และ TAC ตามลำดับ (ภาพที่ 4-20)



ภาพที่ 4-20 รสหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.08 - 0.69)

5.3.2 รสขมของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

การประเมินรสขมของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่กำหนดให้ระดับ 0 คือไม่มีรสขม ถึง 10 คือมีรสขมมาก พบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) มีรสขมเพียงเล็กน้อยใน 4 วันแรกของการเก็บรักษาและไม่พบอีกตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งรสขมนั้นเกิดจากสารสกัดจากชาเขียวที่ใช้เคลือบเนื้อกุ้ง ส่วนชุดการทดลอง TAC ที่ไม่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกไม่พบรสขมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตารางที่ 4-3)

5.3.3 รสเปรี้ยวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

การประเมินรสเปรี้ยวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่กำหนดให้ระดับ 0 คือไม่มีรสเปรี้ยว ถึง 10 คือมีรสเปรี้ยวมาก พบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) มีรสเปรี้ยวเพียงเล็กน้อยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาเท่านั้นและไม่พบอีกตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งรสเปรี้ยวดังกล่าวเป็นรสที่คาดว่าเกิดจากกรดแอสคอร์บิกที่ใช้เคลือบเนื้อกุ้งขาวต้มสุก ส่วนชุดการทดลอง TAC ที่ไม่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกไม่พบรสเปรี้ยวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตารางที่ 4-4)

ตารางที่ 4-3 รสขมของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน

ระยะเวลา การเก็บรักษา (วัน)	รสขมของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก (Mean ± SD)				
	TAC_{ns}	T112	T106	T212	T206
0	$0.00^{A} \pm 0.00$	$0.06_{b}^{A} \pm 0.05$	$0.14_{b}^{AB} \pm 0.21$	$0.08_{b}^{A} \pm 0.10$	$0.27_{b}^{B} \pm 0.32$
2	$0.00^{A} \pm 0.00$	$0.07_{b}^{B} \pm 0.08$	$0.08_{ab}^{B} \pm 0.09$	$0.08_{b}^{B} \pm 0.09$	$0.05_{a}^{AB} \pm 0.07$
4	$0.00^{A} \pm 0.00$	$0.06_{b}^{B} \pm 0.06$	$0.06_{a}^{B} \pm 0.06$	$0.06_{b}^{B} \pm 0.06$	$0.06_{a}^{B} \pm 0.06$
6^{NS}	0.00 ± 0.00	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
8^{NS}	0.00 ± 0.00	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
10^{NS}	0.00 ± 0.00	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
12^{NS}	0.00 ± 0.00	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
14^{NS}	0.00 ± 0.00	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
16^{NS}	0.00 ± 0.00	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
18^{NS}	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
20^{NS}	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
22^{NS}	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
24^{NS}	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	-
26^{NS}	-	-	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	-
28^{NS}	-	-	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	-

TAC คือ เคลือบสารละลายอัลจิเนต 0.002% (control)

T112 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

T106 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

T212 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

T206 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

a, b, c…ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C…ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

NS ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4-4 รสเปรี้ยวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	รสเปรี้ยวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก (Mean ± SD)				
	TAC_{ns}	T112	T106	T212	T206
0	$0.00^{A} \pm 0.00$	$0.05_{b}^{B} \pm 0.07$	$0.05_{b}^{B} \pm 0.07$	$0.05_{b}^{B} \pm 0.07$	$0.05_{b}^{B} \pm 0.07$
2^{NS}	0.00 ± 0.00	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
4^{NS}	0.00 ± 0.00	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
6^{NS}	0.00 ± 0.00	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
8^{NS}	0.00 ± 0.00	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
10^{NS}	0.00 ± 0.00	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
12^{NS}	0.00 ± 0.00	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
14^{NS}	0.00 ± 0.00	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
16^{NS}	0.00 ± 0.00	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
18^{NS}	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
20^{NS}	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
22^{NS}	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
24^{NS}	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	-
26^{NS}	-	-	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	-
28^{NS}	-	-	-	$0.00_{a} \pm 0.00$	-

TAC คือ เคลือบสารละลายอัลจิเนต 0.002% (control)

T112 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

T106 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

T212 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

T206 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

a, b, c…ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C…ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

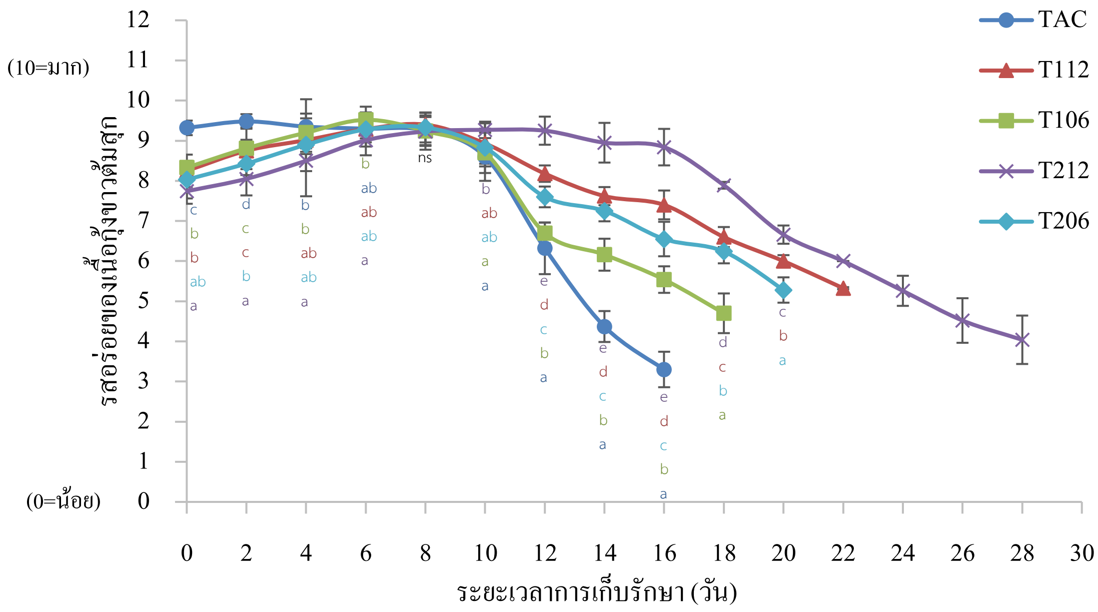
ns ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

NS ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

5.3.4 รสอร่อยของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

รสอร่อยหรืออูมามิ เป็นรสชาติที่มีความสัมพันธ์กับกรดกลูตามิก (Glutamic acid) ซึ่งปริมาณกรดกลูตามิกเพียงเล็กน้อยก็ทำให้สามารถรับรู้ถึงรสอุมามิได้ โดยในเนื้อกุ้ง 100 กรัม มีกรดกลูตามิก 20 มิลลิกรัม (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2554) ผลการประเมิน

รสอร่อยของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่มีระดับ 0 คือไม่มีรสอร่อย ถึง 10 คือมีรสอร่อยมาก พบว่าในชุดการทดลอง TAC มีรสอร่อยน้อยลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ต่างจากชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่มีรสอร่อยมากขึ้นในวันที่ 0-6 ของการเก็บรักษาจากนั้นระดับรสอร่อยจึงลดลงตั้งแต่วันที่ 8 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาในแต่ละชุดการทดลอง ($p \leq 0.05$) ถึงแม้ในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษาเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) มีรสอร่อยน้อยกว่า TAC แต่หลังจากวันที่ 8 ของการเก็บรักษากลับมีรสอร่อยมากกว่า และ T212 เป็นชุดการทดลองมีรสอร่อยของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกมากที่สุดตั้งแต่วันที่ 8 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา 28 วัน ($p \leq 0.05$) รองลงมาได้แก่ T112, T206, T106 และ TAC ตามลำดับ (ภาพที่ 4-21)



ภาพที่ 4-21 รสอร่อยของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.88)

ผลการทดสอบเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) พบรสขมเพียงเล็กน้อยใน 4 วันแรกของการเก็บรักษาและไม่พบอีกตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 28 วัน รวมทั้งพบรสเปรี้ยวเพียงเล็กน้อยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาและไม่พบอีกตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 28 วัน ซึ่งรสขมและเปรี้ยวดังกล่าวเกิดจากสารสกัดจาก

ชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ใช้เคลือบเนื้อกุ้งขาวต้มสุก ส่วนชุดการทดลอง TAC ที่ไม่เคลือบสารดังกล่าวไม่พบรสขมและรสเปรี้ยวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในลักษณะด้านรสหวานพบว่าชุดการทดลอง TAC มีรสหวานลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ส่วนชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีรสหวานค่อนข้างคงที่ในช่วง 8-14 วันแรกของการเก็บรักษา และมีรสหวานลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) เกิดจากกรดอะมิโนที่ให้รสหวานของเนื้อกุ้งถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายและนำไปใช้ในการเจริญ (นิรชา วงษ์จินดา, 2547) ทำให้ระดับรสหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในการทดลองครั้งนี้ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ด้านรสอร่อยพบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC มีรสอร่อยน้อยลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนชุดการทดลองที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) มีรสอร่อยมากขึ้นในช่วง 6-10 วันแรกของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) จากนั้นจึงมีระดับลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$)

รสหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) ในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษามีรสหวานน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC เนื่องจากสภาวะความเป็นกรดของสารละลายที่ใช้เคลือบเนื้อกุ้งส่งให้โครงสร้างโปรตีนและกรดอะมิโนเสียสภาพ การแสดงออกของรสหวานจึงน้อยลง ผู้ทดสอบรับรู้รสหวานของเนื้อกุ้งได้น้อย จากนั้นเมื่อเกิดการเน่าเสียโดยจุลินทรีย์ย่อยสลายกรดอะมิโนของเนื้อกุ้งมากขึ้น รสหวานของชุดการทดลอง TAC จึงมีระดับน้อยลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ยังมีรสหวานค่อนข้างคงที่ เนื่องจากประสิทธิภาพของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ ทำให้การย่อยสลายกรดอะมิโนที่ให้รสหวานของเนื้อกุ้งเกิดช้าลง รสหวานของเนื้อกุ้งจึงคงอยู่นาน ส่วนรสอร่อยของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีรสอร่อยน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC ในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษา แต่วันที่ 8 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาพบว่าชุดการทดลองดังกล่าวมีรสอร่อยมากกว่าชุดการทดลอง TAC เนื่องจากกรดกลูตามิกที่ให้รสอร่อยถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายทำให้ระดับรสอร่อยของชุดการทดลอง TAC ลดลง ต่างจาก T112, T106, T212 และ T206 ที่มีรสอร่อยค่อนข้างคงที่ตลอดช่วง 8 วันแรกของการเก็บรักษา รวมถึงประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ร่วมกับระดับรสอร่อยของชุดการทดลอง TAC ที่น้อยลง ทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกว่าชุดการทดลองเหล่านั้นอร่อยขึ้นและให้ระดับรสอร่อยของ T112, T106, T212 และ T206 มากกว่าชุดการทดลอง TAC สอดคล้องกับ Jo, Son, Son, and Byun (2003) ที่พบว่าเนื้อหมูบดผสมผงสกัดจากใบชาเขียวมีคะแนนด้านรสชาติมากกว่าชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ผสมผงสกัดจากใบชาเขียว

หากพิจารณาชุดการทดลองที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) พบว่าในชุดการทดลอง T212 ที่มีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด ที่ถึงแม้จะมีรสหวานและรสอร่อยของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกน้อยที่สุดในช่วง 0-6 วันแรกของการเก็บรักษา แต่หลังจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษาเมื่อจุลินทรีย์เริ่มทำให้เนื้อกุ้งในทุกชุดการทดลองเกิดการเน่าเสียมากขึ้น เนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T212 มีรสหวานและรสอร่อยคงอยู่มากกว่าชุดการทดลองอื่น เนื่องจากประสิทธิภาพในการชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่จะย่อยสลายกรดอะมิโนในเนื้อกุ้งได้มากกว่า ทำให้ชุดการทดลอง T212 มีรสหวานและรสอร่อยมากที่สุดจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา สอดคล้องกับ Nirmal and Benjakul (2012) ที่พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดที่เคลือบชาเขียว 0.1% และกรดแอสคอร์บิก 0.01% มีคะแนนการยอมรับด้านรสชาติไม่ต่างกับชุดการทดลองที่เคลือบชาเขียวความเข้มข้น 0.1% และกรดแอสคอร์บิก 0.005% แต่มีคะแนนการยอมรับมากกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีการเคลือบสารดังกล่าว และ Nirmal and Benjakul (2011b) พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดแช่เย็นที่ใช้ชาเขียว (GET) และกรดแอสคอร์บิก (AA) ร่วมกับการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ (MAP) ในชุดการทดลอง GET+AA+MAP มีคะแนนการยอมรับด้านรสชาติมากกว่า ชุดการทดลองที่มีการใช้ GET+MAP เพียงอย่างเดียว นั่นหมายถึงการใช้ชาเขียวร่วมกับกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อการชะลอการเปลี่ยนแปลงรสชาติของเนื้อกุ้ง ดังนั้นการทดลองในครั้งนี้พบว่าชุดการทดลองที่มีรสหวานและรสอร่อยมากที่สุดคือ T212 รองลงมาคือ T112, T206, T106 และ TAC ตามลำดับ

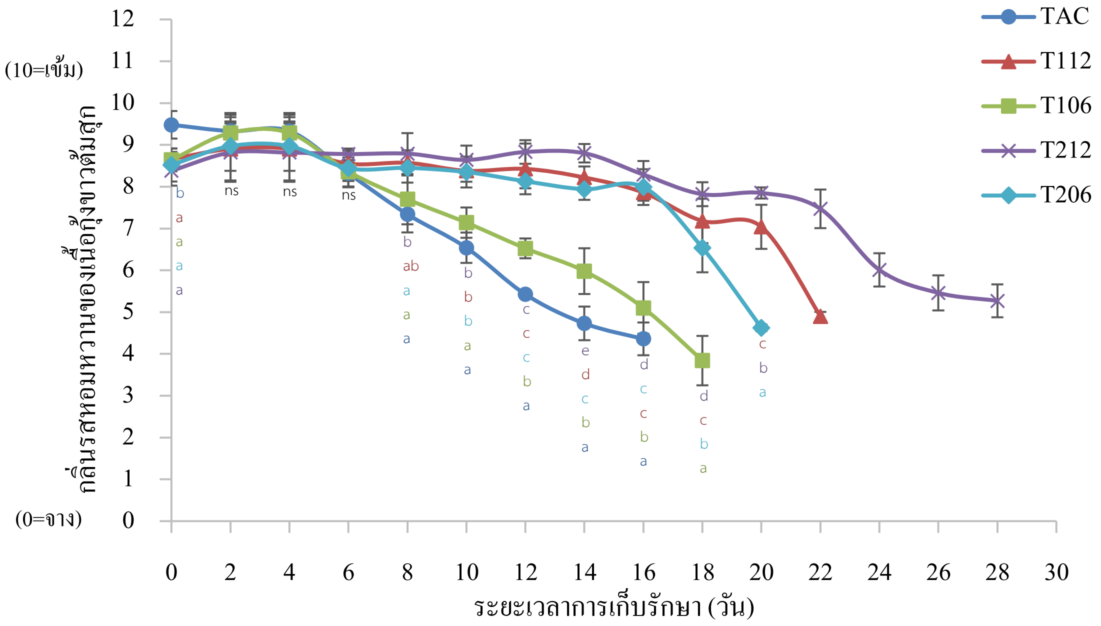
5.4 ลักษณะด้านกลิ่นรส

การประเมินการเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านกลิ่นรสของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ตามคำศัพท์ที่พัฒนาได้จากผลการทดลองในข้อที่ 4 โดยพิจารณาสเกลแยกกันในแต่ละคำศัพท์และให้คะแนนบนสเกลตามความรู้สึกของผู้ทดสอบในลักษณะด้านกลิ่นรสทั้ง 2 ลักษณะได้แก่ 1) กลิ่นรสหอมหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก และ 2) กลิ่นรสคาวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

5.4.1 กลิ่นรสหอมหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

จากการประเมินลักษณะกลิ่นรสหอมหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่มีระดับ 0 คือ ไม่มีกลิ่นรสหอมหวาน ถึง 10 คือกลิ่นรสหอมหวานเข้ม พบว่าในชุดการทดลอง TAC มีกลิ่นรสหอมหวานจางลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ส่วนชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) พบว่าในวันที่ 0-4 ของการเก็บรักษาชุดการทดลอง T106 มีกลิ่นรสหอมหวานเข้มขึ้นและมีกลิ่นรสหอมหวานจางลงระหว่างวันที่ 6-18 ของการเก็บรักษา ในชุดการทดลอง T206 มีกลิ่นรสหอมหวานเข้มขึ้นในวันที่

0-6 ของการเก็บรักษาและมีกลิ่นรสหอมหวานจางลงระหว่างวันที่ 8-22 ของการเก็บรักษา ส่วนชุดการทดลอง T112 และ T212 นั้นมีกลิ่นรสหอมหวานค่อนข้างคงที่ในช่วง 14 วันแรกของการเก็บรักษาจากนั้นจึงมีกลิ่นรสหอมหวานจางลงหลังจากวันที่ 16 จนวันสุดท้ายการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ใน 6 วันแรกของการเก็บรักษาชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีกลิ่นรสหอมหวานจางกว่าชุดการทดลอง TAC แต่หลังจากนั้นพบว่าชุดการทดลองดังกล่าวกลับมีกลิ่นรสหอมหวานเข้มกว่าชุดการทดลอง TAC ในวันที่ 6-28 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) และชุดการทดลองที่มีกลิ่นรสหอมหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเข้มที่สุดตั้งแต่วันที่ 6-28 ของการเก็บรักษาได้แก่ T212 รองลงมาได้แก่ T112, T206, T106 และ TAC ตามลำดับ (ภาพที่ 4-22)



ภาพที่ 4-22 กลิ่นรสหอมหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.12 - 0.87)

5.4.2 กลิ่นรสคาวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

ผลการประเมินกลิ่นรสคาวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่มีระดับ 0 คือไม่มีกลิ่นรสคาว ถึง 10 คือมีกลิ่นรสคาวมาก ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษา เนื้อกุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) ไม่มีกลิ่นรสคาวของเนื้อกุ้ง ต่อมาหลังจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษาเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเริ่มมีกลิ่นรสคาวเข้มขึ้นเล็กน้อย โดยชุดการทดลอง TAC มีกลิ่นรสคาวเข้มขึ้นตั้งแต่วันที่ 8 , T106 ตั้งแต่วันที่ 10, T112 และ T206 ตั้งแต่วันที่

12 และ T212 ตั้งแต่วันที่ 14 ของการเก็บรักษาและมีกลิ่นรสคาวเข้มขึ้นจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลอง ($p \leq 0.05$) โดยชุดการทดลองที่มีการเคลือบชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) มีกลิ่นรสคาวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกจางกว่า TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) และในชุดการทดลอง T212 ที่มีสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกเข้มข้นสูงที่สุด มีกลิ่นรสคาวจางที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 28 วัน ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4-5)

ตารางที่ 4-5 กลิ่นรสคาวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	กลิ่นรสคาวของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก (Mean ± SD)				
	TAC	T112	T106	T212	T206
0^{NS}	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
2^{NS}	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
4^{NS}	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
6^{NS}	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$	$0.00_{a} \pm 0.00$
8	$0.02_{a}^{B} \pm 0.03$	$0.00_{a}^{A} \pm 0.00$	$0.00_{a}^{A} \pm 0.00$	$0.00_{a}^{A} \pm 0.00$	$0.00_{a}^{A} \pm 0.00$
10	$0.08_{b}^{B} \pm 0.05$	$0.00_{a}^{A} \pm 0.00$	$0.05_{b}^{B} \pm 0.07$	$0.00_{a}^{A} \pm 0.00$	$0.00_{a}^{A} \pm 0.00$
12	$0.19_{c}^{E} \pm 0.04$	$0.03_{ab}^{B} \pm 0.04$	$0.09_{c}^{D} \pm 0.04$	$0.00_{a}^{A} \pm 0.00$	$0.06_{b}^{C} \pm 0.05$
14	$0.31_{d}^{D} \pm 0.08$	$0.06_{b}^{C} \pm 0.02$	$0.12_{cd}^{AB} \pm 0.03$	$0.03_{ab}^{A} \pm 0.04$	$0.10_{bc}^{BC} \pm 0.03$
16	$0.35_{e}^{C} \pm 0.07$	$0.11_{c}^{B} \pm 0.02$	$0.13_{d}^{B} \pm 0.03$	$0.05_{b}^{A} \pm 0.05$	$0.11_{c}^{B} \pm 0.02$
18	-	$0.13_{c}^{AB} \pm 0.05$	$0.18_{e}^{B} \pm 0.07$	$0.09_{c}^{A} \pm 0.04$	$0.16_{d}^{B} \pm 0.06$
20	-	$0.13_{c}^{A} \pm 0.06$	-	$0.12_{d}^{A} \pm 0.05$	$0.32_{e}^{B} \pm 0.12$
22	-	$0.15_{c} \pm 0.13$	-	$0.14_{d} \pm 0.04$	-
24	-	-	-	$0.17_{e} \pm 0.04$	-
26	-	-	-	$0.20_{f} \pm 0.03$	-
28	-	-	-	$0.22_{f} \pm 0.03$	-

TAC คือ เคลือบสารละลายอัลจิเนต 0.002% (control)

T112 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

T106 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 1.25% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

T212 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

T206 คือ เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 0.625% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002%

a, b, c…ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C…ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

NS ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการทดสอบพบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC มีกลิ่นรสหอมหวานลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) พบว่าวันที่ 0-6 ของการเก็บรักษาชุดการทดลอง T106 และ T206 มีกลิ่นรสหอมหวานเข้มขึ้นและมีระดับจางลงในวันที่ 6-28 ของการเก็บรักษา ส่วนชุดการทดลอง T112 และ T212 มีกลิ่นรสหอมหวานค่อนข้างคงที่ในช่วง 14 วันแรกของการเก็บรักษาและมีระดับลดลงในวันที่ 14-28 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ซึ่งสาเหตุการลดลงของกลิ่นรสหอมหวานในเนื้อกุ้งเกิดจากการย่อยสลายกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสหอมหวานในเนื้อกุ้งโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ทำให้เนื้อกุ้งมีกลิ่นรสหอมหวานที่ลดลง (บุษกร อุตรชาติ, 2545) ถึงแม้ในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษาชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีระดับกลิ่นรสหอมหวานน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC แต่วันที่ 8 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาพบว่า ชุดการทดลองดังกล่าวมีกลิ่นรสหอมหวานมากกว่าชุดการทดลอง TAC เนื่องจากสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการลดลงของกลิ่นรสหอมหวานของเนื้อกุ้งได้ดี กลิ่นรสหอมหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกจึงคงอยู่ สอดคล้องกับ Nirmal and Benjakul (2009) พบว่าคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสของกุ้งขาว (*L. vannamei*) สดเคลือบกรดเฟอรูลิกแช่น้ำแข็งมีคะแนนสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่เคลือบสารดังกล่าว

เนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกในชุดการทดลอง T212 มีกลิ่นรสหอมหวานมากกว่า T112, T106 และ T206 เนื่องจากความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกในชุดการทดลอง T212 ที่สูงกว่าชุดการทดลองอื่น ประสิทธิภาพในการชะลอการเจริญของจุลินทรีย์จึงมีมากกว่า การย่อยสลายกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสหอมหวานโดยจุลินทรีย์จึงเกิดได้ช้าลง เนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T212 จึงมีกลิ่นรสหอมหวานคงอยู่นานทำให้มีระดับกลิ่นรสหอมหวานของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกมากที่สุดรองลงมาคือ T112, T206, T106 และ TAC ตามลำดับ สอดคล้องกับ Nirmal and Benjakul (2012) ที่พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดที่เคลือบชาเขียว 0.1% และกรดแอสคอร์บิก 0.01% มีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสไม่ต่างกับชุดการทดลองที่เคลือบชาเขียวความเข้มข้นชาเขียว 0.1% และกรดแอสคอร์บิก 0.005% แต่มีคะแนนการยอมรับมากกว่าชุดการทดลองที่เคลือบชาเขียวเพียงอย่างเดียวและไม่เคลือบสารดังกล่าว

ด้านกลิ่นรสคาวพบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษาไม่พบกลิ่นคาวของเนื้อกุ้ง แต่วันที่ 6-28 ของการเก็บรักษาพบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเริ่มมีกลิ่นรสคาวเข้มขึ้นเล็กน้อยโดยชุดการทดลองที่พบกลิ่นรสคาวเป็นลำดับแรกคือ TAC ที่พบกลิ่นรสคาวในวันที่ 8 ถัดมาคือ

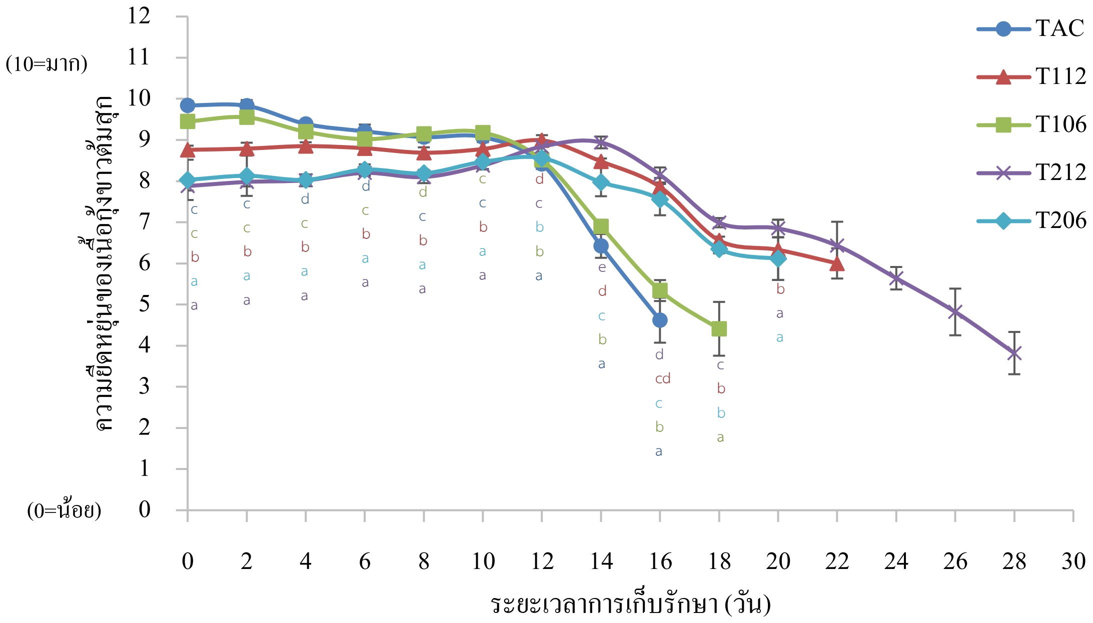
T106 พบในวันที่ 10, T112 และ T206 พบในวันที่ 12 และ T212 พบในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา และมีกลิ่นรสคาวเข้มขึ้นจนวันสุดท้ายของการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลอง ($p \leq 0.05$) ซึ่งกลิ่นรสคาวที่เกิดขึ้นเกิดจากการเน่าเสียของเนื้อกุ้งตามระยะเวลาการเก็บรักษาเกิดเป็นกลิ่นรสคาวจากการย่อยสลายโปรตีนโดยจุลินทรีย์

5.5 ลักษณะด้านเนื้อสัมผัส

การประเมินการเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ตามคำศัพท์ที่พัฒนาได้จากผลการทดลองในข้อที่ 4 โดยพิจารณาสเกลแยกกันในแต่ละคำศัพท์และให้คะแนนบนสเกลตามความรู้สึกของผู้ทดสอบในลักษณะด้านเนื้อสัมผัสทั้ง 2 ลักษณะได้แก่ 1) ความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก และ 2) ความฉ่ำน้ำของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

5.5.1 ความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

ผลการประเมินความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่กำหนดให้ระดับ 0 คือไม่ยืดหยุ่น ถึง 10 คือยืดหยุ่นมาก พบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC มีความยืดหยุ่นลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) พบว่าชุดการทดลอง T106 และ T112 มีความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งค่อนข้างคงที่ใน 10 วันแรกของการเก็บรักษา ส่วนชุดการทดลอง T206 และ T212 พบว่ามีความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งมากขึ้น โดย T206 มีความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งมากขึ้นในวันที่ 0-12 และ T212 ในวันที่ 0-14 ของการเก็บรักษา จากนั้นความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกทุกชุดการทดลองจึงมีระดับลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ถึงแม้ในวันที่ 0-6 ของการเก็บรักษาสำหรับชุดการทดลอง T106 และในวันที่ 0-10 ของชุดการทดลอง T112, T212 และ T206 มีความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC แต่หลังจากวันดังกล่าวเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งมากกว่าชุดการทดลอง TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) และยังพบว่าตั้งแต่วันที่ 14-28 ของการเก็บรักษาเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T212 ที่มีสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกเข้มข้นสูงที่สุด มีความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งมากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) รองลงมาได้แก่ชุดการทดลอง T112, T206, T106 และ TAC ตามลำดับ (ภาพที่ 4-23)

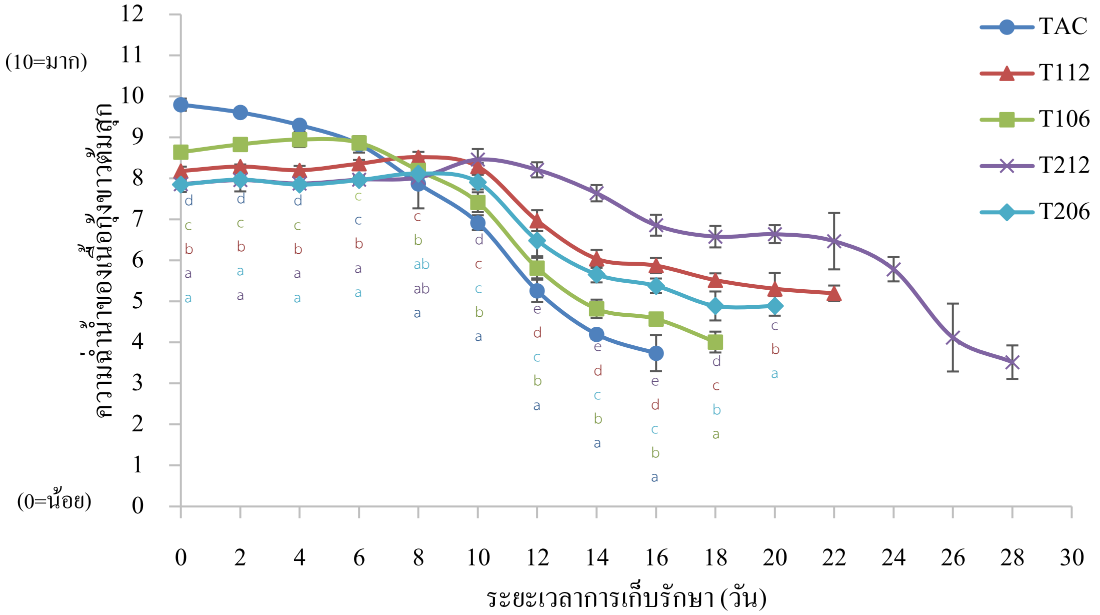


ภาพที่ 4-23 ความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.05 - 0.73)

5.5.2 ความฉ่ำน้ำของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก

การประเมินความฉ่ำน้ำของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่มีระดับ 0 คือไม่ฉ่ำน้ำ ถึง 10 คือฉ่ำน้ำมาก พบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC มีความฉ่ำน้ำของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกพบว่าชุดการทดลอง T112 และ T106 มีความฉ่ำน้ำค่อนข้างคงที่ในวันที่ 0-6 ของการเก็บรักษา ส่วนในชุดการทดลอง T206 มีความฉ่ำน้ำค่อนข้างคงที่ในวันที่ 0-8 ของการเก็บรักษา และในชุดการทดลอง T212 มีความฉ่ำน้ำค่อนข้างคงที่ในวันที่ 0-10 ของการเก็บรักษา จากนั้นเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 จึงมีความฉ่ำน้ำของเนื้อกุ้งลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) และ TAC ถึงแม้ในช่วง 6 แรกของการเก็บรักษาเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีความฉ่ำน้ำของเนื้อกุ้งน้อยกว่า TAC แต่หลังจากวันที่ 8 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา พบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีระดับความฉ่ำน้ำของเนื้อกุ้งมากกว่า TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ยังพบว่าตั้งแต่วันที่ 10-28 ของการเก็บรักษาเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T212 ที่มีสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกเข้มข้นสูงที่สุด มีความ

ฉ่ำน้ำของเนื้อกุ้งมากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) รองลงมาได้แก่ชุดการทดลอง T112, T206, T106 และ TAC ตามลำดับ (ภาพที่ 4-24)



ภาพที่ 4-24 ความฉ่ำน้ำของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (SD มีค่าระหว่าง 0.03 - 0.83)

โดยปกติเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่มีคุณภาพดีนั้นมีเนื้อสัมผัสยืดหยุ่นและฉ่ำน้ำสูง เนื่องจากโครงสร้างโปรตีนจับตัวกันแน่นและยังคงสภาพดี ความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำจึงมีมาก ผู้ทดสอบจึงให้ระดับเนื้อสัมผัสทั้งความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำสูง แต่เมื่อเกิดการเน่าเสียโดยจุลินทรีย์ย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนที่เคยจับตัวกันแน่นให้อ่อนตัวลงโมเลกุลของน้ำที่จับกับโปรตีนถูกปลดปล่อย ทำให้ความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำน้อยลง (กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, 2547) ผลการประเมินพบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง TAC มีความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ส่วนเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกพบว่า ชุดการทดลอง T112 และ T106 มีความยืดหยุ่นค่อนข้างคงที่ในช่วง 10 วันแรกของการเก็บรักษาและมีความยืดหยุ่นน้อยลงในวันที่ 12-28 ของการเก็บรักษา ส่วนในชุดการทดลอง T206 มีความยืดหยุ่นมากขึ้นในวันที่ 0-12 และน้อยลงลงในวันที่ 14-20 ของการเก็บรักษา และในชุดการทดลอง T212 มีความยืดหยุ่นมากขึ้น

ในวันที่ 0-14 และน้อยลงในวันที่ 16-28 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ส่วนความฉ่ำน้ำในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) พบว่ามีแนวโน้มคล้ายกับความยืดหยุ่น โดยเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T106 และ T112 มีความฉ่ำน้ำค่อนข้างคงที่ในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษา จากนั้นในวันที่ 8-18 ของชุดการทดลอง T106 และในวันที่ 8-22 ของชุดการทดลอง T112 เนื้อกุ้งขาวต้มสุกมีความฉ่ำน้ำน้อยลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนในชุดการทดลอง T206 และ T212 พบว่ามีความฉ่ำน้ำค่อนข้างคงที่ใน 8 วันแรกของการเก็บรักษา จากนั้นชุดการทดลองทั้ง 2 จึงมีความฉ่ำน้ำน้อยลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$)

ทั้งนี้เห็นว่าในช่วง 6 แรกของการเก็บรักษาเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) มีความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC เนื่องจากสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่มีสภาวะเป็นกรดส่งผลให้เนื้อกุ้งเกิดการเสียสภาพ โปรตีนเกิดการ Fragmentation ทำให้การจับตัวกันของน้ำและโปรตีนน้อยลง เนื้อกุ้งจึงมีลักษณะแห้งและฉ่ำน้ำน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC แต่ในวันที่ 6-28 ของการเก็บรักษา หลังจากเกิดการเน่าเสียตามระยะเวลาการเก็บรักษาความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำของชุดการทดลอง TAC ลดลง ต่างจากชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่ยังมีความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำค่อนข้างคงที่และสูงกว่าชุดการทดลอง TAC ซึ่งเกิดจากประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ทำให้การย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนของเนื้อกุ้งจากจุลินทรีย์เกิดได้น้อยลง เนื้อกุ้งจึงยังมีความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำคงอยู่มากกว่าชุดการทดลอง TAC สอดคล้องกับ Zhao et al. (2013) พบว่าเนื้อปลาจวดเหลือง (*P. crocea*) เคลือบชาเขียวสามารถชะลอการเสื่อมสภาพของโปรตีนที่จะทำให้เนื้อปลานิ่มเละได้เป็นอย่างดี

ตามผลการทดลองที่กล่าวไปข้างต้นถึงความเข้มข้นและสภาวะความเป็นกรดของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่พบว่าในช่วงแรกของการเก็บรักษาชุดการทดลอง T212 ที่มีปริมาณสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด มีความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำน้อยกว่า T106, T112 และ T206 ซึ่งเกิดจากสาเหตุดังกล่าวทำให้เนื้อกุ้งของ T212 มีความแห้งไม่ฉ่ำน้ำมากกว่า ต่อมาเมื่อจุลินทรีย์ที่ยังมีการเจริญเริ่มเพิ่มจำนวนและทำลายโครงสร้างโปรตีน น้ำที่จับตัวอยู่กับโปรตีนถูกปลดปล่อยออกมาชะล้างสารเคลือบเนื้อกุ้งทำให้สภาวะความเป็นกรดลดลง ความแห้งไม่ฉ่ำน้ำของเนื้อกุ้งจึงน้อยลง เนื้อกุ้งมีความยืดหยุ่นและฉ่ำน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ความเข้มข้นของ T212 กลับส่งผลดีต่อการยับยั้งจุลินทรีย์ โดยพบว่าหลังจากวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำของเนื้อกุ้งใน

ชุดการทดลอง T212 มีมากกว่าชุดการทดลองอื่น ซึ่งเป็นผลจากประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่มีมากตามความเข้มข้น เนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T212 จึงมีความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำคงอยู่นานและมีระดังสูงกว่า T106, T112 และ T206 ที่ความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกต่ำกว่า สอดคล้องกับ Fereahtian et al. (2014) ที่พบว่ากุ้งขาว (*L. vannamei*) สดแช่เย็นที่เก็บรักษาด้วยชาเขียวที่ความเข้มข้นสูงที่สุด (600 ppm) มีการเจริญของจุลินทรีย์น้อยกว่าชุดการทดลองที่มีชาเขียวในความเข้มข้นรองลงมา (200 และ 400 ppm) แสดงให้เห็นว่าชาเขียวที่ความเข้มข้นสูงสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสที่เกิดจากจุลินทรีย์ได้ดี ทั้งนี้จากการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่มีความยืดหยุ่นและความน้ำสูงที่สุดคือ T212 รองลงมาคือ T112, T206, T106 และ TAC ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามชนิดของสัตว์น้ำรวมถึงวิธีการเก็บรักษานับเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ใช้ในการเก็บรักษาและยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทำให้ได้ผลการวิจัยที่แตกต่างกันออกไป เช่น Nirmal and Benjakul (2011a) พบว่ากุ้งขาวสดที่เคลือบชาเขียว 5 และ 10 g/L^{-1} สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสและจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดี ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 วัน ส่วน Fereahtian et al. (2014) พบว่ากุ้งขาวสดที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 200, 400 และ 600 ppm ก่อนการแช่เย็นสามารถชะลอการเจริญของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดีเช่นกัน ในขณะที่ Xi et al. (2012) พบว่าเนื้อหอยนางรมที่เคลือบชาเขียว 10% มีการเจริญของจุลินทรีย์ทนเย็นลดลง และความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกก็สามารถชะลอการเน่าเสียในสัตว์น้ำแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์น้ำ เช่น Taheri et al. (2012) พบว่าปลาช่อนทะเลสดแช่สารละลายกรดแอสคอร์บิก 0.25% และ 0.5% นาน 5 นาที ก่อนทำการแช่แข็ง สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีและประสาทสัมผัสได้ดี ในขณะที่ Khan et al. (2006) พบว่ากรดแอสคอร์บิก 0.001% ช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ส่งผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของหอยแมลงภู่ (*Mytilus edulis*) ได้ ทั้งนี้ยังมีงานวิจัยที่ใช้ชาเขียวร่วมกับกรดแอสคอร์บิกในการเก็บรักษาสัตว์น้ำ เช่น Nirmal and Benjakul (2012) ที่พบว่ากุ้งขาวสดเคลือบชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกก่อนนำไปแช่น้ำแข็งสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมีและประสาทสัมผัสได้

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งขาวต้มสุกทั้ง 5 ลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส พบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% ในชุดการทดลอง T212 มีระดับการประเมินทั้ง 5 ลักษณะสูงกว่าชุดการทดลองอื่นที่มีความเข้มข้นรองลงมา (T112, T106 และ T206) เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงของกุ้งขาวต้มสุกได้มากกว่า ทั้งนี้ความเข้มข้นของ

สารละลายในชุดการทดลอง T212 ที่ถึงแม้จะมีผลต่อลักษณะปรากฏ แต่มีผลเพียงช่วงแรกของการเก็บรักษาเท่านั้น เพราะหลังจากที่ทุกชุดการทดลองเกิดการเน่าเสียในด้านต่าง ๆ ประสิทธิภาพของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่มีมากในชุดการทดลอง T212 กลับช่วยให้เนื้อกุ้งขาวต้มสุกมีการเปลี่ยนแปลงช้าลง จึงสรุปได้ว่าชุดการทดลอง T212 เป็นชุดการทดลองที่ดีที่สุดในคุณภาพทางประสาทสัมผัส

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

1. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยาพบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีแนวโน้มของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากจุลินทรีย์ที่หลงเหลือจากการต้มยังคงเจริญและส่งผลให้เนื้อกุ้งขาวต้มสุกเกิดการเน่าเสียอย่างต่อเนื่อง แต่ในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เพราะสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ใช้เคลือบเนื้อกุ้งขาวต้มสุกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียได้ (Hatano et al., 2008) ขณะที่การวิเคราะห์จุลินทรีย์ก่อโรคพบว่า ตรวจไม่พบ *V. parahaemolyticus* ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และไม่พบโคลิฟอร์มแบคทีเรีย, *E. coli*, *B. cereus*, *C. perfringens*, *Salmonella* spp. และ *S. aureus* ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มเนื้อกุ้งขาวที่ 95 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคได้ และเมื่อพิจารณาอายุการเก็บรักษาจากมาตรฐานจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ไม่ควรเกิน 6.0 log CFU/g กุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T212 สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุด 22 วัน รองลงมาได้แก่ T206 และ T112 เก็บได้ 20 วัน T106 เก็บได้ 14 วัน และชุดการทดลอง TAC ที่เก็บได้เพียง 8 วัน

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีในด้านปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) และปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N) สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกการเน่าเสียของสัตว์น้ำได้ เพราะเมื่อสัตว์น้ำเกิดการเน่าเสีย จุลินทรีย์สร้างเอนไซม์มาย่อยสลายโปรตีนของสัตว์น้ำได้เป็นสารผลิตภัณฑ์ในรูปของ TVB-N และ TMA-N กล่าวคือเมื่อจุลินทรีย์เจริญมากขึ้นสัตว์น้ำเน่าเสียมากขึ้นปริมาณ TVB-N และ TMA-N จึงเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าปริมาณ TVB-N และ TMA-N ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกพบว่ามีปริมาณ TVB-N และ TMA-N น้อยกว่าชุดการทดลอง TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกส่งผลให้จุลินทรีย์เจริญน้อยลง สารผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายโปรตีนของจุลินทรีย์ (TVB-N และ TMA-N) จึงมีปริมาณน้อยลง ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์

ดังกล่าวมีมากตามความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก เห็นได้จากชุดการทดลอง T212 ที่มีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด มีปริมาณ TVB-N และ TMA-N น้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา สอดคล้องกับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบว่าชุดการทดลอง T212 มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นกัน ส่วนการวิเคราะห์โมเลกุลโปรตีน (SDS-PAGE) พบว่าการเน่าเสียที่เกิดจากการเจริญของจุลินทรีย์เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้แถบโปรตีน Myosin, Actin และ Tropomyosin ที่พบในเนื้อกุ้งขาวต้มสุกมีลักษณะจางและแคบลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากโครงสร้างโปรตีนถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ทำให้โมเลกุลโปรตีน Myosin, Actin และ Tropomyosin ถูกย่อยและมีขนาดโมเลกุลเล็กลงแถบโปรตีน Myosin, Actin และ Tropomyosin จึงจางและแคบลง แต่อีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการแสดงออกของแถบโปรตีน ในการทดลองครั้งนี้คือสภาวะความเป็นกรดของสารละลายที่ใช้เคลือบเนื้อกุ้ง มีผลทำให้โมเลกุลโปรตีนของเนื้อกุ้งขาดออกจากกัน (Fragmentation) และมีสภาพไม่สมบูรณ์ ทำให้ชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีแถบโปรตีน Myosin, Actin และ Tropomyosin จางและแคบกว่าชุดการทดลอง TAC และสภาวะความเป็นกรดดังกล่าวส่งผลให้เนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T212 มีแถบโปรตีน Myosin, Actin และ Tropomyosin จางและแคบที่สุดเห็นได้ในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา เนื่องจากความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด ทำให้สารละลายมีความเป็นกรดสูงและมีผลต่อการ Fragmentation ของโปรตีนมากกว่าชุดการทดลองอื่นที่ความเข้มข้นต่ำกว่าแถบโปรตีนจึงจางและแคบกว่า

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพในด้านปริมาณ a_w พบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เพราะเมื่อเนื้อกุ้งเน่าเสียมีการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น เกิดการย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนของเนื้อกุ้งทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนลดลงปลดปล่อยน้ำอิสระที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณ a_w ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่าชุดการทดลอง T212 มีปริมาณ a_w น้อยที่สุด เนื่องจาก T212 เป็นชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุดทำให้สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่มีผลต่อปริมาณ a_w ได้มากที่สุด สอดคล้องกับคุณภาพทางจุลชีววิทยาที่พบว่าชุดการทดลอง T212 มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นกัน ซึ่งเมื่อมีการเจริญของจุลินทรีย์น้อยโปรตีนจึงถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้น้อย และยังอยู่ในสภาพดีมีความสามารถในการอุ้มน้ำมาก การปลดปล่อยน้ำอิสระที่มีผลต่อปริมาณ a_w จึงมีน้อยลง ในการตรวจวัดค่าแรงเฉือนพบว่าเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลอง

(TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากเมื่อเกิดการเน่าเสียจุลินทรีย์สร้างเอนไซม์ออกมาย่อยสลายโปรตีนทำให้กล้ามเนื้อเริ่มอ่อนตัวลง และทำให้ค่าแรงเฉือนที่วัดได้มีค่าน้อยลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา การทดลองพบว่าชุดการทดลอง T212 มีค่าแรงเฉือนมากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เป็นผลจากประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกทำให้จุลินทรีย์เจริญได้น้อยลง โปรตีนถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายน้อยและยังคงสภาพความยืดหยุ่นได้ดีทำให้มีค่าแรงเฉือนมาก ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบว่าชุดการทดลองที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดีที่สุดได้แก่ T212 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกมีแนวโน้มสัมพันธ์กับปริมาณ TVB-N และ TMA-N เนื่องจากสมบัติความเป็นเบสของ TVB-N และ TMA-N ส่งผลให้เมื่อปริมาณ TVB-N และ TMA-N เพิ่มขึ้นทำให้เนื้อกุ้งขาวต้มสุกมีสภาวะเป็นเบสสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ค่า pH จึงสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งในช่วง 8 วันแรกของการเก็บรักษาพบว่า เนื้อกุ้งขาวต้มสุกในทุกชุดการทดลอง (TAC, T112, T106, T212 และ T206) มีค่าลดลงสอดคล้องกับปริมาณ TVB-N และ TMA-N ที่มีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วง 8 วันแรกของการเก็บรักษา แต่วันที่ 10 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาพบว่าปริมาณ TVB-N และ TMA-N เพิ่มสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่า pH ที่มีความเป็นเบสเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้พบว่าสภาวะความเป็นกรดของสารละลายที่ใช้เคลือบเนื้อกุ้งมีผลต่อค่า pH ของชุดการทดลองที่มีการเคลือบและไม่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก โดยพบว่าชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีค่า pH เป็นกรดสูงกว่าชุดการทดลอง TAC ที่ไม่มีการเคลือบสารดังกล่าวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามสภาวะความเป็นกรดของสารละลายไม่ได้เป็นปัจจัยเดียวที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก สารสกัดจากชาเขียวนั้นเป็นอีกปัจจัยหนึ่งเช่นกัน เนื่องจากสารสกัดจากชาเขียวในการทดลองครั้งนี้เป็นสารละลายสีน้ำตาลทำให้เนื้อกุ้งที่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวมีสีขาวอมเหลืองคล้ำกว่าชุดการทดลอง TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่งผลต่อค่าสี (L*, a* และ b*) ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก พบว่าในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีสีขาวอมเหลืองคล้ำ มีค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) สูงกว่าชุดการทดลอง TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมีค่าความสว่าง (L*) ต่ำกว่าชุดการทดลอง TAC ในช่วงประมาณ 6 วันแรกของการเก็บรักษา ถึงแม้สีของสารสกัดจากชาขียวนั้นส่งผลดังที่กล่าวไปข้างต้นแต่ประสิทธิภาพของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกก็มีส่วนช่วยในการชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าสีด้วยเช่นกัน เห็นได้จากเนื้อกุ้งขาวสุกในชุดการทดลองที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (T112, T106, T212 และ T206) มีค่า L* สูงกว่า

ชุดการทดลอง TAC ตั้งแต่วันที่ 8 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา เนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าวสามารถชะลอการเน่าเสียที่มีผลต่อสีของเนื้อกุ้งได้ดีกว่าจึงมีสีสว่างกว่าชุดการทดลอง TAC ซึ่งเกิดการเน่าเสียมากกว่าและมีสีคล้ำลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

โดยทั่วไปเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่มีคุณภาพดีมีลักษณะเนื้อสีขาว แถบสีส้มเข้ม ผิวมันเงา มีกลิ่นหอม รสชาติหวาน และมีเนื้อสัมผัสยืดหยุ่น แต่เมื่อมีการเน่าเสียเนื้อกุ้งมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ เนื้อมีสีขาวครีม แถบสีส้มซีด เกิดเมือกบนผิว กลิ่นหอมน้อยเกิดกลิ่นเหม็นคาวและเหม็นเปรี้ยว รสชาติหวานน้อยลง และมีเนื้อสัมผัสนิ่มเละ ผลการทดลองครั้งนี้พบว่า สีของสารสกัดจากชาเขียวที่ใช้ในการเคลือบเนื้อกุ้งขาวต้มสุกมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส เห็นได้จากลักษณะปรากฏของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกที่พบว่า ในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก มีระดับแถบสีส้ม สีของเนื้อกุ้ง และความมันเงาบนผิวของเนื้อกุ้งน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นอกจากนี้สภาวะความเป็นกรดของสารละลายยังส่งผลต่อลักษณะด้านกลิ่น รสชาติ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกอีกด้วย เห็นได้จาก 8 วันแรกของการเก็บรักษาเนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีระดับกลิ่น รสชาติ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสน้อยกว่าชุดการทดลอง TAC เนื่องจากความเป็นกรดดังกล่าวมีผลทำให้โปรตีนของเนื้อกุ้งเกิดการเสียสภาพ กรดอะมิโนบางส่วนถูกย่อยสลาย ความสามารถในอุ้มน้ำลดลง การแสดงออกด้านกลิ่น รสชาติ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 จึงมีน้อยลง อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกนั้นส่งผลดีต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของเนื้อกุ้งขาวต้มสุก ที่พบว่า หลังจากวันที่ 10 ของการเก็บรักษาเป็นต้นไป เนื้อกุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีระดับกลิ่นกุ้งต้ม รสหวาน รสอร่อย กลิ่นรสหอมหวาน ความยืดหยุ่น และความฉ่ำน้ำสูงกว่าชุดการทดลอง TAC เนื่องจากเมื่อสามารถยับยั้งจุลินทรีย์เจริญให้เจริญได้น้อยลง โครงสร้างโปรตีนถูกทำลายได้น้อย การย่อยสลายกรดอะมิโนที่ให้กลิ่น รสชาติ และกลิ่นรสของเนื้อกุ้งจึงเกิดได้น้อยระดับกลิ่นกุ้งต้ม รสหวาน รสอร่อย และกลิ่นรสหอมหวานจึงมีมาก รวมถึงความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนยังมีอยู่มากทำให้เนื้อกุ้งมีความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำคงอยู่มาก อีกทั้งยังสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดเมือก กลิ่นคาว กลิ่นเหม็นเปรี้ยว และกลิ่นรสคาวได้ดี ทำให้ระดับความเป็นเมือก กลิ่นคาว กลิ่นเปรี้ยว และกลิ่นรสคาว ของชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีระดับต่ำกว่าชุดการทดลอง TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านเนื้อสัมผัสควรมีความสัมพันธ์กับค่าแรงเฉือนของคุณภาพทางกายภาพ แต่ในการทดลองพบว่าลักษณะด้าน

เนื้อสัมผัสของชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 ที่มีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีความแตกต่างกับค่าแรงเฉือนในช่วง 8 วันแรกของการเก็บรักษา โดยลักษณะด้านเนื้อสัมผัสทั้งความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำมีระดับต่ำกว่าชุดการทดลอง TAC แต่ค่าแรงเฉือนพบว่าชุดการทดลอง T112, T106, T212 และ T206 มีค่าสูงกว่าชุดการทดลอง TAC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งความแตกต่างนั้นเป็นผลมาจากสภาวะความเป็นกรดของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกส่งผลให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพทำให้การอุ้มน้ำลดลงเนื้อกุ้งมีลักษณะแห้งและเหนียวกว่าชุดการทดลอง TAC เมื่อทำการวัดค่าแรงเฉือนลักษณะแห้งและเหนียวจึงทำให้เนื้อกุ้งมีค่าแรงเฉือนสูง แต่ลักษณะแห้งและเหนียวดังกล่าวส่งผลให้ผู้ทดสอบรู้สึกถึงความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำน้อยกว่าและประเมินให้มีระดับความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำต่ำกว่าชุดการทดลอง TAC

ผลการวิเคราะห์คุณภาพครั้งนี้ส่วนใหญ่สามารถบอกแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการเน่าเสียของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกตามระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ไม่สามารถใช้ตัดสินอายุการเก็บรักษาได้โดยตรง มีเพียงปริมาณ TVB-N, TMA-N และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีค่ามาตรฐานสามารถตัดสินอายุการเก็บรักษาได้ และหากพิจารณาจากมาตรฐานของปริมาณ TVB-N ที่ไม่ควรเกิน 35 mg N/100g. ปริมาณ TMA-N ไม่ควรเกิน 5 mg N/100g. และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ไม่ควรเกิน 6.0 log CFU/g สรุปได้ว่าชุดการทดลองที่สามารถเก็บรักษากุ้งขาวต้มสุกได้นานที่สุดได้แก่ T212 ซึ่งเก็บได้นาน 22 วัน รองลงมาได้แก่ T206 และ T112 เก็บได้ 20 วัน และ T106 เก็บได้ 14 วัน ในขณะที่ชุดการทดลอง TAC เก็บได้เพียง 8 วัน

2. สรุปผลการวิจัย

การเคลือบเนื้อกุ้งขาวต้มสุกด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยา (จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด) คุณภาพทางเคมี (TVB-N และ TMA-N) คุณภาพทางกายภาพ (a_w, pH และแรงเฉือน) และคุณภาพทางประสาทสัมผัส (กลิ่น รสชาติ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส) ของเนื้อกุ้งขาวต้มสุกได้ และการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อค่าสี (L*, a* และ b*) และลักษณะปรากฏ โดยทำให้เนื้อกุ้งมีสีขาวอมเหลือง อีกทั้งประสิทธิภาพในการชะลอเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางนั้นเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก โดยชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุดคือสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25% มีประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสสูงที่สุด

หากพิจารณาจากมาตรฐานของปริมาณ TVB-N ในสัตว์น้ำแปรรูปที่ไม่ควรเกิน 35 mg N/100g ปริมาณ TMA-N ไม่ควรเกิน 5 mg N/100g. และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ไม่ควรเกิน 6.0 log CFU/g สามารถสรุปได้ว่ากุ้งขาวต้มสุกในชุดการทดลองที่เก็บรักษาได้นานที่สุดได้แก่ T212 (สารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 1.25%) ที่เก็บรักษาได้ 22 วัน นอกจากนี้ยังตรวจไม่พบ *V. parahaemolyticus* ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และตรวจไม่พบจุลินทรีย์ก่อโรคทั้งโคลิฟอร์มแบคทีเรีย, *E. coli*, *B. cereus*, *C. perfringens*, *Salmonella* spp. และ *S. aureus* ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ในตัวอย่างเนื้อกุ้งขาวต้มสุกทุกระดับความเข้มข้น

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 หากใช้วิธีการเก็บรักษาอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่นการบรรจุแบบสุญญากาศหรือการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่มีอัตราส่วนของก๊าซในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม อาจช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อกุ้งขาวต้มสุกให้นานขึ้นได้

3.2 ศึกษาวิธีลดข้อจำกัดด้านสีของสารสกัดจากชาเขียวเพื่อประโยชน์ในการยืดอายุการเก็บรักษาและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และเป็นผลดีสำหรับการศึกษาอื่น ๆ ต่อไปในอนาคต

3.3 เพิ่มการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้เป็นปัจจัยร่วมในการตัดสินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

บรรณานุกรม

กมลศิริ พันธนียะ. (2555). *กุ้งขาวลิโทพีเนียส แวนนาไม (Pacific white shrimp)*. เข้าถึงได้จาก http://www.shrimpcenter.com/t-shrimp051.html

กองควบคุมอาหาร. (2552). *คู่มือการปฏิบัติตามประกาศ กระทรวงสาธารณสุข เรื่องมาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค*. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. เข้าถึงได้จาก http://newsser.fda.moph.go.th/food/file/BenefitTrader/BenefitLaw/Manual_Of_Law03P313Update_Oct9_2009.pdf

กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. (2547). *คู่มือการดูแลรักษาสัตว์น้ำที่สถานแปรรูปเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ฉัตรชัย ไตรทอง. (2553). *วิตามินซี*. เข้าถึงได้จาก http://thailand.digitaljournals.org/index.php/RTAMG/article/viewFile/2270/2121

ณัฐรียา เกียรติไพบูลย์. (2553). *การแก้ปัญหาการกีดกันทางการค้าในมาตรการวิเคราะห์ความเสี่ยงการนำเข้ากุ้งและผลิตภัณฑ์ (Import Risk Analysis for Prawns and Prawn Products: IRA) ของออสเตรเลีย*. เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/foreign/images/download/Otherdata/australiaira.doc

ฌาตยา ศรีจันทึก. (2560). *สถานการณ์สินค้ากุ้งทะเลและผลิตภัณฑ์ ปี 2559*. วันที่ค้นข้อมูล 26 ธันวาคม 2560, เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/strategy/fisheconomic/pdf/กุ้งทะเล ทั้งปี 59.pdf

นงนภัส ดวงดี. (2551). *สารต้านอนุมูลอิสระ*. บทความกรมวิทยาศาสตร์บริการ. เข้าถึงได้จาก http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_2_2551_Antioxidant.pdf

นฤมล อัศวเกศมณี. (2550). *การเก็บถนอมสัตว์น้ำ*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ภาพพิมพ์.

นลินี จงวิริยะพันธุ์. (2557). *ประโยชน์ของ 'น้ำมันตับปลา'-หมอรามาฯไขปัญหาสุขภาพ*. เข้าถึงได้จาก http://www.dailynews.co.th/article/226263.

นิรชา วงษ์จินดา. (2547). *คู่มือการดูแลรักษาสัตว์น้ำที่สถานแปรรูปเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

นิรชา วงษ์จินดา. (2556). *กระบวนการผลิตกุ้งแช่เยือกแข็ง*. เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/technical_group/ดาวโหลด/กระบวนการผลิตกุ้งแช่เยือกแข็ง.pdf

เนตรนรินทร์ ขุนสูงเนิน. (2546). *การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อปลานิลซึ่งเก็บรักษาภายใต้การปรับเปลี่ยนบรรยากาศ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

บัญญัติ สุขศรีงาม, กาญจนา หริ่มเพ็ง, นิสา ไกรรักษ์, ปริยา นุพาสันต์, พรรนิภา ศิริเพิ่มพูล, วรนาฏ จงโยธา, ศิริโฉม ทุ่งเก้า, ศิริพร เอื้ออังกูร, สุดารัตน์ สวนจิตร, สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, สุดสายชล หอมทอง และอภิรดี ปิลันธนภาคย์. (2551). *รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถานการณ์การปนเปื้อนและการพัฒนาเทคนิคในการตรวจวัดจุลินทรีย์ก่อโรคในอาหารทะเลแห้งเพื่อมุ่งสู่การเป็นศูนย์ตรวจจุลินทรีย์และการรับรองมาตรฐานสินค้าอาหารแห้ง*. ชลบุรี: ภาควิชาจุลชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

บุษกร อุตรภิชาติ. (2545). *จุลินทรีย์ทางอาหาร*. สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ.

ปณิธี ทิพยธรรม. (2550). *การพัฒนาฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ที่มีการเติมสารธรรมชาติเพื่อการบรรจุอาหาร*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการบรรจุ, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). *Moisture content / ความชื้น*. เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0830/moisture-content-ความชื้น

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2554). *การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์/ Microbial spoilage* เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1856/การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์-microbial-spoilage

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2555). *umami / อูมามิ*. เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2212/umami-อูมามิ

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2556). *โครงสร้างของกาเฟอีน*. เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4088/caffeineกาแฟอีน

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2557). *Hydrogen peroxide /ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์*. เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1924/hydrogen-peroxide-ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

พีระพรรณ โพธิ์ทอง. (2557). *วัตถุเจือปนในอาหาร (Food additive)*. เข้าถึงได้จาก http://haamor.com/th/*วัตถุเจือปนในอาหาร*

พูลทรัพย์ วิรุฬหกุล. (2547). *การจัดการผลผลิตสัตว์น้ำเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค*. กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

มัทนา แสงจินดาวงษ์. (2548). *ผลิตภัณฑ์ประมงของไทย* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ราณี สุรกาญจน์กุล. (2554). *การวิเคราะห์อาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ศิริวรรณ สุทธจิตต์. (2550). *วิตามิน*. กรุงเทพฯ: The Knowledge Center.

สวามินี ธีระวุฒิ. (2553). *เอกสารประกอบการเรียนวิชาหัวข้อเลือกสรรทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 2*. ชลบุรี: สาขาวิชาวาริชศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สวามินี ธีระวุฒิ. (2555). *เอกสารประกอบการเรียนวิชาหัวข้อเลือกสรรทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 1*. ชลบุรี: สาขาวิชาวาริชศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สวามินี ธีระวุฒิ, ปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, อรัชพร บุญสัน และพรพิพัฒน์ เล็กสิงห์โต. (2560). ผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่อลักษณะทางกายภาพ และจุลชีววิทยาของกุ้งขาวสุกเคลือบสารละลายชาเขียวและโซเดียมแอสคอร์เบต. *แก่นเกษตร Khon kaen agriculture journal*, *45*(1), 921-928. เข้าถึงได้จาก https://ag2.kku.ac.th/kaj/PDF.cfm?filename=P052 Fis31.pdf&id=2763&keeptrack=10

สุทธวัฒน์ เบญจกุล. (2554). *เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

สุมาลี เหลืองสกุล. (2541). *จุลชีววิทยาทางอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีววิทยามหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2552). *มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช. 7020-2550 กุ้งขาวแวนนาไม VANNAMEI SHRIMP*. เข้าถึงได้จาก http://www.acfs.go.th/standard/download/std_white_shrim_wannamite.pdf

อัครวัฒน์ ชิงชัย. (2549). ชาเขียว. *วิชัยยุทธจุลสาร,* (34), 42-43. เข้าถึงได้จาก http://www.vichaiyut.co.th/html/jul/34-2549/p42-43_34.asp

อัธยา กังสุวรรณ. (2556). *คู่มือด้านจุลินทรีย์*. เข้าถึงได้จาก http://www.foodsafety-lcfa.com/files/foodsafety_corner/micro_manual.pdf

เอิร์ล มินเดอลล์. (2553). *วิตามินไบเบิล* (ธิดากานต์ รุจิพัฒนกุล, แปล). กรุงเทพฯ: อมรินทร์สุขภาพ.

โอภา วัชระคุปต์. (2550). *สารต้านอนุมูลอิสระ* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: นิวไทยมิตรการพิมพ์.

Ahmad, M., Benjakul, S., Sumpavapol, P., & Nirmal, N. P. (2012). Quality changes of sea bass slices wrapped with gelatin film incorporated with lemongrass essential oil. *International Journal of Food Microbiology*, *155*, 171-178. doi: 10.1016/ j.ijfoodmicro.2012.01.027

Alghazeer, R., Saeed, S., & Howell, N. K. (2008). Aldehyde formation in frozen mackerel (*Scomber scombrus*) in the presence and absence of instant green tea. *Food Chemistry, 108,* 801-810. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.08.067

AOAC. (1994). AOAC Official Method 991.14 Coliform and *Escherichia coli* count in foods. *J. AOAC*, *74*, 635.

AOAC. (1995). *Official Methods of analysis* (16th ed.). Arlington Virginia: Association of official analytical chemist.

APHA. (1992). *Compendium of methods for the microbiological examination of foods* (3rd ed.). Washington DC: American public health association.

Bañón, S., Díaz, P., Rodríguez, M., Garrido, M.D., & Price, A. (2007). Ascorbate, green tea and grape seed extracts increase the shelf life of low sulphite beef patties. *Meat Science*, *77*, 626-633. doi: 10.1016/j.meatsci.2007.05.015

Bio-Rad Laboratories. (2004). *Molecular weight determination by SDS-PAGE.* Retrieved from http://www.bio-rad.com/LifeScience/pdf/Bulletin_3133.pdf

Bondad-Reantaso, M. G., McGladdery, S. E., East, I., & Subasinghe, R. P. (2001). Asia diagnostic guide to aquatic animal diseases. *FAO Fisheries Technical Paper*, *402*(2), 154. Retrieved from http://www.fao.org/3/a-y1679e.pdf

Cadun, A., Kışla, D., & Çaklı, Ş. (2008). Marination of deep-water pink shrimp with rosemary extract and the determination of its shelf-life. *Food Chemistry*, *109*, 81-87. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.12.021

Cao, Y., Ai, N., True, D. A., & Xiong, L. Y. (2018). Effects of (-)-epigallocatechin-3-gallate incorporation on the physicochemical and oxidative stability of myofibrillar protein-soybean oil Emulsions. *Food Chemistry*, *245*, 439-445. doi: 10.1016/j.foodchem. 2017.10.111

Daelman, J., Vermeulen, A., Willemyns, T., Ongenaert, R., Jacxsens, L., Uyttendaele, M., & Devlieghere, F. (2013). Growth/no growth models for heat-treated psychrotrophic *Bacillus cereus* spores under cold storage. *International Journal of Food Microbiology*, *161*, 7-15. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2012.11.017

Dalluge, J. J., & Nelson, B. C. (2000). Determination of tea catechins. *Journal of Chromatography A*, *881*, 411-424. doi: 10.1016/S0021-9673(00)00062-5

Dong, L., Zhu, J., Li, X., & Li, J. (2013). Effect of tea polyphenols on the physical and chemical characteristics of dried-seasoned squid (*Dosidicus gigas*) during storage. *Food Control*, *31*, 586-592. doi: 10.1016/j.foodcont.2012.10.014

EC. (2005). *Total volatile basic nitrogen (TVB-N) limit values for certain categories of fishery products and analysis methods to be used*. *Official Journal of the European Union*. Retrieved from https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/91dc1ed4-6450-4a3c-8cab-45009644715c/language-en

Enzmart Biotech. (2017). *SDS-PAGE.* Retrieved from http://enzmart.com/sds.php

Eymard, S., Baron, P. C., & Jacobsen, C. (2009). Oxidation of lipid and protein in horse mackerel (*Trachurus trachurus*) mince and washed minces during processing and storage. *Food Chemistry*, *114*, 57-65. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.09.030

Fan, W., Chi, Y., & Zhang, S. (2008). The use of a tea polyphenol dip to extend the shelf life of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) during storage in ice. *Food Chemistry*, *108*, 148-153. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.10.057

FDA. (2001). *Bacteriological analytical manual*. Retrieved from http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm070149.html

Feng, L., Jiang, T., Wang, Y., & Li, J. (2012). Effects of tea polyphenol coating combined with ozone water washing on the storage quality of black sea bream (*Sparus macrocephalus*). *Food Chemistry*, *135*, 2915-2921. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.07.078

Fereahtian, M. M., Kamani, H. M., Zenoozian, M. S., Rigi, S., & Safari, O. (2014). The effect of green tea on bacterial changes in white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) refrigerated at a temperature of 4±1 °C. *Journal of Middle East Applied Science and Technology (JMEAST), 18*(2), 501-504. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.07.002

Hasegawa, H. (1987). Laboratory manual on analytical stored at different temperatures. *J. methods and procedures for fish and fish Food Sci*, *55*, 1201-1205.

Hou, Z., Sang, S., You, H., Lee, M. K., Hong, J., Chin, K. V., & Yang, C. S. (2005). Mechanism of action of epigallocatechin-3-gallate: Auto-oxidation-dependent inactivation of epidermal growth factor receptor and direct effects on growth inhibition in human esophageal cancer KYSE 150 Cells. *American Association for Cancer Research (AACR)*, *65*(17), 8049-8056. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-05-0480

Imran, A., Chawalit, J., & Somrote, K. (2013). Characterization of quality degradation during chilled shrimp (*Litopenaeus vannamei*) supply chain. *International Food Research Journal*, *20*(4), 1833-1842. Retrieved from http://www.ifrj.upm.edu.my/20(04)2013/45IFRJ20(04)2013Ismail(414).pdf

Jo, C., Son, J. H., Son, C. B., & Byun, M. W. (2003). Functional properties of raw and cooked pork patties with added irradiated, freeze-dried green tea leaf extract powder during storage at 4 °C. *Meat Science*, *64*, 13-17. doi: 10.1016/S0309-1740(02)00131-6

Khan, M. A., Parrish, C. C., & Shahidi, F. (2006). Effects of mechanical handling, storage on ice and ascorbic acid treatment on lipid oxidation in cultured Newfoundland blue mussel (*Mytilus edulis*). *Food Chemistry*, *99*, 605-614. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.08.001

Laemmli, U. K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, *227*(5259), 680-685. doi: 10.1038/227680a0

Li, T., Hu, W., Li, J., Zhang, X., Zhu, J., & Li, X. (2012a). Coating effects of tea polyphenol and rosemary extract combined with chitosan on the storage quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*). *Food Control*, *25*, 101-106. doi: 10.1016/j.foodcont.2011.10.029

Li, T., Li, J., Hu, W., Zhang, X., Li, X., & Zhao, J. (2012b). Shelf-life extension of crucian carp (*Carassius auratus*) using natural preservatives during chilled storage. *Food Chemistry*, *135*, 140-145. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.04.115

López de Lacey, A. M., López-Caballero, M. E., & Montero, P. (2014). Agar films containing green tea extract and probiotic bacteria for extending fish shelf-life. *LWT-Food Science and Technology*, *55*, 559-564. doi: 10.1016/j.lwt.2013.09.028

Martínez-Alvarez, O., López-Caballero, M. E., Gómez-Guillén, M. C., & Montero, P. (2009). The effect of several cooking treatments on subsequent chilled storage of thawed deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*) treated with different melanosis-inhibiting formulas. *LWT - Food Science and Technology*, *42*, 1335-1344. doi: 10.1016/j.lwt.2009.03.025

Nirmal, N. P., & Benjakul, S. (2009). Effect of ferulic acid on inhibition of polyphenoloxidase and quality changes of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during iced storage. *Food Chemistry*, *116*, 323-331. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.02.054

Nirmal, N. P., & Benjakul, S. (2010). Effect of catechin and ferulic acid on melanosis and quality of pacific white shrimp subjected to prior freeze-thawing during refrigerated storage. *Food Control*, *21*, 1263-1271 doi: 10.1016/j.foodcont.2010.02.015

Nirmal, N. P., & Benjakul, S. (2011a). Use of tea extracts for inhibition of polyphenoloxidase and retardation of quality loss of pacific white shrimp during iced storage. *LWT-Food Science and Technology*, *44*, 924-932. doi: 10.1016/j.lwt.2010.12.007

Nirmal, N. P., & Benjakul, S. (2011b). Retardation of quality changes of pacific white shrimp by green tea extract treatment and modified atmosphere packaging during refrigerated storage. *International Journal of Food Microbiology, 149*, 247-253. doi: 10.1016/ j.ijfoodmicro.2011.07.002

Nirmal, N. P., & Benjakul, S. (2012). Effect of green tea extract in combination with ascorbic acid on the retardation of melanosis and quality changes of pacific white shrimp during iced storage. *Food Bioprocess Technol, 5,* 2941-2951. doi: 10.1007/s11947-010-0483-5

Okpala, R. C. O., Choo, W. S., & Dykes, A. G. (2014). Quality and shelf life assessment of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) freshly harvested and stored on ice. *LWT-Food Science and Technology*, *55*, 110-116. doi: 10.1016/j.lwt.2013.07.020

Pietta, P. G. (2000). Flavonoids as antioxidants. *J. Nat. Prod*, *63*, 1035-1042. doi: 10.1021/ np9904509

Potter, N. N., & Hotchkis, J. H. (1995). *Food Science*. New York: Chapman & Hall.

Roberfroid, M. B., & Calderon, P. B. (1995). *Free radicals and oxidation phenomena in biological systems*. New York: Marcel Dekker.

Sancho, B., Pedro, D., Mariano, R., Garrido, M. D., & Alejandra, P. (2007). Ascorbate, green tea and grape seed extracts increase the shelf life of low sulphite beef patties. *Meat Science, 77,* 626-633. doi: 10.1016/j.meatsci.2007.05.015

Scollary, G. (2015). *Ascorbic acid and white wine oxidation*. Retrieved from http://www.csu.edu.au/nwgic/research/areas/quality

Siripatrawan, U., & Noipha, S. (2012). Active film from chitosan incorporating green tea extract for shelf life extension of pork sausages. *Food Hydrocolloids*, *27*, 102-108. doi: 10.1016/j.foodhyd.2011.08.011

Stone, H. (1992). Quantitative Descriptive Analysis (QDA). In R.C. Hoodman (Ed.), *Manual on Descriptive Analysis Testing for Sensory Evaluation* (pp. 15-21). Philadelphia: ASTM.

Sundararajan, S., Prudente, A., Bankston, D., King, M. J., Wilson, P., & Sathivel, S. (2011). Evaluation of green tea extract as a glazing material for shrimp frozen by cryogenic freezing. *Journal of Food Science*, *76*, 511-518. doi: 10.1111/j.1750-3841.2011.02283.x

Taheri, S., Motalebi, A. A., & Fazlara, A. (2012). Antioxidant effect of ascorbic acid on the quality of Cobia (*Rachycentron canadum*) fillets during frozen storage. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, *11*(3), 666-680. Retrieved from http://jifro.ir/article-1-637-en.html

Tokur, B., & Korkmaz, K. (2007). The effects of an iron-catalyzed oxidation system on lipids and proteins of dark muscle fish. *Food Chemistry*, *104*, 754-760. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.12.033

Xi, D., Liu, C., & Su, Y. C. (2012). Effects of green tea extract on reducing *Vibrio parahaemolyticus* and increasing shelf life of oyster meats. *Food Control, 25,* 368-373. doi: 10.1016/j.foodcont.2011.11.002

Young, K. W., & Whittle, J. (1985). Colour measurement of fish minces using Hunter L, a, b values. *Journal of Science of Food and Agriculture*, *36*(5), 383-392. doi: 10.1002/jsfa.2740360511

Zhang, B., Fang, C. D., Hao, G. J., & Zhang, Y. Y. (2018). Effect of kappa-carrageenan oligosaccharides on myofibrillar protein oxidation in peeled shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during long-term frozen storage. *Food Chemistry, 245*, 254-261. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.10.112

Zhang, B., Ma, L. K., Deng, S. G., Xie, C., & Qiu, X. H. (2015). Shelf-life of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as affected by weakly acidic electrolyzed water ice-glazing and modified atmosphere packaging. *Food Control*, *51*, 114-121 doi: 10.1016/ j.foodcont.2014.11.016

Zhao, J., Lv, W., Wang, J., Li, J., Liu, X., & Zhu, J. (2013). Effects of tea polyphenols on the post-mortem integrity of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) fillet proteins. *Food Chemistry*, *141*, 2666-2674. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.04.126

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

1. แบบสอบถามเพื่อกำหนดคำศัพท์สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

รหัสผู้ทดสอบ..**วันที่**.....................................

คำชี้แจง : ให้ผู้ทดสอบกำหนดคำศัพท์เพื่อแสดงถึงลักษณะด้านต่าง ๆ ของตัวอย่าง กุ้งขาวต้มสุก ดังต่อไปนี้ (บ้วนปากทุกครั้งเมื่อจะทำการทดสอบในตัวอย่างถัดไป)

ลักษณะ	**สด**	**ไม่สด**
ลักษณะปรากฏ	....	....
กลิ่น	....	....
รสชาติ	....	....
กลิ่นรส	....	....
เนื้อสัมผัส	....	....

ข้อเสนอแนะ...

....

....

2. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

รหัสผู้ทดสอบ..**วันที่**...

คำชี้แจง : ให้ผู้ทดสอบประเมินคุณลักษณะของตัวอย่างที่ได้รับโดยทำเครื่องหมาย │ลงบนสเกลแนวนอนที่กำหนดให้ (พร้อมระบุรหัสตัวอย่างไว้บนเครื่องหมาย │) เพื่อแสดงถึงตำแหน่งความพึงพอใจที่ท่านคิดว่าเหมาะสมที่สุดสำหรับคุณลักษณะต่าง ๆ ของแต่ละตัวอย่าง (บ้วนปากทุกครั้งเมื่อจะทำการทดสอบในตัวอย่างถัดไป) ตัวอย่าง : กุ้งขาวต้มสุก

1. ลักษณะปรากฏ (Appearance)

1.1 แถบสีส้มบนตัวกุ้ง

0 = สีขาว　　　　　　　　　　　　10 = สีส้ม

1.2 เนื้อสีขาวบนตัวกุ้ง

0 = สีขาว　　　　　　　　　　　　10 = สีน้ำตาล

1.3 ความมันเงาของผิว

0 = ด้าน　　　　　　　　　　　　10 = มันเงา

1.4 ความเป็นเมือกที่ผิว

0 = น้อย　　　　　　　　　　　　10 = มาก

2. กลิ่น (Odor)

2.1 กลิ่นกุ้งต้ม

0 = จาง　　　　　　　　　　　　10 = เข้ม

2.2 กลิ่นคาว

0 = น้อย 10 = มาก

2.3 กลิ่นเปรี้ยว

0 = น้อย 10 = มาก

2.4 กลิ่นชาเขียว

0 = น้อย 10 = มาก

3. รสชาติ (Taste)

3.1 รสหวาน

0 = น้อย 10 = มาก

3.2 รสขม

0 = น้อย 10 = มาก

3.3 รสเปรี้ยว

0 = น้อย 10 = มาก

3.4 รสอร่อย

0 = น้อย 10 = มาก

4. กลิ่นรส (Flavor)

4.1 กลิ่นรสหอมหวาน

0 = จาง 10 = เข้ม

4.2 กลิ่นรสคาว

0 = จาง 10 = เข้ม

5. เนื้อสัมผัส (Texture)

5.1 ความยืดหยุ่น

0 = น้อย 10 = มาก

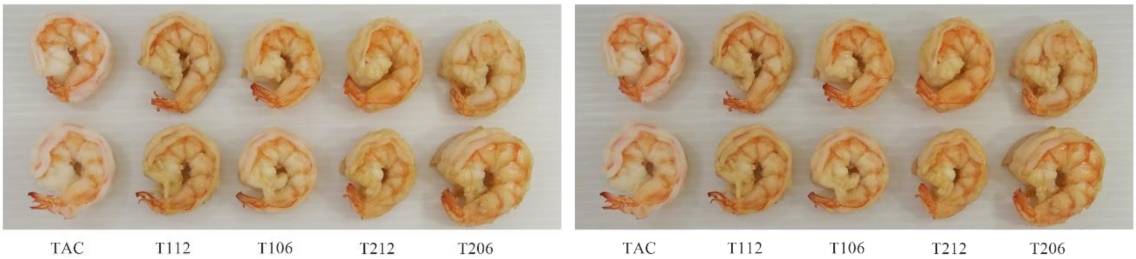
5.2 ความฉ่ำน้ำ

0 = น้อย 10 = มาก

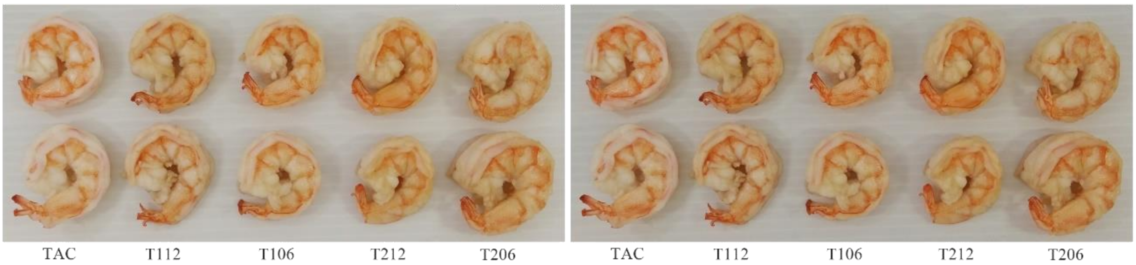
ภาคผนวก ข

ภาพกุ้งขาวต้มสุกตามระยะเวลาการเก็บรักษา

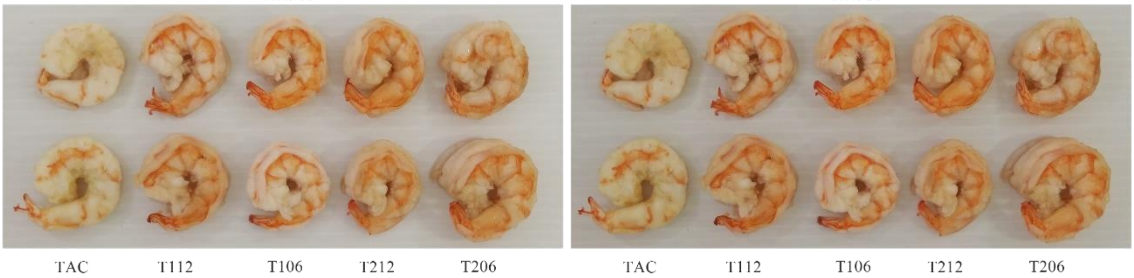
วันที่ 0 วันที่ 4


TAC
T112
T106
T212
T206
TAC
T112
T106
T212
T206

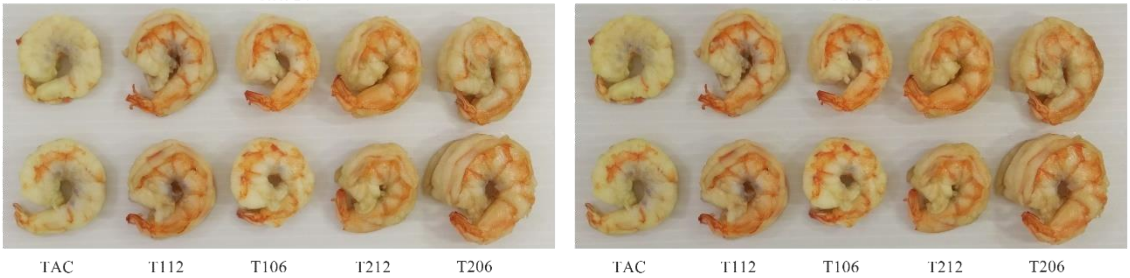
วันที่ 8 วันที่ 12


TAC
T112
T106
T212
T206
TAC
T112
T106
T212
T206

วันที่ 16 วันที่ 20


TAC
T112
T106
T212
T206
TAC
T112
T106
T212
T206

วันที่ 24 วันที่ 28


TAC
T112
T106
T212
T206
TAC
T112
T106
T212
T206

ภาพภาคผนวก ข-1 เนื้อกุ้งขาวต้มสุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส วันที่ 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 และ 28 ของการเก็บรักษา