ผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) สุกที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

รัชดาภรณ์ อาจพงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวาริชศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มกราคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ รัชดาภรณ์ อาจพงษ์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวามินี ธีระวุฒิ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.ปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....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

ผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) สุกที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

รัชดาภรณ์ อาจพงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวาริชศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มกราคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จากความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวามินี ธีระวุฒิ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ ดร.ปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาและจุดบกพร่องต่าง ๆ เป็นอย่างดีตลอดมา ทั้งนี้ผู้วิจัยรู้สึกทราบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีเวียง ทิพกานนท์ และ ดร.ปิยะพร ณ หนองคาย คณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้ ข้อคิด คำแนะนำ และวิจารณ์ผลงานจนงานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณพ่อแม่ ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดมา รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อนสนิทนางสาวภาวิณี ช่วยนุกูล ที่คอยดูแลช่วยเหลือ อีกทั้งเพื่อน ๆ และรุ่นน้องภาควิชาวาริชศาสตร์ที่ร่วมเป็นผู้ประเมินในงานวิจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสและเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้งานวิจัยประสบผลสำเร็จเสร็จสมบูรณ์

รัชดาภรณ์ อาจพงษ์

57910159: สาขาวิชา: วาริชศาสตร์; วท.ม. (วาริชศาสตร์)
คำสำคัญ: เนื้อหอยแมลงภู่สุก/ การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ/ คุณภาพ/ สารสกัดจากชาเขียว/ กรดแอสคอร์บิก

รัชดาภรณ์ อาจพงษ์: ผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) สุกที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก (EFFECT OF MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING FOR QUALITY OF COOK GREEN MUSSEL (*Perna viridis*) COATED WITH GREEN TEA EXTRACT AND ASCORBIC ACID) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: สวามินี ธีระวุฒิ, ปร.ด., ปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, ปร.ด. 138 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุก (*Perna viridis*) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน โดยสภาวะภายในบรรจุภัณฑ์ที่ทำการศึกษามีทั้งหมด 4 สภาวะ ได้แก่ สภาพบรรยากาศปกติ (C000), 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2 (M433), 50%CO_2: 50%N_2 (M550) และ 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2 (M622) พบว่า M622 สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยา (จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด) คุณภาพทางเคมี (TVB-N, TMA-N และการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลโปรตีน) คุณภาพทางกายภาพ (pH, สี L* a* b* และแรงเฉือน) และคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ลักษณะปรากฏ, กลิ่น, กลิ่นรส, รสชาติ และเนื้อสัมผัส) ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ M550 และ M433 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากมาตรฐานคุณภาพด้านจุลินทรีย์สำหรับอาหารทะเลสุกจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่ควรมีค่าเกิน 6 log CFU/ g พบว่า M622 มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 28 วัน M433 และ M550 มีอายุการเก็บรักษา 24 วัน ในขณะที่ C000 ที่พิจารณาอายุการเก็บรักษาจากคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นที่มากกว่า 5 คะแนน พบว่ามีอายุการเก็บรักษาเพียง 8 วัน

57910159: MAJOR: AQUATIC SCIENCE; M.Sc. (AQUATIC SCIENCE)
KEYWORDS: COOKED GREEN MUSSEL/ MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING/ QUALITY/ GREEN TEA EXTRACT/ ASCORBIC ACID

RATCHADAPOND ARJPONG: EFFECT OF MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING FOR QUALITY OF COOK GREEN MUSSEL (*Perna viridis*) COATED WITH GREEN TEA EXTRACT AND ASCORBIC ACID. ADVISORY COMMITTEE: SAVAMINEE TEERAWUT, Ph.D., PATIYUT KWAN-ON, Ph.D. 138 P. 2018.

This research aims to study the effect of modified atmosphere packaging (MAP) on the shelf life prolonging of cooked green mussel (*Perna viridis*) coated with green tea extract and ascorbic acid. The samples were packaged under different MAP conditions as follows; atmospheric air (C000), 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2 (M433), 50%CO_2: 50%N_2 (M550) and 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2 (M622) stored at 4 ± 1 °C for 28 days. The results showed that M622 condition was the most retarded microbiological (total viable count), chemical (TVB-N, TMA-N and protein denaturation), physical (pH, L* a* b* and shear force) and sensory (appearance, odor, flavor, taste and texture) qualities and M550 and M433, respectively. The shelf life of cooked green mussel under M622 was more than 28 days, M433 and M550 were 24 days (total bacterial count was less than 6 log CFU/ g) and C000 was 8 days (odor score was more than 5 score).

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

สมมติฐานของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 3

ขอบเขตของการวิจัย 3

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

หอยแมลงภู่ 4

ชาเขียว 10

กรดแอสคอร์บิก 12

การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ 14

การตรวจสอบคุณภาพของสัตว์น้ำ 20

3 วิธีดำเนินการวิจัย 29

วัตถุดิบ 29

อุปกรณ์ในการแปรรูปและเครื่องมือที่ใช้บรรจุและเก็บรักษา 29

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ 30

อาหารเลี้ยงเชื้อและรีเอเจนต์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์ 30

สารเคมี 31

วิธีการทดลอง 31

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

4 ผลการวิจัย 37

ผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเนื้อหอยแมลงภู่สุกพร้อมบริโภคที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก 37

ผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพทางเคมีของเนื้อหอยแมลงภู่สุกพร้อมบริโภคที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก 45

ผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพทางกายภาพของเนื้อหอยแมลงภู่สุกพร้อมบริโภคที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก 55

การทดสอบเชิงพรรณนากำหนดคำศัพท์ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกพร้อมบริโภคที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก 70

ผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อหอยแมลงภู่สุกพร้อมบริโภคที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก 73

5 อภิปรายและสรุปผล 108

อภิปรายผล 108

สรุปผล 116

ข้อเสนอแนะ 117

บรรณานุกรม 118

ภาคผนวก 127

ภาคผนวก ก 128

ภาคผนวก ข 130

ภาคผนวก ค 134

ประวัติย่อของผู้วิจัย 138

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 มาตรฐานคุณภาพด้านจุลินทรีย์สำหรับอาหารทะเลสดและอาหารทะเลสุก 22

4-1 คำศัพท์ที่แสดงถึงลักษณะคุณภาพของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้เคลือบด้วย
สารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกตามระยะเวลาการเก็บรักษา 71

4-2 คำศัพท์ที่แสดงถึงลักษณะคุณภาพของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียเคลือบด้วย
สารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกตามระยะเวลาการเก็บรักษา 72

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 อวัยวะภายในของหอยแมลงภู่ 5

3-1 การจัดชุดการทดลองของเนื้อหอยแมลงภู่สุกที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก 33

4-1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 40

4-2 ปริมาณ TVB-N ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 47

4-3 ปริมาณ TMA-N ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 49

4-4 รูปแบบโปรตีนของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส วันที่ 0, 4, 8 และ 12 ของการเก็บรักษา 53

4-5 รูปแบบโปรตีนของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส วันที่ 16, 20, 24 และ 28 ของการเก็บรักษา 54

4-6 ค่าความเป็นกรดด่างของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 57

4-7 การเปลี่ยนแปลงสีผิวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก วันที่ 0 และ 28 ของการเก็บรักษา 59

4-8 ค่า L* ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-9 ค่า a* ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 65

4-10 ค่า b* ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 66

4-11 ค่าแรงเฉือนของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 69

4-12 สีขาวครีมของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และสีส้มของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 76

4-13 ความมันเงาที่ผิวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 77

4-14 ความเป็นเมือกที่ผิวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 79

4-15 ลักษณะผิวภายนอกของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 80

4-16 กลิ่นหอยต้มของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 84

4-17 กลิ่นชาเขียวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 85

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-18 กลิ่นน้ำทะเลของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 87

4-19 กลิ่นเหม็นเปรี้ยวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 90

4-20 กลิ่นรสหอมหวานของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 93

4-21 รสอร่อยของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 96

4-22 รสหวานของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 97

4-23 รสขมของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 98

4-24 รสเค็มของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 100

4-25 รสเปรี้ยวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 101

4-26 ความยืดหยุ่นของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 104

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-27 ความฉ่ำน้ำของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียว และกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน 106

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หอยแมลงภู่เป็นหอยสองฝาที่นิยมบริโภคและมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ แต่เนื่องจากหอยแมลงภู่เป็นสัตว์น้ำที่มีระบบการกินอาหารแบบกรองกินจึงมีการสะสมจุลินทรีย์ภายในตัวเองสูง เมื่อหอยแมลงภู่ตายจุลินทรีย์เหล่านี้จะย่อยสลายและนำสารอาหารที่ได้มาใช้เพื่อเจริญเพิ่มจำนวน หอยแมลงภู่จึงเกิดการเน่าเสียทำให้มูลค่าทางเศรษฐกิจและคุณค่าทางโภชนาการลดลง

ปัจจุบันมีการนำหอยแมลงภู่มาผ่านกรรมวิธีปรุงสุกต่าง ๆ เช่น การต้มและการนึ่งเพื่อลดอัตราการเน่าเสีย แต่วิธีการดังกล่าวยังไม่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาหอยแมลงภู่สุกได้นานกว่า 6 วัน (สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, 2557) เพราะเมื่อเวลาผ่านไปการเน่าเสียยังคงเกิดขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์บางส่วนที่ทนความร้อนยังสามารถเจริญได้ เอนไซม์ที่เกิดจากจุลินทรีย์ดังกล่าวจึงเป็นตัวเร่งอัตราการย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนส่งผลให้เนื้อสัมผัสของหอยแมลงภู่นิ่มเละและเกิดกลิ่นเหม็นเน่า (bacterial spoilage) เมื่อโครงสร้างโปรตีนของเนื้อหอยแมลงภู่ถูกทำลาย กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำและกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีสูงในหอยแมลงภู่ส่งผลให้เกิดกลิ่นหืนและอนุมูลอิสระขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยของสวามินี ธีระวุฒิ, ปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน และรัชดาภรณ์ อาจพงษ์ (2559) พบว่าการนำเนื้อหอยแมลงภู่สุกมาเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 2.5% สามารถเก็บได้นานถึง 10 วัน เนื่องจากสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ได้แต่ข้อจำกัดของการใช้สารสกัดจากชาเขียวมากเกินไปส่งผลให้เนื้อหอยแมลงภู่มีสีคล้ำและมีรสฝาด ส่วนกรดแอสคอร์บิกหากใช้มากเกินไปส่งผลให้เนื้อหอยแมลงภู่มีรสเปรี้ยว ดังนั้นการนำวิธีการบรรจุที่เหมาะสมเช่นการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ (Modified atmosphere packaging; MAP) ที่มีการจำกัดสัดส่วนก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์มาใช้ร่วมด้วย จุลินทรีย์บางกลุ่มที่ไม่สามารถทนต่อสภาวะก๊าซที่มีอยู่อย่างจำกัดไม่สามารถเจริญได้ เมื่อจุลินทรีย์ดังกล่าวถูกจำกัดการเน่าเสียด้วยกระบวนการย่อยสลายจากจุลินทรีย์จึงถูกยับยั้งตามไปด้วย ดังนั้นหากนำการ MAP มาใช้ในการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกจึงช่วยทำให้เนื้อหอยแมลงภู่สุกมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น อีกทั้งยังได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เหมาะกับวิถีชีวิตของคนยุคใหม่ที่ต้องการความสะดวกรวดเร็วอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของหอยแมลงภู่สุกที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่แตกต่างกัน

2. ศึกษาอายุการเก็บรักษาหอยแมลงภู่สุกที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่แตกต่างกัน

สมมติฐานของการวิจัย

การเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศที่ต่างกันของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีผลต่ออายุการเก็บรักษาที่ต่างกัน

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

เนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่บรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศไม่มีผลกับอายุการเก็บรักษา

H_1 : มี μ_1 อย่างน้อง 1 คู่ที่แตกต่างกัน

เนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่บรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศมีสภาพบรรยากาศอย่างน้อย 1 สภาพบรรยากาศมีผลต่ออายุการเก็บรักษา

กำหนดให้

μ_1 = M622 (เนื้อหอยแมลงภู่สุกที่บรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่ 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2)

μ_2 = M550 (เนื้อหอยแมลงภู่สุกที่บรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่ 50%CO_2: 50%N_2)

μ_3 = M433 (เนื้อหอยแมลงภู่สุกที่บรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่ 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2)

μ_4 = C000 (เนื้อหอยแมลงภู่สุกที่บรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่สภาพบรรยากาศปกติ; ตัวอย่างควบคุม)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบถึงการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาและชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของหอยแมลงภู่สุกที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

2. ความรู้จากงานวิจัยสามารถปรับใช้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาอุตสาหกรรมหอยแมลงภู่สุกและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่และสร้างรายได้เพิ่มให้กับผู้ผลิตได้

3. เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่

4. ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ได้ผู้บริโภคสามารถนำไปอุ่นและรับประทานได้ทันทีเหมาะกับวิถีชีวิตของคนยุคใหม่ที่ต้องการความสะดวกรวดเร็ว

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้ศึกษาเฉพาะหอยแมลงภู่สุกที่ต้มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ แกะเอาแต่เนื้อหอย โดยใช้สารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 2.5% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002% (w/ v) มาเคลือบและใช้เฉพาะบรรจุภัณฑ์ลามิเนตชนิดอ่อนตัว (PVDC/ PA/ CPP) ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส เท่านั้น โดยศึกษาถึงสภาวะการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่ใช้ในการเก็บรักษาที่ดีที่สุด ทำการตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส ทุก 2 วัน นาน 28 วัน

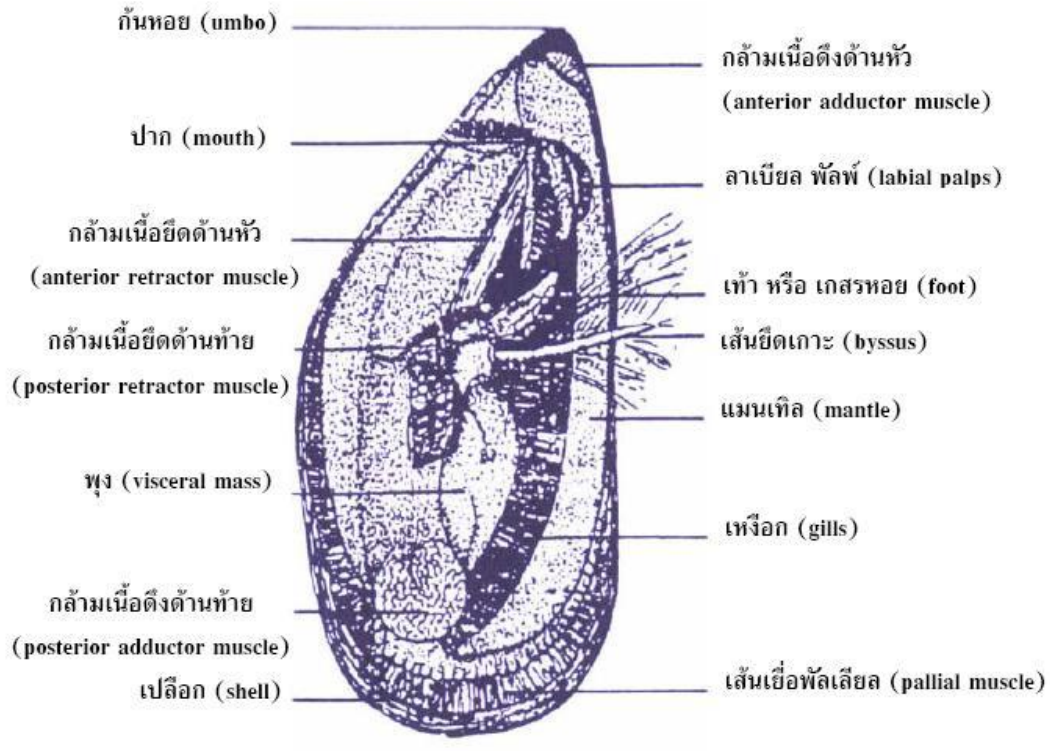
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. หอยแมลงภู่

1.1 ชีววิทยาของหอยแมลงภู่

หอยแมลงภู่ (Green mussel) เป็นหอยสองฝา มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Perna viridis* Linnaeus จัดอยู่ใน Phylum Mollusca, Class Bivalvia, Order Mytiloida, Family Mytilidae มีลักษณะของเปลือกเป็นรูปทรงยาวรีด้านหน้าเรียวยาวแหลม ด้านท้ายป้าน เปลือกทั้งสองข้างมีลักษณะเหมือนกันและขนาดเท่ากัน โดยด้านนอกมีสีเขียวอมน้ำตาล มีวงเป็นชั้นแสดงถึงการเจริญเติบโตในแต่ละปี ส่วนด้านในมีสีขาวขุ่นมันวาว ลำตัวมีลักษณะอ่อนนุ่มอยู่ภายในเปลือก มีอวัยวะภายในประกอบด้วย หัวใจและระบบเลือดแบบเปิด เลือดของหอยแมลงภู่ไม่มีสี มีเยื่อหุ้มลำตัวทั้งหมดอยู่ติดกับฝาทั้งสองข้าง เท้ามีขนาดเล็กและมีต่อมสร้างเส้นใยยึดติด มีเหงือกขนาดใหญ่ยาวเท่ากับลำตัวและใช้ในการแลกเปลี่ยนก๊าซ (ภาพที่ 2-1) มีระบบการกินอาหารแบบกรองกิน จากลักษณะภายนอกไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างเพศของหอยแมลงภู่ได้ แต่สามารถแยกได้จากสีของเนื้อหอยแมลงภู่ โดยเนื้อหอยแมลงภู่เพศผู้มีสีขาวครีมหรือสีน้ำนม ส่วนเนื้อหอยแมลงภู่เพศเมียมีสีส้มหรือสีแสด เนื่องจากเยื่อหุ้มลำตัวของเนื้อหอยแมลงภู่ทั้งสองด้านประกอบด้วยเซลล์สืบพันธุ์ สีส้มหรือสีแสดที่พบในเนื้อหอยแมลงภู่เพศเมียเกิดจากสีของไข่ โดยความเข้มของสีไข่มีผลมาจากปริมาณของเม็ดสีแคโรทีนอยด์ที่ได้รับจากอาหาร หอยแมลงภู่มีการแพร่กระจายตามแนวชายฝั่งทะเลของประเทศไทย ฟิลิปปินส์ สิงคโปร์ มาเลเซีย อินโดนีเซีย สาธารณรัฐประชาชนจีน อินเดีย และบางพื้นที่ของแอฟริกาใต้ (กรมประมง, 2536; มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547) วราวุฒิ วันริโก (2555) กล่าวว่าหอยแมลงภู่ที่พบบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกและตะวันตกของประเทศไทยมีช่วงเวลาสืบพันธุ์และวางไข่แตกต่างกัน ดังนี้

- บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกมีช่วงสืบพันธุ์และวางไข่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคมกับช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์
- บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันตกช่วงสืบพันธุ์และวางไข่ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคมกับช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงมกราคม



ภาพที่ 2-1 อวัยวะภายในของหอยแมลงภู่ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2550)

1.2 คุณค่าทางโภชนาการ

หอยแมลงภู่เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ ในเนื้อหอยแมลงภู่สด 100 กรัม มีความชื้นเป็นองค์ประกอบ 80.58 เปอร์เซ็นต์ และมีคุณค่าทางโภชนาการมากมาย ได้แก่ โปรตีน 11.90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น ไลซีน (Lysine) ช่วยเสริมสมาธิ ช่วยป้องกันโรคเริมและโรคกระดูกพรุน บรรเทาปัญหาด้านการสืบพันธุ์ ลิวซีน (Leucine) ช่วยกระตุ้นการทำงานของสมอง ช่วยเพิ่มพลังงานให้กล้ามเนื้อ และช่วยให้เซลล์ประสาทแข็งแรง วาลีน (Valine) ช่วยกระตุ้นสมรรถนะของสมอง และช่วยประสานงานกล้ามเนื้อ (เอิร์ล มินเดลล์, 2554) ซึ่งนอกจากนี้เนื้อหอยแมลงภู่ยังมีไขมัน 2.24 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว เช่น DHA (Docosacexaenoic acid) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์สมอง ช่วยบำรุงสมองและการมองเห็น EPA (Eicosapentaenic acid) ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอร์ไรด์ เพิ่มปริมาณ HDL ในเลือด (ณัฐวัฒน์ เอกธีรเศรษฐ์, 2550) มีคอเลสเตอรอล (Cholesterol) ช่วยให้ร่างกายสังเคราะห์น้ำดีเพื่อย่อยและดูดซึมสารอาหาร

ประเภทไขมัน เป็นองค์ประกอบสำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ อีกทั้งยังเป็นสารตั้งต้นของฮอร์โมนเพศและฮอร์โมนที่ผลิตได้จากต่อมหมวกไต (เดลินิวส์, 2560) ซึ่งนอกจากโปรตีนและไขมันแล้ว เนื้อหอยแมลงภู่ยังประกอบด้วย เถ้า 1.59 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 3.69 เปอร์เซ็นต์ วิตามินซี 8 กรัม วิตามินบี6 0.05 มิลลิกรัม วิตามินบี12 12 มิลลิกรัม เหล็ก 3.95 มิลลิกรัม โซเดียม 286 มิลลิกรัม โปแตสเซียม 320 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 197 มิลลิกรัม และพลังงาน 86 กิโลแคลอรี (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2553 ข)

1.3 การเลี้ยงหอยแมลงภู่ในประเทศไทย

ประเทศไทยมีการเลี้ยงหอยแมลงภู่แพร่กระจายอยู่ทั่วไปในทุกจังหวัดที่ติดชายฝั่งทะเลทั้งด้านอ่าวไทยและอันดามัน จังหวัดที่นิยมเลี้ยงหอยแมลงภู่และให้ผลผลิตปริมาณมาก ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และปัตตานี (คเชนทร์ เฉลิมวัฒน์, 2544) เมื่อพิจารณาถึงข้อมูลปริมาณผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงหอยแมลงภู่ในประเทศไทยปี 2554 มีผลผลิต 126.6 ตัน และปี 2555 มีผลผลิต 103.2 ตัน ซึ่งคิดเป็นมูลค่าเท่ากับ 591.6 และ 640.9 ล้านบาท ตามลำดับ (ศูนย์สารสนเทศกรมประมง, 2557) ซึ่งการเลี้ยงหอยแมลงภู่นั้นมีหลายแบบ แต่ละแบบเหมาะที่จะใช้ตามลักษณะภูมิประเทศและสภาพแวดล้อม รูปแบบการเลี้ยงที่นิยม คเชนทร เฉลิมวัฒน์ (2544) ได้กล่าวไว้ ดังนี้

1.3.1 การเลี้ยงแบบปักหลักล่อลูกหอย: การเลี้ยงแบบนี้เหมาะสำหรับบริเวณน้ำตื้น มีความลึกประมาณ 4 - 6 เมตร ตามบริเวณชายฝั่งทะเลที่มีสภาพเป็นอ่าวทั่วไป พื้นทะเลตั้งแต่เส้นขอบฝั่งออกไปไม่ลาดชันมาก สภาพดินเป็นโคลนและโคลนปนทราย ระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดไม่แตกต่างกันมากนัก เป็นแหล่งน้ำที่มีแพลงก์ตอนอาหารตามธรรมชาติของหอยอย่างสมบูรณ์ หากมีเกาะแก่งหรือภูเขาที่ตั้งอยู่ชายน้ำจะช่วยเป็นเครื่องกำบังคลื่นลมและกระแสน้ำได้ดี

1.3.2 การเลี้ยงแบบแพ: การเลี้ยงหอยแมลงภู่แบบแพเชือกเป็นวิธีการเลี้ยงหอยที่สามารถเลี้ยงได้ในบริเวณคลื่นลมแรง พื้นดินเป็นดินแข็งหรือเป็นบริเวณที่ไม่สามรถปักไม้ลงไปได้ โดยตัวแพที่ใช้เลี้ยงต้องมีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมคลื่นลมได้เป็นอย่างดี

1.3.3 การเลี้ยงหอยแมลงภู่ร่วมกับการทำโป๊ะจับปลา: วิธีนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับการปักหลักเลี้ยงล่อลูกหอย แต่แตกต่างกันที่การปักไม้ไผ่ โดยการปักไม้ไผ่ด้วยวิธีนี้มีการปักเป็นรูปโป๊ะเพื่อใช้ประโยชน์ในการจับปลาร่วมด้วย

1.3.4 การเลี้ยงแบบแขวนบนราวเชือก: ปัจจุบันประเทศไทยนิยมใช้วิธีนี้กันมากขึ้น โดยวิธีนี้เหมาะสมกับแหล่งน้ำที่มีระดับลึก ปลอดภัยจากกระแสคลื่นลม และอยู่ห่างจากชายฝั่ง

1.4 การเน่าเสียและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสัตว์น้ำ

คุณภาพสัตว์น้ำหรือผลิตภัณฑ์ประมงมีความสำคัญต่อการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำที่มีคุณภาพสูงให้อยู่เกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับ ความสด (freshness) ของสัตว์น้ำมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากสัตว์น้ำเป็นวัตถุดิบที่เน่าเสียง่าย ทันทีที่สัตว์น้ำตายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ เช่น การย่อยสลายตัวเองด้วยเอนไซม์ (Autolysis) จากน้ำย่อยและจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับสัตว์น้ำเอง (bacterial spoilage) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำมีมูลค่าลดลงและสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งการเน่าเสียของสัตว์น้ำนั้นเกิดขึ้นได้จากกระบวนการต่าง ๆ 3 กระบวนการ คือ

1.4.1 เกิดจากน้ำย่อยของตัวสัตว์น้ำเอง (autolysis)

การย่อยสลายตัวเองจากเอนไซม์ของสัตว์น้ำเป็นกระบวนการย่อยสลายโดยเอนไซม์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับนิวคลีโอไทด์และการใช้คาร์โบไฮเดรต โดยเอนไซม์ดีอะมิเนสในเนื้อของสัตว์น้ำเองทำให้เกิดการสลายตัวของนิวคลีโอไทด์ในเนื้อสัตว์น้ำ ซึ่งการสลายตัวของนิวคลีโอไทด์ เริ่มจาก Adenosine triphosphate (ATP) สลายตัว โดยการปล่อยแอมโมเนียไปเป็น Inosine monophosphate (IMP) และ Inosine ตามลำดับ จากนั้น Inosine ส่วนหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลไรโบส (Ribose) และส่วนหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นไฮโปแซนทีน (Hypoxanthine) แซนทีน (Xanthine) และกรดยูริค การย่อยสลายตัวเองจากเอนไซม์ในตัวหอยเกิดขึ้นเช่นเดียวกับสัตว์น้ำชนิดอื่น แต่ระยะเวลาการย่อยสลายเร็วกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่น เนื่องจากหอยมีขนาดตัวที่เล็กแต่มีแหล่งเอนไซม์มากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดตัว อีกทั้งชนิดโปรตีนหรือการจับกันของโครงสร้างต่าง ๆ ภายในร่างกายมีความแข็งแรงน้อยกว่าโปรตีนของสัตว์น้ำชนิดอื่น เพราะหอยมีปริมาณน้ำในตัวมาก การย่อยสลายของโครงสร้างโปรตีนจึงเกิดขึ้นได้ง่ายส่งผลให้หอยเกิดการเน่าเสียรวดเร็วกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่น (สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, 2557)

สัตว์น้ำที่มีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีอยู่ตลอดเวลา เช่น กระบวนการเมตาบอลิซึม การปรับสภาพความเข้มข้นของสารละลายในเนื้อเยื่อให้พอเหมาะกับน้ำทะเล (Osmoregulation) ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบบางชนิด เช่น ยูเรีย และไกลซีน เป็นต้น แต่สัตว์น้ำที่ตายแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในอีกลักษณะหนึ่ง ซึ่งบุษกร อุตรภิชาติ (2555) ได้กล่าวไว้เป็นลำดับขั้นตอน ดังนี้

ระยะก่อนการเกร็งตัว (pre - rigor mortis stage) เริ่มตั้งแต่สัตว์น้ำตาย การขนส่งออกซิเจนหยุดชะงักทำให้เนื้อเยื่อขาดออกซิเจน แต่เนื้อเยื่อยังมีชีวิตและยังต้องการพลังงานเพื่อใช้ในการหดตัวซึ่งพลังงานนี้สะสมอยู่ในรูป ATP (Adenosine triphosphate) ดังนั้น ATP จึงถูกนำไปใช้ไปและเกิดเป็นกระบวนการ ATP hydrolysis มีการสร้าง ATP ใหม่ขึ้นมาชดเชย

โดยสร้างจากกลูโคสแบบไม่ใช้ออกซิเจนทำให้ระดับของความเป็นกรดเบสของเนื้อเยื่อลดลงและมีกรดแลคติกเกิดขึ้น

ระยะการเกร็งตัว (rigor mortis stage) เกิดขึ้นภายหลังสัตว์น้ำตายแล้ว โดยโปรตีนที่ประกอบอยู่ในเส้นใยเนื้อเยื่อ คือ แอคติน (Actin) รวมตัวกับไมโอซิน (Myosin) และเกิดขึ้นเป็นแอกโตไมโอซิน (Actomyosin) ซึ่งการรวมตัวนี้ต้องอาศัยพลังงานจาก ATP ด้วยเหตุที่ปริมาณ ATP ในเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำเริ่มต่ำลงจึงทำให้เกิดการรวมตัวกันอย่างถาวรของแอกโตไมโอซินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดการเกร็งแข็งและสูญเสียความสามารถในการยืดตัว

ระยะหลังการเกร็งตัว (post - rigor mortis stage) เมื่อสิ้นสุดระยะการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อค่อย ๆ อ่อนตัวลง ทั้งนี้เป็นผลจากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ที่อยู่ภายในเนื้อสัตว์เอง

สำหรับหอยที่เริ่มเกิดการเน่าเสีย เปลือกหอยอ้าออกจากกัน เนื้อมีสีผิดปกติ ซึ่งสัตว์น้ำจำพวกหอยนั้นมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างจากปลาและกุ้ง โดยสารอาหารที่สำคัญนอกจากโปรตีนที่มีอยู่ในเนื้อหอย ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตซึ่งอยู่ในรูปของไกลโคเจน น้ำตาลที่ได้จากการย่อยสลายไกลโคเจนทำให้หอยเกิดการเน่าเสีย มีกลิ่นเหม็นและมีรสเปรี้ยว ค่าความเป็นกรดด่างของหอยจึงสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของหอยได้ โดยหอยที่มีคุณภาพดีควรมีค่าความเป็นกรดด่าง 6.2 - 5.9 ส่วนหอยที่มีคุณภาพลดลงจะมีค่าความเป็นกรดด่าง 5.8 หากมีค่าความเป็นกรดด่าง 5.7 - 5.5 หอยจะเริ่มมีกลิ่นอับ (musty) และเมื่อมีค่าความเป็นกรดด่างต่ำลงถึง 5.2 หอยจะมีรสเปรี้ยวและมีกลิ่นเหม็นเน่า ซึ่งสัตว์น้ำจำพวกหอยและหมึกจะมีปริมาณของไนโตรเจนมากกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ โดยลักษณะสำคัญของสัตว์น้ำจำพวกนี้ คือ เนื้อเยื่อประกอบด้วย กรดอะมิโนอาร์จินีน (Arginine) แอสพาร์ติก (Aspartic) และกลูตามิก (Glutamic acid) ซึ่งพบมากกว่าในสัตว์น้ำจำพวกปลา ส่วนองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ของหอย พบว่าหอยมีคาร์โบไฮเดรตมากกว่าปู โดยเนื้อปูมีคาร์โบไฮเดรต 3.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเนื้อหอยมีคาร์โบไฮเดรต 5.6 เปอร์เซ็นต์ การเน่าเสียของหอยจึงแตกต่างจากอาหารทะเลชนิดอื่น ๆ

1.4.2 เกิดจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (bacterial spoilage)

น้ำย่อยของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่ติดมากับตัวสัตว์น้ำสามารถย่อยโปรตีนและทำให้เกิดกลิ่นเน่าเหม็นของสารระเหยได้ ซึ่งบุษกร อุตรภิชาติ (2555) ได้กล่าวว่าสารระเหยที่เกิดขึ้นได้แก่กลิ่นของสารต่อไปนี้

- ไตรเมทธิลเอมีน (Trimethylamine: TMA) เกิดจากจุลินทรีย์กลุ่ม Enterobacteraceae รีดิวส์สารไตรเมทธิลเอมีนออกไซด์ (Trimethylamine oxide: TMAO) ซึ่งเป็นสารที่พบในสัตว์ทะเลทุกชนิด

- ฮีสตามีน (Histamine) เกิดจาก *Achromobacter histameneum* ใช้กรดอะมิโนฮีสติดีน (Histidine) แล้วผลิตสารฮีสตามีนออกมา

- แอมโมเนีย (Ammonia) เกิดจากจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ยูเรียเพียงอย่างเดียวแล้วผลิตแอมโมเนียออกมาและกลุ่มจุลินทรีย์ที่ต้องใช้ทั้งยูเรียและสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ยูเรียเพียงอย่างเดียว ได้แก่ *Pseudomonas geniculate* และ *Flavobacterium funcatum* ส่วนจุลินทรีย์ที่ต้องใช้ยูเรียและสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ ได้แก่ *Achromobacter butyric* และ *Pseudomonas putrefaciens*

- ไนเตรท (Nitrate) เกิดจาก *Pseudomonas* ใช้ไฮดรอกซิลเอมีน (Hydroxyl amine) เป็นอาหารแล้วเปลี่ยนไฮดรอกซิลเอมีนเป็นไนเตรท

- กลิ่นไม่พึงประสงค์ ส่วนใหญ่มักเกิดจาก *Shewanella putrefaciens, Achromobacter* sp., *P. fluorescens* และ *P. perolens*

จุลินทรีย์ที่พบในหอยส่วนใหญ่มาจากแหล่งน้ำที่หอยอาศัยอยู่ น้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดและปัจจัยอื่น ๆ โดยจุลินทรีย์ที่ทำให้หอยเกิดการเน่าเสีย ได้แก่ Pseudomonas, Achromobacter, Flavobacterium, Corynebacterium, Micrococcus นอกจากนี้ยังมีพวก Enterococci, Lactobacilli และยีสต์อีกด้วย (บุษกร อุตรภิชาติ, 2555; Fraser & Sumar, 1998)

1.4.3 เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

การย่อยสลายไขมันในสัตว์น้ำเกิดจากเอนไซม์ของจุลินทรีย์และเอนไซม์ภายในตัวของสัตว์น้ำเอง ทำให้ออกซิเจนเข้ามาเติมบริเวณพันธะคู่ของกรดไขมันและเกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ โดยกลไกของปฏิกิริยานั้นเกิดขึ้นกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พันธะคู่ที่มีความไวต่อการทำปฏิกิริยาไปจับตัวกับออกซิเจนที่มากระตุ้นทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ($R^{\cdot}$) ขึ้น (บุษกร อุตรภิชาติ, 2555; สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, 2555) ดังสมการ

(1) Initiating step: $RH + O_2 \longrightarrow R^{\cdot} + OH$

จากนั้นอนุมูลอิสระ ($R^{\cdot}$) ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนที่หนึ่งจะไปทำปฏิกิริยาต่อกับออกซิเจนทำให้เกิดอนุมูลเปอร์ออกซี ($ROO^{\cdot}$) ขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยอนุมูลเปอร์ออกซีนี้จะไปทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวตัวใหม่และเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ROOH) ขึ้น (สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, 2555) ดังสมการ

(2) Propagating step: $R^{\cdot} + O_2 \longrightarrow ROO^{\cdot}$

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

สุดท้ายเมื่ออนุมูลอิสระ ($R^{\cdot}$) ที่หลงเหลือจากปฏิกิริยาขั้นที่สองมารวมตัวกันทำให้เกิดเป็นสารใหม่ (RR) ที่มีความผิดปกติไปของ กลิ่น สี และรสชาติ (สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, 2555) ดังสมการ

(3) Terminating step:

$$R^{\cdot} + R^{\cdot} \longrightarrow RR$$

$$R^{\cdot} + ROOH \longrightarrow ROOR$$

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

2. ชาเขียว

ชา เป็นผลผลิตทางเกษตรกรรมจากใบ ยอดอ่อน และก้านของต้นชา (*Camellia sinensis*) นำมาผ่านกรรมวิธีแปรรูป แต่กรรมวิธีแปรรูปที่ต่างกันจะทำให้ได้ชาที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ชาดำ ชาอู่หลง และชาเขียว ต้นชามีสายพันธุ์หลัก 2 สายพันธุ์ คือ ชาจีน (*Camellia sinensis* var. sinensis) มีลักษณะใบค่อนข้างเล็ก นิยมปลูกในประเทศจีน ญี่ปุ่น รวมทั้งประเทศไทย และชาอัสสัม (*Camellia sinensis* var. assamica) มีลักษณะใบใหญ่กว่าชาจีน นิยมปลูกในประเทศอินเดียและศรีลังกา ชาที่มีคุณภาพดีเป็นส่วนของยอดอ่อนและใบอ่อนสองใบแรกเท่านั้น โดยชาที่นิยมใช้ในการบริโภคเป็นต้นชาที่ปลูกบนพื้นที่สูง มีอากาศเย็น มีความชื้น และอุณหภูมิที่เหมาะสม (อัครวัฒน์ ชิงชัย, 2549)

2.1 ชาเขียว (Green tea)

ชาเขียวเป็นชาที่ไม่ผ่านขั้นตอนการหมักทำให้ไม่สูญเสียองค์ประกอบที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพไปในระหว่างการผลิตเหมือนชาดำและชาอู่หลง แต่ได้จากการทำให้ใบชาแห้งที่อุณหภูมิสูงอย่างรวดเร็ว ใบชาแห้งที่ได้จึงมีสีเขียวและมีคุณภาพเช่นเดียวกับใบชาสด ซึ่งเมื่อนำมาชงกับน้ำร้อนแล้วได้น้ำชาที่มีสีเขียวอ่อน มีกลิ่นหอม และมีรสชาตินุ่มนวล โดยชาเขียวมีทั้งหมด 2 ประเภท คือ ชาเขียวแบบญี่ปุ่นและแบบจีน แตกต่างกันที่ชาเขียวแบบจีนมีการคั่วด้วยกระทะร้อน แต่ชาเขียวแบบญี่ปุ่นผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ (อัครวัฒน์ ชิงชัย, 2549)

2.2 สารประกอบที่สำคัญในชาเขียว

ชาเขียวมีสารประกอบที่สำคัญเป็นสารประกอบโพลีฟีนอล (Polyphenol) ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและมีสรรพคุณเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ซึ่งสารประกอบที่พบมากในชาเขียวมี 2 ชนิด (อัครวัฒน์ ชิงชัย, 2549) ได้แก่

2.2.1 กาเฟอีน (Caffeine) พบมากประมาณร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก มีฤทธิ์ในการกระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง เพิ่มการทำงานของหัวใจและไต เพิ่มการเผาผลาญให้แก่ระบบร่างกาย และมีฤทธิ์ในการขับปัสสาวะ (อัครวัฒน์ ชิงชัย, 2549)

2.2.2 แคทีชิน (Catechins) เป็นสารที่ไม่มีสี ละลายได้ดีในน้ำ มีรสขมและฝาด เป็นสารประกอบโพลีฟีนอล กลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ซึ่งแคทีชินที่พบมากที่สุดในชาเขียว คือ Epigallocatechin - 3 - gallate (EGCG) พบมากประมาณร้อยละ 35 - 50 ซึ่งมากกว่าชาดำ (ประมาณร้อยละ 10) และชาอู่หลง (ประมาณร้อยละ 8 - 20) เนื่องจากฟลาโวนอยด์ในชาดำและชาอู่หลงถูกเปลี่ยนไปเป็น Theaflavins และ Thearubigind ขณะผ่านกระบวนการหมักใบชา แต่ชาเขียวไม่ผ่านกระบวนการหมักจึงยังคงรักษาสารประกอบเหล่านี้ไว้ได้ในปริมาณสูง แคทีชินมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูงและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) และเป็นสารคีเลต (Chelating agent) ที่รวมตัวกับไอออนของโลหะหนักได้ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2556)

2.3 ประโยชน์และข้อจำกัดของชาเขียว

ชาเขียวเป็นชาที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมากที่สุดหากเปรียบเทียบกับชาชนิดอื่น ๆ เมื่อรับประทานเข้าไปชาเขียวจะมีฤทธิ์ทำให้ร่างกายมีอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายลดลง เนื่องจากสาร Epigallo - catechin - 3 - gallate (EGCG) ในชาเขียวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง (อัครวัฒน์ ชิงชัย, 2549) แต่นอกจากประโยชน์ที่ร่างกายได้รับโดยตรงจากการบริโภคแล้ว ชาเขียวยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น การนำสารละลายชาเขียวไปเคลือบสัตว์น้ำเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยตัวอย่างจากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาแล้ว ดังนี้

Nirmal and Benjakul (2011 a) ศึกษาการใช้สารสกัดจากชาเขียวในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) สดในน้ำแข็ง โดยเปรียบเทียบกันระหว่างสารสกัดที่ได้จากชาเขียวใบหม่อน ชาเขียวที่มีคลอโรฟิลล์และไม่มีคลอโรฟิลล์ พบว่ากุ้งขาวที่ใช้สารสกัดจากชาเขียวที่มีคลอโรฟิลล์และไม่มีคลอโรฟิลล์ในการเก็บรักษาสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าชาเขียวใบหม่อนและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่า 12 วัน

Li et al. (2012) ศึกษาผลของสารละลายโพลีฟีนอลจากชาและสารสกัดจากโรสแมรีร่วมกับไคโตซาน ในการรักษาคุณภาพปลาจวด (*Pseudosciaena crocea*) สดภายใต้อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา (จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด) คุณภาพทางกายภาพ (ค่า pH, TVB-N, K-value, PV และ TBARS) รวมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัส เป็นเวลานานกว่า 20 วัน พบว่าตัวอย่างที่เคลือบด้วยสารละลายทั้งสองชนิด (สารละลายโพลีฟีนอลจากชาและสารสกัดจากโรสแมรี) ร่วมกับไคโตซานสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 8 - 10 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่เก็บได้ 5 - 6 วัน

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

Dong, Zhu, Li, and Li (2013) ศึกษาผลของโพลีฟีนอลจากชาที่ต่อคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของหมึก (*Dosidicus gigas*) แห้งปรุงรสที่ทำการเก็บรักษาในอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ค่าทางกายภาพและเคมี พบว่าหมึกแห้งปรุงรสมีค่าสี (b*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งตรงข้ามกับปริมาณของน้ำตาลและกรดอะมิโนอิสระที่ลดลง โดยหมึกปรุงรสที่จุ่มสารละลายโพลีฟีนอลจากชาสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า TMAO, TBA และ TMA-N ได้ ในขณะที่ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลยังเกิดขึ้นอย่างปกติ

Sundararajan et al. (2011) ศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากชาเขียวในการเคลือบกุ้งขาว (*Litopenaeus setiferus*) สดที่แช่แข็งด้วยสารไครโอเจน (ไนโตรเจนเหลว) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -21 องศาเซลเซียส เมื่อวิเคราะห์ค่า pH ความชื้น น้ำหนักเมื่อเคลือบ น้ำหนักหลังการละลาย ค่าสี และค่า TBARS ทุก 30 วัน เป็นระยะเวลา 180 วัน พบว่าสกัดจากชาเขียวมีประสิทธิภาพในการควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชันของกุ้งได้ดี แต่ความชื้นของกุ้งแช่แข็งที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวหลัง 180 วันของการเก็บรักษา พบว่ากุ้งที่เคลือบด้วยสารสกัดชาเขียวมีความชื้นสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างควบคุม โดยสารสกัดจากชาเขียวมีผลกระทบต่อค่าสี a* และ b* แต่ไม่มีผลกระทบต่อค่า L* ของกุ้งขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อย่างไรก็ตามเนื่องจากสารสกัดจากชาเขียวมีข้อจำกัด หากนำสารสกัดจากชาเขียวมาใช้กับสัตว์น้ำในปริมาณมากเกินไปส่งผลให้สัตว์น้ำมีสีคล้ำ มีรสฝาด และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคถึงแม้ความเข้มข้นมากนั้นช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้มากขึ้นก็ตาม

3. กรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) เป็นชื่อทางเคมีของวิตามินซี (Vitamin C) สามารถละลายน้ำได้ดี และพบได้ในผักผลไม้บางชนิด เช่น ส้ม แตงโม มะละกอ องุ่น แคนตาลูป มะม่วง สตรอว์เบอร์รี กีวี มะเขือเทศ บรอกโคลี ถั่วงอก กะหล่ำปลี และกะหล่ำดอก เป็นต้น วิตามินซีในอาหารมี 2 รูปแบบ โดยร่างกายสามารถนำไปใช้ได้ทั้ง 2 ชนิด คือ Ascorbic acid และ Dehydro-ascorbic acid โดย Ascorbic acid มีลักษณะโมเลกุลคล้ายกับน้ำตาลกลูโคส มีผลึกสีขาว และ

มีรสเปรี้ยว เมื่อถูกออกซิไดซ์จะกลายเป็น Dehydroascorbic acid ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีความไวในการทำปฏิกิริยาทางเคมี ด้วยเหตุนี้กรดแอสคอร์บิกจึงเป็นโมเลกุลที่มีความไวในการทำปฏิกิริยา reduction หรือ antioxidant ที่สำคัญ แต่กรดแอสคอร์บิกสามารถสลายตัวได้ง่ายในบรรยากาศที่มีความร้อน แสง ความชื้น โลหะหนัก และในสิ่งแวดล้อมที่มีสภาพเป็นด่าง (ฉัตรชัย ไตรทอง, 2553)

3.1 สมบัติทางเคมีของกรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิกเป็นสารเคมีที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 176.12 อยู่ในรูปของ Ascorbic acid มีชื่อทางเคมีว่า L - xyloascorbic acid และมีโครงสร้างโมเลกุลไม่เสถียร ตามธรรมชาติจึงพบกรดแอสคอร์บิกอยู่ในรูปของ reduced form คือ L - xyloascorbic acid และ oxidized form คือ Dehydroascorbic acid ซึ่งทั้งสองรูปแบบมีประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ไม่แตกต่างกัน แต่เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิคสามารถเกิดขึ้นได้ง่าย จึงเปลี่ยนรูปจาก Ascorbic acid เป็น Dehydroascorbic acid ที่มีหมู่ diol ตรงตำแหน่งคาร์บอนที่ 2 และ 3 ส่งผลให้กรดแอสคอร์บิคมีคุณสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์ได้ดี (ศิริวรรณ สุทธจิตต์, 2550)

3.2 ประโยชน์และข้อจำกัดของกรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิกเป็นสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดีสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีงานวิจัยที่ศึกษาผลของวิตามินซีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้

Taheri, Motalebi, and Fazlara (2012) ศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพของเนื้อปลาช่อนทะเล (*Rachycentron canadum*) สดแช่แข็ง โดยการนำเนื้อปลาช่อนทะเลสดไปแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.25% และ 0.5% นาน 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) กรดไขมันอิสระ (FFA) ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) ความเป็นกรดด่าง (pH) ปริมาณความชื้น (EM) และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและลักษณะปรากฏ ทุก 1, 3 และ 6 เดือน พบว่าคุณภาพทางเคมีของเนื้อปลาช่อนกลุ่มที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกมีค่า FFA, pH, EM และคุณภาพทางประสาทสัมผัสต่ำกว่ากลุ่มตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งจากผลการทดลองกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0.5% มีประสิทธิภาพในการควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าความเข้มข้น 0.25%

Khan, Parrish, and Shahidi (2006) ศึกษาผลของการจัดเก็บหอยแมลงภู่ (*Mytilus edulis*) สดบนน้ำแข็งโดยใช้กรดแอสคอร์บิกในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และได้วิเคราะห์ปริมาณของกรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) พบว่าหอยแมลงภู่ที่เคลือบด้วยกรดแอสคอร์บิกซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน สามารถเก็บรักษาหอยแมลงภู่สดได้นาน 5 วัน

Nirmal and Benjakul (2012) ศึกษาผลของสารสกัดจากชาเขียวร่วมกับกรดแอสคอร์บิกเพื่อชะลอการเกิด melanosis และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) สดบนน้ำแข็ง โดยใช้สารสกัดจากชาเขียวความเข้มข้น 0.1% ร่วมกับกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน (0%, 0.005% และ 0.01%) ในการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน พบว่ากุ้งขาวที่ใช้สารสกัดจากชาเขียวเข้มข้น 0.1% สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ 60.2% และกุ้งขาวที่ใช้สารสกัดจากชาเขียวเข้มข้น 0.1% ร่วมกับกรดแอสคอร์บิก 0.01% สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้มากขึ้น (93.0%) ($p \leq 0.05$) และเมื่อนำไปศึกษาการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ พบว่ากุ้งขาวที่เก็บรักษาด้วยสารสกัดจากชาเขียว 0.1% ร่วมกับกรดแอสคอร์บิก (0.005% และ 0.01%) สามารถยับยั้งจุลินทรีย์กลุ่มที่เจริญได้ดีในอุณหภูมิต่ำ (Psychrophilic bacteria) จุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิต H_2S และจุลินทรีย์กลุ่ม Enterobacteriaceae ได้ดีกว่ากลุ่มตัวอย่างควบคุมและกลุ่มตัวอย่างที่เก็บรักษาด้วย Sodium metabisulfite 1.25% ($p \leq 0.05$) อีกทั้งยังสามารถลดค่า pH TVB และ TBA ได้ดีอีกด้วย ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้การเก็บรักษากุ้งสดด้วยสารสกัดจากชาเขียวร่วมกับกรดแอสคอร์บิก เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างควบคุมและกลุ่มตัวอย่างที่เก็บรักษาด้วย Sodium metabisulfite ยังมีการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลลดลง มีคะแนนของสี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวมเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ซึ่งโดยทั่วไปพบว่ากรดแอสคอร์บิกที่เข้มข้นระดับ 0.005% และ 0.01% ยังแสดงให้เห็นถึงผลในลักษณะที่คล้ายคลึงและส่งเสริมกับสารสกัดจากชาเขียวในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลและชะลอการเสื่อมคุณภาพของกุ้งได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตามเนื่องจากกรดแอสคอร์บิกมีข้อจำกัด หากนำกรดแอสคอร์บิกมาใช้กับสัตว์น้ำในปริมาณมากเกินไปทำให้สัตว์น้ำมีกลิ่นและรสเปรี้ยวจากกรดมากส่งผลให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับถึงแม้ความเข้มข้นมากจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้มากขึ้นก็ตาม

4. การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ

การบรรจุแบบปรับบรรยากาศ หรือ การปรับสภาวะด้านในของบรรจุภัณฑ์ หรือ Modified atmosphere packaging (MAP) เป็นการเพิ่มและลดสัดส่วนของก๊าซที่ต้องการควบคุมด้านในผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามความต้องการ โดยอาศัยก๊าซต่าง ๆ เช่น ออกซิเจน (Oxygen) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide) และไนโตรเจน (Nitrogen) ในความเข้มข้นที่แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติในการบรรจุ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอการเสื่อมเสียและรักษาความสดใหม่ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการขนส่ง เก็บรักษา และจัดจำหน่าย ส่วนผสมของก๊าซที่ใช้ในการบรรจุแบบปรับบรรยากาศแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ภาชนะบรรจุ และสภาวะการเก็บรักษา ดังนั้นจึงควรเลือกก๊าซที่ปลอดภัย หาง่าย และราคาถูก ซึ่งโดยทั่วไป

ใช้ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน (Orangeinnovation, 2015) โดยก๊าซแต่ละชนิดมีบทบาทต่อผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้

4.1 บทบาทของก๊าซออกซิเจนต่อการบรรจุอาหาร

ออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ซึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารก๊าซออกซิเจนจะมีบทบาทที่สำคัญต่อการเจริญของสิ่งมีชีวิตพวกจุลินทรีย์ จึงส่งผลให้อาหารเกิดการเน่าเสียและเสื่อมคุณภาพได้ โดยบทบาทของก๊าซออกซิเจน งามทิพย์ ภู่วโรดม (2550) ได้จำแนกไว้ ดังนี้

4.1.1 สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบต่าง ๆ ในอาหาร เช่น ไขมัน และวิตามิน เป็นต้น อาหารที่มีไขมันสูงหรืออาหารที่สูญเสียวิตามินได้ง่ายควรบรรจุให้อยู่ภายใต้บรรยากาศที่ปราศจากก๊าซออกซิเจนเพื่อป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน

4.1.2 จำเป็นสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ชอบอากาศ เช่น Pseudomonas, Micrococcus และเชื้อราแทบทุกชนิด การบรรจุอาหารในสภาพที่ไร้ก๊าซออกซิเจนหรือมีก๊าซออกซิเจนต่ำกว่า 0.1% สามารถป้องกันการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารจากการกระทำของจุลินทรีย์ดังกล่าวได้

4.1.3 จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและฟักไข่ของหนอนและแมลงต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนมากับอาหาร

4.1.4 จำเป็นสำหรับปฏิกิริยาออกซิจิเนชันของไมโอโกลบิน เพื่อให้เนื้อมีสีแดงของออกซิไมโอโกลบิน

4.1.5 ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) ในอาหาร ทำให้คุณภาพด้านสีของอาหารลดลง

4.2 บทบาทของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการบรรจุอาหาร

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ซึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกนำมาใช้มาเพื่อลดอัตราการเน่าเสียของอาหารได้ โดยบทบาทของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ งามทิพย์ ภู่วโรดม (2550) ได้จำแนกไว้ ดังนี้

4.2.1 ชะลออัตราการหายใจของพืช โดยทั่วไปเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นอัตราการหายใจของพืชลดลงทำให้อายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้สดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามต้องใช้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เหมาะสมกับชนิดของพืชด้วย

4.2.2 ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ จึงเรียกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ว่าเป็น bacteriostatic หรือ fungistatic agent หมายถึง ยับยั้งการเจริญเท่านั้น แต่ไม่ได้ทำลายหรือฆ่าจุลินทรีย์ โดยทั่วไปต้องใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นอย่างน้อย 20% ที่สมดุลในบรรยากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์แบบเลือกเฉพาะ (selecttive effect) โดยจุลินทรีย์ที่ชอบออกซิเจนและเชื้อราทั่วไปไม่สามารถเจริญได้ในสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาก ๆ ส่วนจุลินทรีย์ที่ชอบออกซิเจนน้อย ๆ (slightly aerobic bacteria) เช่น Lactobacillus ยังคงเจริญได้ดีในสภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาก ๆ ขณะที่กลุ่มจุลินทรีย์ที่เจริญได้ทั้งในสภาพที่มีหรือไม่มีออกซิเจน (facultative anaerobic bacteria) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นสูง ๆ จึงไม่สามารถช่วยยับยั้งการเจริญได้ อีกทั้งบางกรณียังช่วยเร่งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้อีกด้วย ส่วนกลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ชอบออกซิเจน (anaerobic bacteria) นั้น หากมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10 - 20% ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้จึงจำเป็นต้องผสมก๊าซออกซิเจนเข้าไปเล็กน้อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้

4.2.3 ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีเมื่อจุลินทรีย์นั้นอยู่ในช่วงเตรียมพร้อมเพื่อการแบ่งตัว (lag phase) โดยจะทำให้ช่วงเวลานี้เพิ่มขึ้น การแบ่งตัวของจุลินทรีย์จึงเกิดขึ้นช้าลง

4.2.4 สามารถละลายได้ดีในน้ำและไขมันเมื่ออุณหภูมิลดลง โดยสังเกตได้จากการยุบตัวของภาชนะที่บรรจุ เนื่องจากความดันภายในต่ำกว่าความดันบรรยากาศ นอกจากนี้หากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการละลายสูงมากพอส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารเกิดกลิ่นรสของกรดคาร์บอนิกขึ้น ดังนั้นในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดจึงต้องจำกัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เหมาะสมกับประเภทอาหารที่บรรจุด้วย

4.3 บทบาทของก๊าซไนโตรเจนต่อการบรรจุอาหาร

ไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยที่พบมากในอากาศ และไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์อาหาร จึงถูกนำมาใช้เพื่อทดแทนก๊าซออกซิเจนได้ โดยบทบาทของก๊าซไนโตรเจน งามทิพย์ ภู่วโรดม (2550) ได้จำแนกไว้ ดังนี้

4.3.1 เป็นก๊าซเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีจึงมักนำมาใช้แทนก๊าซออกซิเจนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร นอกจากนี้ยังนิยมใช้ก๊าซไนโตรเจนเพื่อรักษาระดับความดันภายในภาชนะที่บรรจุ ป้องกันการยุบตัวของภาชนะที่บรรจุ และการแตกหักเสียรูปทรงของผลิตภัณฑ์

4.3.2 ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส จึงสามารถใช้ได้กับอาหารทุกชนิดและสามารถละลายได้ในน้ำและไขมันได้น้อยมาก

จากประโยชน์ของก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่ได้กล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าก๊าซดังกล่าวสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ซึ่งสามารถยืนยันได้จากงานวิจัยที่ทำการศึกษาแล้วดังนี้

Caglak, Cakli, and Kilinc (2008) ได้ศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมี และประสาทสัมผัสของหอยกะพงเมดิเตอร์เรเนียน (*Mytilus galloprovincialis*) สดที่เก็บรักษาภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ โดยเปรียบเทียบระหว่างการเก็บแบบปรับสภาพบรรยากาศ (MAP) ได้แก่ M1 (50%CO_2: 50%N_2), M2 (80%CO_2: 20%N_2), M3 (65%CO_2: 35%N_2) และ VP (การเก็บแบบสุญญากาศ) ในอุณหภูมิ 2 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน ผลทางจุลชีววิทยาพบว่า M2 และ M3 มีการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่า M1 และ M2 มีค่า TVB-N และ TMA-N อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และต่ำกว่ามาตรฐาน (35 mg/ 100g และ 8 mg/ 100g ตามลำดับ) จนถึงวันที่ 8 ของการเก็บรักษา และตัวอย่างในทุกชุดการทดลองมีค่า TVB-N และ TMA-N เกินกว่ามาตรฐานในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ส่วนค่าทางประสาทสัมผัสในทุกชุดการทดลองเป็นที่ยอมรับในช่วง 8 วันแรกของการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาจากคุณภาพทางจุลชีววิทยาและเคมี รวมทั้งประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นได้ว่า M2 และ M3 มีอายุการเก็บรักษานานกว่า M1 และ VP โดยอัตราส่วนก๊าซแบบ M2 เป็นอัตราส่วนก๊าซที่เหมาะสมที่สุดในการยืดอายุการเก็บรักษาหอยกะพงเมดิเตอร์เรเนียนสด

Arvanitoyannis, Vasiliki, Bouletis, and Papaloucas (2011) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางชีวเคมีและจุลชีววิทยาของกุ้ง (*Melicertus kerathurus*) สดแปรรูปภายใต้การเก็บรักษาแบบปรับสภาพบรรยากาศ MAP A (60%CO_2: 40%N_2) และ MAP B (5.1%CO_2: 92.9%N_2: 2%O_2) เป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์จุลินทรีย์ที่ชอบอุณภูมิปานกลาง จุลินทรีย์ที่ผลิต H_2S, *Pseudomonas* spp., *Brochothrix thermosphacta*, ความแน่นของเนื้อ, ค่าสี และพารามิเตอร์ทางประสาทสัมผัส พบว่าในระหว่างการเก็บรักษานั้นตัวอย่าง MAP B สามารถรักษาความแน่นของเนื้อได้ใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้น ในขณะที่ MAP A สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดีกว่า MAP B อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

วิชชญา นะราแก้ว (2548) ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อ (*Haliotis asinine*) ภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ (MAP) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อ โดยสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษามีทั้งหมด 7 สภาวะ ได้แก่ บรรยากาศปกติ สุญญากาศ 40%CO_2: 20%N_2: 40%O_2, 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, 40%CO_2: 40%N_2: 20%O_2, 60%CO_2: 40%O_2 และ 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2 ร่วมกับการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 2 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส พบว่า CO_2 ภายในบรรจุภัณฑ์ที่มีการ MAP มีปริมาณลดลงระหว่างการเก็บรักษาจึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของเนื้อหอยเป๋าฮื้อลดลง เนื่องจาก CO_2 สามารถเปลี่ยนรูปเป็นกรดคาร์บอนิกและ

ซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ หากเปรียบเทียบระหว่างสภาวะที่มีอัตราส่วน CO_2 60% และสภาวะที่มีอัตราส่วน CO_2 40% พบว่าสภาวะที่มีอัตราส่วน CO_2 60% สามารถเปลี่ยนรูปเป็นกรดคาร์บอนิกได้มากกว่าสภาวะที่มีอัตราส่วน CO_2 40% ค่าความเป็นกรดด่างของสภาวะที่มีอัตราส่วน CO_2 60% จึงต่ำกว่าสภาวะที่มีอัตราส่วน CO_2 40% จุลินทรีย์ในสภาวะที่มีอัตราส่วน CO_2 60% จึงมีช่วงระยะปรับตัว (lag phase) นานขึ้น ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด จุลินทรีย์ที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำ และจุลินทรีย์กลุ่ม Enterobacteriaceae ที่พบในเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่บรรยากาศปกติมีปริมาณสูงกว่าในสภาวะสุญญากาศ และ MAP ตามลำดับ อีกทั้งอายุการเก็บรักษาของเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่บรรจุในสุญญากาศและ MAP มีระเวลาการเก็บรักษายาวนานกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติ ดังนั้นการลดปริมาณ O_2 ลงภายในบรรจุภัณฑ์จึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจากการวิเคราะห์ตรวจไม่พบ *Clostridium botulinum* จุลินทรีย์กลุ่ม *Vibrio* sp. และปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (TMA) ตลอดการเก็บรักษา ส่วนปริมาณด่างที่ระเหยได้ (TVB) จากจุลินทรีย์จะเกิดช้า ๆ จึงไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกอายุการเก็บรักษา การยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏและกลิ่นจึงถูกนำมาใช้เป็นดัชนีบอกอายุการเก็บรักษาได้ดีกว่า โดยพบว่าเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่เก็บในสภาวะ MAP มีอายุการเก็บรักษานานกว่าการเก็บในสุญญากาศและบรรยากาศปกติ โดยไม่พบการเปลี่ยนแปลงค่าสี การยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสีและลักษณะเนื้อสัมผัสระหว่างหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาในสภาวะ MAP สุญญากาศและบรรยากาศปกติ การเก็บเนื้อหอยเป๋าฮื้อในสภาวะ MAP จึงสามารถช่วยชะลอการสลายตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์ที่มีผลต่อค่าความสดได้ดีกว่าการเก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศและบรรยากาศปกติ โดย MAP สามารถช่วยชะลอการสลายตัวของ ATP, ADP, AMP การสะสมของ Adenosine และ Hypoxanthine ได้ อีกทั้งในขณะที่การสลายตัวของ ATP, ADP, AMP และการสะสมของ Adenosine และ Hypoxanthine ระหว่างการบรรจุแบบสุญญากาศและในบรรยากาศปกติไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื้อหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติและสุญญากาศจึงมีอายุการเก็บรักษา 3 วัน ส่วนการเก็บรักษาที่สภาวะ 40%CO_2: 20%N_2: 40%O_2 มีอายุการเก็บรักษา 9 วัน สภาวะ 40%CO_2: 40%N_2: 20%O_2, 60%CO_2: 40%O_2 และ 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2 มีอายุการเก็บรักษา 11 วัน และสภาวะ 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2 มีอายุการเก็บรักษา 13 วัน จึงสรุปได้ว่าการเก็บรักษาเนื้อหอยเป๋าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศสามารถยืดอายุเก็บรักษาและคงสภาพของสี คุณภาพด้านเคมีและประสาทสัมผัสให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้มากกว่าเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศและบรรยากาศปกติ โดยการเก็บรักษาแบบปรับสภาพบรรยากาศที่มีความปลอดภัยและเป็นที่ยอมรับมากที่สุดคือสภาวะ 40%CO_2 : 30%N_2 : 30%O_2 ที่อุณหภูมิ 2 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส จึงถือว่าสภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บรักษาเนื้อหอยเป๋าฮื้อ

สวามินี ธีระวุฒิ, รัตนาภรณ์ พิมพ์แน่น และโสภาวดี เมืองฮาม (2557) ศึกษาผลของการปรับสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพทางกายภาพและจุลชีววิทยาของหอยนางรมสดแกะเปลือก (*Saccostrea cucullata*) ที่แช่ในสารละลายผสม (โพแทสเซียมซอร์เบต 3% และโซเดียมแล็กเตต 2.5%) และปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุแตกต่างกัน 5 สภาวะ ดังนี้ T1 (40%CO_2: 40%N_2: 20%O_2), T2 (40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2), T3 (60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2), T4 (60%CO_2: 40%O_2) และ T5 (บรรยากาศปกติ) ร่วมกับการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา หอยนางรมสดแกะเปลือกในชุดการทดลอง T3 มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางจุลชีววิทยาน้อยที่สุด (จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน log 6 CFU/ g) โดยมีอายุการเก็บรักษา 10 วัน T4, T2 และ T1 มีอายุการเก็บรักษา 9, 7 และ 6 วัน ตามลำดับ ซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการ MAP กับชุดการทดลอง T5 ที่เก็บรักษาในบรรยากาศปกติ T5 มีอายุการเก็บรักษาน้อยที่สุด โดยเก็บรักษาได้เพียง 5 วันเท่านั้น

สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน (2555) ได้ศึกษาการลดจำนวนจุลินทรีย์ปนเปื้อนของหอยนางรมหลังการรมควัน พบว่าการแช่หอยนางรมรมควันในน้ำมันถั่วเหลืองร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์และส่งผลดีต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสได้มากที่สุด ส่วนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส จุลชีววิทยา และเคมีของหอยนางรมรมควันภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่แตกต่างกัน 4 สภาวะ ได้แก่ T1 (บรรยากาศปกติ), T2 (35%CO_2: 60%N_2: 5%O_2), T3 (80%CO_2: 20%N_2) และ T4 (50%CO_2: 50%N_2) จากผลการศึกษาพบว่า T4 มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณภาพทางจุลชีววิทยาน้อยที่สุด อีกทั้งยังเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามหากพิจารณาจากจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (ไม่เกิน log 7 CFU/ g) การใช้สภาวะแบบ T4 สามารถเก็บรักษาได้นานถึง 28 วัน ในขณะที่ T2 และ T3 มีอายุการเก็บรักษา 26 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะ T1 ที่เป็นชุดควบคุม พบว่า T1 มีอายุการเก็บรักษาเพียง 10 วัน ซึ่งผลการศึกษาคุณภาพทางเคมีให้ผลสอดคล้องกับคุณภาพทางจุลชีววิทยาและประสาทสัมผัส โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานั้น T4 สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าทางเคมี (ปริมาณความชื้น และ TVB-N) ได้ดีกว่าการเก็บรักษาในสภาวะอื่น (พิจารณาที่ค่า TVB-N < 12 mg/ 100g) พบว่า T4 มีอายุการเก็บรักษา 28 วัน T3 และ T2 มีอายุการเก็บรักษา 26 และ 24 วัน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ T1 ที่เป็นชุดควบคุม มีอายุการเก็บรักษาเพียง 4 วัน

Kostaki, Giatrakou, Savvaidis, and Kontominas (2009) ศึกษาผลการเก็บรักษาเนื้อปลากะพง (*Dicentrarchus labrax*) สดภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ (MAP) ร่วมกับการเคลือบน้ำมันไธม์ (T) ที่มีความเข้มข้น 0.2% v/w โดยสภาพบรรยากาศที่ใช้ ได้แก่

40%CO_2: 50%N_2: 10%O_2 (M1) และ 60%CO_2: 30%N_2: 10%O_2 (M2) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน และกำหนดให้เนื้อปลาที่เก็บรักษาสภาพบรรยากาศปกติ (A) เป็นตัวอย่างควบคุม โดยจุลินทรีย์ที่พบมากในชุดการทดลอง A ได้แก่ *Pseudomonads* spp., จุลินทรีย์ที่ผลิต H_2S และจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก ส่วนจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (TVC) พบว่ามีค่าเกิน log 7 CFU/ g หลังจากเก็บรักษาได้เพียง 7 วัน ในขณะที่การเก็บรักษาในสภาวะ A+T, M1, M2 และ M2+T สามารถเก็บรักษาได้นาน 9, 10, 12 และ 19 วัน ตามลำดับ ส่วนปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) ในสภาวะ A+T, M1, M2 และ M2+T พบว่าอยู่ในเกณฑ์ดี (2 - 4 mg MDA/ kg) ส่วนปริมาณด่างที่ระเหยได้ (TVB-N) พบว่าในตัวอย่าง A, A+T, M1, M2 และ M2+T มีค่า TVB-N มากกว่า 10 mg/ 100g (ปลาสดควรมีค่า TVB-N ไม่เกิน 10 mg/ 100g) ในวันที่ 6, 8, 9, 13 และ 17 ของการเก็บรักษาตามลำดับ ส่วนปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N) (ปลาสดควรมีค่า TMA-N ไม่เกิน 4 mg/ 100g) ในตัวอย่าง A, A+T, M1, M2 และ M2+T มีค่า TMA-N มากกว่า 4 mg/ 100g ในวันที่ 6, 9, 9 - 10, 13 และ 19 ของการเก็บรักษาตามลำดับ ดังนั้นการเก็บรักษาเนื้อปลากะพงสดในสภาวะ M2+T สามารถช่วยชะลอการเน่าเสียของเนื้อปลากะพงและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ดีที่สุด

อย่างไรก็ตามเนื่องจากสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีโครงสร้างทางชีววิทยาแตกต่างกัน การใช้สัดส่วนก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์จึงแตกต่างกันตามไปด้วย

5. การตรวจสอบคุณภาพของสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำต่าง ๆ เป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญของมนุษย์ สัตว์น้ำที่สดมีรสชาติดี เนื้อแน่น และไม่มีกลิ่นเหม็นหรือกลิ่นคาว เมื่อสัตว์น้ำตายลงระบบหมุนเวียนเลือดหยุดชะงัก เนื้อเยื่อขาดออกซิเจนและสูญเสียระบบควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ ปริมาณ ATP ที่มีอยู่ตามกล้ามเนื้อลดลง ไกลโคเจนที่ถูกสะสมไว้ในกล้ามเนื้อและตับจึงถูกนำมาใช้ทดแทน ทำให้เกิดกระบวนการไกลโคไลซีสและมีกรดแลคติกเกิดขึ้น ค่า pH ของสัตว์น้ำจึงลดต่ำลง เอนไซม์ต่าง ๆ ในร่างกายทำการย่อยสลายตัวเอง โปรตีนจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาตามผิวหนังหรือเปลือกของสัตว์น้ำใช้โปรตีนที่ถูกย่อยสลายเป็นอาหารและเพิ่มจำนวน สัตว์น้ำที่ตายแล้วจึงมีรสชาติ กลิ่น และเนื้อสัมผัสที่ไม่พึงประสงค์ อีกทั้งยังก่อให้เกิดโรคต่อผู้บริโภคได้อีกด้วย (สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, 2557)

ดังนั้นการที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีและปลอดภัยต่อผู้บริโภค จึงจำเป็นต้องมีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพ โดยการตรวจคุณภาพของผลิตภัณฑ์สามารถตรวจวิเคราะห์ได้หลายวิธี ดังนี้

5.1 คุณภาพทางจุลชีววิทยา

เนื่องจากหอยแมลงภู่มีระบบการกินอาหารแบบกรองกินจึงมีโอกาสปนเปื้อนและมีการสะสมจุลินทรีย์ต่าง ๆ ไว้เป็นจำนวนมาก ซึ่งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและเป็นพิษต่อผู้บริโภค ได้แก่

5.1.1 Coliform bacteria เป็นจุลินทรีย์รูปท่อนสั้น ติดสีแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ เจริญได้ดีในอากาศแบบ Facultative anaerobic bacteria สามารถหมักย่อยน้ำตาลแลคโตสได้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระหว่าง 24 - 48 ชั่วโมง โดยสร้างกรดและก๊าซออกมา จุลินทรีย์ที่สำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่ *Escherichia coli* และ *Enterobacter aerogenes* (บุษกร อุตรภิชาติ, 2555)

5.1.2 *Clostridium perfringens* เป็นจุลินทรีย์รูปท่อน สร้างสปอร์ได้ ติดสีแกรมบวก และเมื่อมีอายุมากขึ้นจะติดสีแกรมลบ เคลื่อนที่โดยใช้แฟลกเจลลาที่อยู่รอบเซลล์ ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เจริญในที่อุณหภูมิปานกลางถึงอุณหภูมิสูง (55 องศาเซลเซียส) (บุษกร อุตรภิชาติ, 2555)

5.1.3 *Staphylococus aureus* เป็นจุลินทรีย์แกรมบวก รูปกลม เรียงตัวเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่น เป็นคู่หรือเป็นสายสั้น ๆ ไม่เคลื่อนที่ โคโลนีมีสีเหลืองหรือสีทอง เจริญได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจน ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญคือ 35 - 40 องศาเซลเซียส ช่วง pH ในการเจริญที่ 7 - 7.5 ส่วนค่า A_w ต่ำสุดสำหรับการเจริญในสภาพมีออกซิเจนประมาณ 0.86 และสภาพไม่มีออกซิเจน คือ 0.90 (บัญญัติ สุขศรีงาม และคณะ, 2551)

5.1.4 *Vibrio parahemolyticus* เป็นจุลินทรีย์แกรมลบ รูปท่อนโค้ง เคลื่อนที่ได้โดยใช้แฟลกเจลลาเพียง 1 เส้น สามารถสร้างอินโดลที่ไม่ใช่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อีกทั้งยังสร้างเอนไซม์ออกซิเดสและคะตะเลสหมักน้ำตาลกลูโคสได้ จุลินทรีย์ชนิดนี้มีลักษณะเด่น คือ ต้องการโซเดียมคลอไรด์ในการเจริญจึงมักพบจุลินทรีย์ชนิดนี้ได้ในน้ำเค็ม อาหารทะเลส่วนใหญ่จึงพบจุลินทรีย์ชนิดนี้ปนเปื้อนอยู่สูง เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อจำเพาะ เช่น Wagatsuma agar ที่มีส่วนผสมของเกลือ พบว่า *V. parahemolyticus* สามารถย่อยสลายเม็ดเลือดแดงได้ เนื่องจากสามารถผลิตสารพิษ Thermostable direct hemolysin (TDH) ผู้ป่วยที่ได้รับเชื้อดังกล่าวจึงมีอาการคลื่นไส้อาเจียน มีไข้ต่ำ แต่สามารถหายได้เองภายใน 2 - 3 วัน โดยไม่ต้องใช้ยาปฏิชีวนะหรือสารต้านแบคทีเรีย (บัญญัติ สุขศรีงาม และคณะ, 2551)

5.1.5 *Salmonella* spp. เป็นจุลินทรีย์แกรมลบรูปท่อน เคลื่อนที่โดยใช้แฟลกเจลลารอบเซลล์ ต้องการออกซิเจนในการเจริญ อุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญ ช่วง pH อยู่ระหว่าง 4.1 - 9.0 ส่วนค่า A_w ต่ำที่สุดสำหรับการเจริญประมาณ 0.93 - 0.95 มีความสามารถในการทนความร้อนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์

และสภาพแวดล้อม สำหรับการติดเชื้อในมนุษย์ ส่วนมากได้รับเชื้อปนเปื้อนกับน้ำและอาหาร บางครั้งอาจเกิดจากสัตว์เลี้ยงที่อาศัยตามอาคารบ้านเรือน ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดอาการอุจจาระร่วง ปริมาณที่ทำให้เกิดโรค คือ 10^8 - 10^9 เซลล์ สามารถทำให้เกิดโรค Salmonellosis ได้ แต่ในบางกรณีแม้มีปริมาณต่ำกว่า 10^8 - 10^9 เซลล์ ก็สามารถทำให้เกิดโรคได้เช่นกัน (บัญญัติ สุขศรีงาม และคณะ, 2551)

5.1.6 *Bacillus cereus* เป็นจุลินทรีย์รูปท่อนติดสีแกรมบวก และเมื่อมีอายุมากขึ้นจะติดสีแกรมลบ เคลื่อนที่โดยใช้แฟลกเจลลา ต้องการออกซิเจนในการเจริญ สร้างเอนโดสปอร์ (Endospore) ที่ทนความร้อนสูงและทนความแห้งได้ดี เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 35 - 75 องศาเซลเซียส (บุษกร อุตรภิชาติ, 2555)

ดังนั้นในการตรวจวัดคุณภาพทางจุลินทรีย์จึงมีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์อาหารและความปลอดภัยของผู้บริโภคโดยอาหารทะเลสดและอาหารทะเลสุกมีเกณฑ์สำหรับจุลินทรีย์แต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 มาตรฐานคุณภาพด้านจุลินทรีย์สำหรับอาหารทะเลสดและอาหารทะเลสุก

เชื้อจุลินทรีย์	ค่ากำหนดที่ไม่ควรเกิน CFU/ g	
	อาหารทะเลสด	อาหารทะเลสุก
Total viable count/ กรัม	$< 1 \times 10^5$ (1)	10^6 (2)
Staphylococus aureus/ กรัม	< 100 (1)	10^4 (3)
Salmonella spp./ 25 กรัม	ไม่พบ (1)	ไม่พบ (1)
Vibrio parahaemolyticus/ 25 กรัม	ไม่พบ (1)	ไม่พบ (1)
Vibrio cholerae/ 25 กรัม	ไม่พบ (1)	-
Escherichia coli.	10^3 (1)	10^3 (2)
Listeria monocytogenes/ 25 กรัม	ไม่พบ (1)	-
Clostridium perfringens	-	10^4 (3)
Bacillus cereus	-	< 100 (1)

ที่มา : (1) กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2553)

(2) สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย., 2552)

(3) สถาบันอาหาร (2542)

5.2 คุณภาพทางเคมี

การตรวจวัดคุณภาพทางเคมีเป็นการตรวจวัดสารเคมีต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสัตว์น้ำ เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพด้านความสดและความปลอดภัยของผู้บริโภค (นิรชา วงษ์จินดา, 2547) ซึ่งค่าเคมีเหล่านี้สามารถบ่งบอกถึงการเน่าเสียของสัตว์น้ำได้โดยตรงและโดยภาพรวม ซึ่งค่าทางเคมีที่สามารถบ่งบอกการเน่าเสียได้โดยตรง ได้แก่ การตรวจวัดปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) และปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N) ส่วนค่าทางเคมีที่สามารถบ่งบอกการเน่าเสียได้โดยภาพรวม ได้แก่ การวัดปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และสารปนเปื้อนโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ซึ่งการตรวจวัดคุณภาพทางเคมีสามารถตรวจวัดได้หลายค่าดังนี้

5.2.1 ความชื้น เป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เนื่องจากความชื้นมีผลต่อการเน่าเสียของอาหาร โดยเฉพาะการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ อาหารที่มีความชื้นหรือปริมาณน้ำสูงเป็นอาหารที่เน่าเสียง่าย เนื่องจากมีสภาวะเหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น จุลินทรีย์ ยีสต์ รา และจุลินทรีย์ก่อโรคต่าง ๆ ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค โดยปริมาณน้ำที่พบมีผลต่อเนื้อสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส อีกทั้งยังมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่มีผลกระทบทางลบต่ออาหารระหว่างการเก็บรักษาด้วย เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2553 ก)

5.2.2 ปริมาณด่างที่ระเหยทั้งหมด (Total volatile bases nitrogen; TVB-N) เป็นค่าที่ใช้วัดคุณภาพความสดทางเคมีของสัตว์น้ำ โดยวัดปริมาณสารที่เกิดจากการสลายตัวของสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด ได้แก่ แอมโมเนีย เอมีน ไตรเมทิลเอมีน ไดเมทิลเอมีน และสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ (นิรชา วงษ์จินดา, 2547) โดยสัตว์น้ำจำพวกหอยควรมีค่า TVB-N < 35 mg/ 100g (EEC, 1995)

5.2.3 ปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (Trimethylamine; TMA-N) เป็นการวัดค่าการสลายตัวของสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนและส่งผลให้เกิดสารระเหยที่มีกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเน่าของสัตว์น้ำ โดยกลไกนั้นเกิดจาก TMAO ถูกเปลี่ยนเป็น TMA-N โดยจุลินทรีย์ที่มีเจริญได้ทั้งที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน ดังนั้นค่า TMA-N จึงสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีใช้วัดการเน่าเสียของสัตว์น้ำได้ ซึ่งสัตว์น้ำที่มีคุณภาพดีควรมีค่า TMA-N น้อยว่า 1.5 mg/ 100g (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554)

5.2.4 ปริมาณไขมัน เนื่องจากสัตว์น้ำมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง เมื่อเกิดการเสื่อมสภาพกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้เกิดกรดไขมันอิสระและมีกลิ่นเหม็นหืน (สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, 2557)

5.2.5 ปริมาณโปรตีน เป็นวิธีที่สามารถตรวจได้จากปริมาณไนโตรเจนของตัวอย่าง เพราะการตรวจปริมาณโปรตีนโดยตรงทำได้ยากกว่า เนื่องจากองค์ประกอบโมเลกุลโปรตีนมีความซับซ้อน ไนโตรเจนเป็นสารประกอบอนินทรีย์ของโปรตีนจึงสามารถตรวจสอบได้ง่ายกว่า (ราณี สุรกาญจน์กุล, 2554) เมื่อสัตว์น้ำตายลงโปรตีนเกิดการเสื่อมสภาพทำให้การยืดหดตัวของกล้ามเนื้อลดลง หากมีการกดหรือสัมผัสเนื้อเยื่อบริเวณนั้นทำให้เกิดการยุบตัวและไม่คืนสู่สภาพเดิม

5.2.6 ปริมาณเถ้า เป็นวิธีที่สามารถตรวจสารประกอบอนินทรีย์ที่เหลืออยู่หลังจากที่เผาโดยใช้อุณหภูมิสูงจนกระทั่งสารประกอบอินทรีย์ถูกเผาไหม้สลายตัวไปหมด ซึ่งค่าของเถ้าที่วิเคราะห์สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของอาหารได้ ถ้าค่าของเถ้าสูงกว่าปกติ หมายถึง ในอาหารอาจมีสารอื่นปลอมปนเข้ามา เช่น ทราย และโลหะหนักอื่น ๆ เป็นต้น (ราณี สุรกาญจน์กุล, 2554)

จากค่าทางเคมีที่กล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นได้ว่าสามารถใช้ค่าทางเคมีในการวัดคุณภาพของสัตว์น้ำได้ดังงานวิจัยของ Goulas and Kontominas (2007) ซึ่งศึกษาคุณลักษณะทางชีวเคมีและประสาทสัมผัสของการทำเค็มร่วมกับการบรรจุแบบปรับสภาวะบรรยากาศ (MAP) และน้ำมันออริกาโนต่ออายุการเก็บรักษาปลาตะเพียนทะเล (*Sparus aurata*) โดยนำเนื้อปลาตะเพียนทะเลมาทำเค็มแล้วเติมน้ำมันออริกาโน จากนั้นนำไปบรรจุแบบ MAP (40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2) แล้วนำไปแช่ตู้เย็น พบว่าเนื้อปลาตะเพียนทะเลที่ไม่ได้ทำเค็มและบรรจุแบบธรรมดามีปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) และปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N) สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ เนื้อปลาตะเพียนทะเลที่มีการทำเค็มและการบรรจุแบบธรรมดา, เนื้อปลาตะเพียนทะเลที่ทำเค็มและบรรจุแบบ MAP, เนื้อปลาตะเพียนทะเลที่ทำเค็มและบรรจุแบบ MAP ร่วมกับการเติมน้ำมันออริกาโน 0.4% (v/w) และเนื้อปลาตะเพียนทะเลที่ทำเค็มและบรรจุแบบ MAP ร่วมกับการเติมน้ำมันออริกาโน 0.8% (v/w) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า TVB-N และ TMA-N ของเนื้อปลาเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา

5.3 คุณภาพทางกายภาพ

การตรวจวัดทางกายภาพเป็นการตรวจวัดโดยการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เช่น การตรวจวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) การตรวจวัดสีด้วยเครื่องวัดสี และการตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยอุปกรณ์ที่เลียนแบบกลไกการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เช่น Universal testing machine (UTM) และ Texture analyzer (TA) ซึ่งสามารถวัดการกด แรงเค้นและแรงบิดต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ (นิรชา วงษ์จินดา, 2547) เมื่อสัตว์น้ำมีความสดโครงสร้างและองค์ประกอบต่าง ๆ ของกล้ามเนื้อยังแข็งแรงจึงทำให้มีแรงเฉือนมาก แต่เมื่อสัตว์น้ำเริ่มเกิดการเน่าเสียจากกระบวนการ

ย่อยสลายตัวเองด้วยเอนไซม์จากน้ำย่อยและจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับสัตว์น้ำ โครงสร้างต่าง ๆ จึงถูกย่อยสลายส่งผลให้สัตว์น้ำมีแรงเฉือนลดน้อยลง (สุมาลี เหลืองสกุล, 2541) ซึ่งการตรวจวัดทางกายภาพสามารถตรวจวัดได้หลายค่า ดังนี้

5.3.1 ค่า Water activity (A_w) คือ ปริมาณน้ำในอาหารเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปจุลินทรีย์ต้องการน้ำปริมาณมากกว่ายีสต์และรา อาหารแต่ละชนิดเน่าเสียเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์หรือที่เรียกว่า A_w ในอาหารที่มีค่า A_w ต่ำเกิดการเน่าเสียได้ยากและสามารถเก็บไว้ได้นาน จุลินทรีย์แต่ละชนิดเจริญได้ในอาหารที่มีค่า A_w แตกต่างกัน โดยจุลินทรีย์เจริญได้ดีในอาหารที่มีค่า A_w สูง ส่วนยีสต์และรานั้นสามารถทนต่อสภาพแห้งแล้งหรือค่า A_wต่ำได้ดี ในอาหารที่มีค่า A_wต่ำ การเน่าเสียส่วนใหญ่จึงขึ้นเกิดจากยีสต์และรา (สุมาลี เหลืองสกุล, 2541)

5.3.2 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) หากตัวอย่างมีสภาพเป็นกลาง (pH 6 - 7) และสภาพความเป็นกรดต่ำ (pH 5 - 6) แสดงว่าตัวอย่างยังอยู่ในสภาพที่ยังสดและไม่ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย ค่าความเป็นกรดด่างของสัตว์น้ำจึงสามารถใช้เป็นข้อมูลบ่งบอกสภาวะของสัตว์น้ำได้ การวัดค่าความเป็นกรดด่างสามารถทำได้โดยการใช้เครื่อง pH meter ซึ่งวัดโดยตรงในเนื้อสัตว์น้ำหรือการวัดความเป็นกรดด่างจากสารแขวนลอยของเนื้อสัตว์น้ำในน้ำกลั่น (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554)

5.3.3 ค่าสี การเปลี่ยนแปลงของสีผิวและเนื้อสัตว์น้ำเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งแบบที่เกิดโดยมีเอนไซม์ (enzymatic oxidation) และแบบที่เกิดโดยไม่มีเอนไซม์ (non - enzymatic oxidation) โดยสีเหลือง ส้ม แดง หรือการไม่มีสีของสัตว์น้ำเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ซึ่งมีในผิวหนังและสีของสัตว์น้ำในเนื้อสัตว์น้ำที่สีขาวเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเปลี่ยนเป็นสีครีมหรือเทา กล้ามเนื้อสีแดงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ส่วนเนื้อสัตว์น้ำสดมีความใสและเปลี่ยนเป็นสีขุ่นเมื่อเกิดการเน่าเสีย ซึ่งบางครั้งการเกิดการเปลี่ยนสีอาจมีสาเหตุจากการเจริญของจุลินทรีย์ ยีสต์ หรือราบางชนิด (เนตรนรินทร์ ขุนสูงเนิน, 2546) ในการตรวจวัดในระบบ CIE ค่าที่ได้ออกมาจะมีค่า L*, a* และ b* ซึ่งค่า L* คือ ค่าความสว่าง ส่วน a* คือ ค่าสีแดงและสีเขียว ขณะที่ b* คือ ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (Konica Minolta, 2016) สามารถดูได้จากค่าแต่ละค่าจากเครื่องเพื่อบอกการเน่าเสียของสัตว์น้ำ หากค่าทั้ง 3 ค่ามีแนวโน้มลดลงแสดงว่าเนื้อสัตว์น้ำเริ่มเกิดการเน่าเสีย

5.3.4 ค่าเนื้อสัมผัส ลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของกล้ามเนื้อสัตว์น้ำทั้งดิบและสุก การตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสสามารถทำได้หลายวิธี เช่น Puncture test เป็นการวัดแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุตัวอย่างของหัววัดรูปทรงกระบอก และ Kramer Shear Cell

เป็นการวัดแรงที่ใช้ในการตัดตัวอย่างโดยใบมีดของ Kramer shear cell ซึ่งเคลื่อนผ่านตัวอย่างด้วยความเร็วที่กำหนดไว้ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554) เนื่องจากสัตว์น้ำสดโครงสร้างต่าง ๆ ของกล้ามเนื้อยังแข็งแรงจึงทำให้ค่าแรงเฉือนมาก แต่เมื่อสัตว์น้ำเริ่มเกิดการเน่าเสีย โครงสร้างต่าง ๆ ภายในตัวสัตว์น้ำถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ในตัวสัตว์น้ำและจุลินทรีย์ทำให้ค่าแรงเฉือนน้อย (สุมาลี เหลืองสกุล, 2541)

จากค่าทางกายภาพที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ค่าทางกายภาพในการชี้วัดคุณภาพของสัตว์น้ำได้ เช่นตัวอย่างงานวิจัยของ Dong et al. (2013) ได้ศึกษาผลของโพลีฟีนอลจากชาต่อคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของหมึก (*Dosidicus gigas*) แห้งปรุงรสในอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ค่าทางกายภาพและเคมี พบว่าหมึกแห้งปรุงรสมีค่าสี (b*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และงานวิจัยของ Chamanara, Shabanpour, Gorgin, and Khomeiri (2012) ได้ศึกษาลักษณะของปลาเรนโบว์เทราท์ (*Oncorhynchus mykiss*) เมื่อเคลือบด้วยไคโตซานและน้ำมันไธม์ พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาปลาเรนโบว์เทราท์เพิ่มขึ้นแรงเฉือนมีค่าลดลง

5.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การตรวจวัดคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นการตรวจวัดโดยอาศัยประสาทสัมผัสทั้ง 5 ของมนุษย์เพื่อบ่งบอกการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของสัตว์น้ำด้วยประสาทสัมผัสของมนุษย์ ได้แก่ เนื้อสัมผัส กลิ่น รส และสีของสัตว์น้ำ จำเป็นต้องอาศัยการฝึกฝนของผู้ทดสอบให้มีความชำนาญและลดความมีอคติในผลิตภัณฑ์อาหาร (นิรชา วงษ์จินดา, 2547)

5.4.1 ความสำคัญของการประเมินทางประสาทสัมผัส

สถาบันของนักเทคโนโลยีด้านอาหาร (The Institute of Food Technologists ; IFT) ในหน่วยของการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ให้คำนิยามของการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ว่าเป็นกฎเกณฑ์ทางด้านวิทยาศาสตร์ที่ใช้เพื่อวัดค่า วิเคราะห์ผล และสรุปผลจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจากความรู้สึกของมนุษย์ในแง่การมองเห็น กลิ่น รสชาติ และการสัมผัส ผลของการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสสามารถนำไปใช้แสดงถึงการยอมรับของมนุษย์ โดยปฏิกิริยาของมนุษย์ที่มีต่อผลิตภัณฑ์สามารถอธิบายได้ในลักษณะที่คล้ายกับการวิเคราะห์ทางเคมี กายภาพหรือชีวภาพของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้นิยามดังกล่าวยังรวมถึงความจำเป็นที่ต้องใช้ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์เพื่อการฝึกเทคนิคการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสด้วย ในปัจจุบันพื้นฐานความต้องการของมนุษย์มีความหลากหลายสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างมากมาย เพื่อเพิ่มโอกาสของการเลือกสินค้า

ในการบริโภคและอุปโภคเพื่อความพึงพอใจของผู้บริโภค อายุของผลิตภัณฑ์อาหารจึงควรคำนึงถึงความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารนั้นด้วย ซึ่งความพึงพอใจมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดว่ามีผลต่อความพึงพอใจหรือการยอมรับของผู้บริโภคหรือไม่

การศึกษาลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลต่อความพอใจหรือการยอมรับของผู้บริโภค เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) เป็นลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงความรู้สึกหรือการสัมผัสของผู้บริโภค สี (Color) หรือลักษณะที่ปรากฏต่อสายตา (Appearance) เป็นลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงการมองเห็นของผู้บริโภค กลิ่นรส (Flavor) เป็นลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงความรู้สึกของผู้บริโภคทางด้านรสชาติ (Taste) และกลิ่น (Odor) เป็นลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงการได้รับกลิ่นของผู้บริโภค เป็นต้นซึ่งแต่ละความรู้สึกของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์นั้นมีความสัมพันธ์กับอวัยวะของการรับรู้ความรู้สึกนั้น ๆ ของมนุษย์ ด้วยเหตุผลนี้บางครั้งจึงมักใช้คำว่า Organoleptic tests ในงานวิจัยทางด้านประสาทสัมผัสในสมัยก่อน (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2545)

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสจึงสามารถใช้เป็นเครื่องมือในเชิงวิเคราะห์ความรู้สึกของผู้ทดสอบชิมหรือกลุ่มเป้าหมาย ค่าที่ประเมินด้วยวิธีนี้จึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ความถูกต้องแม่นยำของผู้ทดสอบ ความสามารถของผู้ทดสอบ ความมั่นใจของผู้ทดสอบ ความสนใจของผู้ทดสอบ ตลอดจนอารมณ์และลักษณะทั่วไปของผู้ทดสอบซึ่งล้วนแต่มีผลต่อการประเมินทางประสาทสัมผัสทั้งสิ้น

5.4.2 การทดสอบความชอบและการยอมรับ

ความชอบของผู้บริโภค (consumer preference) และการยอมรับของผู้บริโภค (consumer acceptance) มีแนวความคิดที่แตกต่างกัน 2 แนวความคิด คือ การตรวจสอบกลุ่มตัวอย่างที่นำเสนอว่าตัวอย่างใดมีความชอบมากที่สุด โดยผู้ทดสอบจะทดสอบความชอบด้วยการชิม และความชอบที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับการยอมรับ แต่ไม่เป็นดัชนีที่จำเป็นในการบ่งบอกการยอมรับ การยอมรับของผู้บริโภคบ่งชี้ได้ถึงระดับของความชอบ (like) และไม่ชอบ (dislike) ในผลิตภัณฑ์ที่กำหนด การตอบสนองที่คาดหวังอาจอยู่ในลักษณะการปฏิเสธ (rejection) หรือยอมรับ (acceptance) (Pangborn, 1967) ซึ่งในการทดสอบการยอมรับนี้ไม่ได้มีความต้องการเปรียบเทียบความชอบระหว่างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับสูงอาจไม่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชอบมากที่สุด และเช่นเดียวกันในทางตรงกันข้ามผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับต่ำที่สุดก็ไม่ได้หมายความว่ามีความชอบน้อยที่สุด จากการที่ผลการทดสอบออกมาทั้งสองกรณีนี้ เรียกว่า affective sensory test (Stone & Sidel, 1978)

จากค่าทางประสาทสัมผัสที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าทางประสาทสัมผัสสามารถชี้วัดคุณภาพของสัตว์น้ำได้เช่นตัวอย่างงานวิจัยของ Goulas and Kontominas (2007) ซึ่งทำการศึกษาคุณลักษณะทางชีวเคมีและประสาทสัมผัสของการทำเค็มร่วมกับการบรรจุแบบปรับสภาวะบรรยากาศ (MAP) และน้ำมันออริกาโนต่ออายุการเก็บรักษาปลาตะเพียนทะเล (*Sparus aurata*) พบว่าคะแนนการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาตะเพียนสดมีอายุการเก็บรักษาได้ 15 - 16 วัน ในขณะที่เนื้อปลาตะเพียนทะเลที่ทำเค็มมีอายุการเก็บรักษา 20 - 21 วัน ส่วนเนื้อปลาตะเพียนทะเลที่ทำเค็มและบรรจุแบบ MAP มีอายุการเก็บรักษา 27 - 28 วัน และเนื้อปลาตะเพียนทะเลที่ทำเค็มและบรรจุแบบ MAP ร่วมกับการเติมน้ำมันออริกาโน 0.8% (v/w) มีอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 33 วัน

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ

1.1 หอยแมลงภู่สดที่ซื้อจากฟาร์มใน ต.อ่างศิลา อ.เมือง จ.ชลบุรี (ขนาด 25 - 28 ตัว ต่อ 1 กิโลกรัม) ขนส่งโดยใช้กล่องสไตโรโฟมบรรจุน้ำแข็งในอัตราส่วนหอยต่อน้ำแข็ง (2 : 3) โดยบรรจุหอยแมลงภู่ใส่ในถุงพลาสติกก่อนใส่ลงในกล่องสไตโรโฟมและขนส่งมายังห้องปฏิบัติการภายในเวลา 1 ชั่วโมง

1.2 สารสกัดจากชาเขียว (Green tea extract) ชนิด food grade (Specialty Natural Product 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 HS7, IKA, Italy)

2.1.4 เครื่องปรับสัดส่วนก๊าซ (MAP Mix 9001 - 3/ 200B, Denmark)

2.1.5 เครื่องบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ (UV 4350, Ultra Vac, Thailand)

2.2 เครื่องมือที่ใช้บรรจุและเก็บรักษา

2.2.1 ตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (RF - 115MGS, Mirage, Japan)

2.2.2 ถุงพลาสติกชนิด Polypropylene ขนาด 6 x 9 นิ้ว

2.2.3 ถุงพลาสติกชนิด Polyvinylidene chloride polyamide และ Cast polypropylene (PVDC/ PA/ CPP) center seal ขนาด 180 x 30 x 250 มิลลิเมตร ความหนา 20/ 40 ไมครอน Water vapor permeability = 4 g/m^2 * 24 hrs., Oxygen permeability = 10 cc/m^2 * 24 hrs.ที่ 20 - 25 องศาเซลเซียส

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

3.1 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (HM - 200, AND, Japan)

3.2 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (PB 3002 - 5, Mettler Toledo, Switzerland)

3.3 เครื่องวัดค่า pH (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 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ (FED 400, Binder, USA)

3.7 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (SS - 325, Tomy, USA)

3.8 ตู้บ่มเชื้อควบคุมอุณหภูมิ (WIG - 32, Wisd, Korea)

3.9 เครื่องตีป่นผสมอาหาร (B.P.S. 432570, AES Labortorie, France)

3.10 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (SBK 25D, Salvislab, Switzerland)

3.11 โถดูดความชื้น

3.12 กระดาษกรองวอทแมนเบอร์ 1 (Whatman No.1)

3.13 เครื่องปั่น (BE 120, OTTO, China)

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

3.15 เครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์

3.16 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบประสาทสัมผัส

3.17 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

4. อาหารเลี้ยงเชื้อและรีเอเจนต์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์

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

4.2 อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้วิเคราะห์แบคทีเรีย Coliform และ *E.coli* ตามวิธีของ AOAC (1994) คือ อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป 3M petrifilm™

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

4.4 อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้วิเคราะห์ *S. aureus* ตามวิธีของ FDA (2001) คือ Baird parker medium (BPA)

4.5 อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้วิเคราะห์ *V. parahaemolylicus* ตามวิธีของ APHA (1992) คือ Thiosulfate - citrate - sucrose agar (TCBS Agar)

4.6 อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้วิเคราะห์ *Salmonella* spp. ตามวิธีของ FDA (2001) คือ Lactose broth (LB)

4.7 อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้วิเคราะห์ *B. cereus* ตามวิธีของ FDA (2001) คือ Mannitol egg - yolk phenol red poly myxin agar (MYP)

5. สารเคมี

5.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณด่างที่ระเหยได้ (TVB-N) โดย Conway microdiffusion method ตามวิธีของ Hasegawa (1987) ได้แก่ Mixed indicator, Inner ring solution, HCl, K_2CO_3 และ Trichloroacetic acid

5.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N) โดย Conway microdiffusion method ตามวิธีของ Hasegawa (1987) ได้แก่ Mixed indicator, Inner ring solution, HCl, K_2CO_3, Trichloroacetic acid และ Formaldehyde

5.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลโปรตีนโดยวิธี SDS-Page ตามวิธีของ Weber and Osborn (1969) ได้แก่ Acrylamide, Tris hydrochloride (Tris - HCl), Sodium dodecyl (SDS), Glycerol, Ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA), Ammonium persulfate (APS), Tetramethylethylenediamine (TEMED), Boric acid, Methanol, Acetic acid, Coomassie brilliant blue, Mercaptoethanol และ Bromophenol blue

6. วิธีการทดลอง

6.1 วัตถุดิบและการเตรียมตัวอย่าง

6.1.1 การเตรียมเนื้อหอยแมลงภู่ต้ม: นำหอยแมลงภู่มาล้างเปลือกด้วยน้ำประปาให้สะอาดแล้วต้มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที (อัตราส่วนหอยต่อน้ำ คือ 2 : 3) ทิ้งให้สะเด็ดน้ำโดยวางลงบนตะแกรงที่สะอาด แกะเอาแต่เนื้อหอยโดยเนื้อหอยที่แกะได้ต้องมีลักษณะสมบูรณ์ไม่ฉีกขาด (นำ byssus ออก) โดยเนื้อหอยที่แกะได้ในถุงพลาสติก PE ที่วางอยู่บน

น้ำแข็งในกล่องโฟมเพื่อควบคุมอุณหภูมิและลดอัตราการเสื่อมคุณภาพ จากนั้นนำเนื้อหอยสุกที่ได้ไปศึกษาในขั้นต่อไป

6.2 การเตรียมสารละลายสำหรับเคลือบ

6.2.1 สารละลายอัลจิเนต 0.002% (w/ v): นำผงอัลจิเนต ปริมาณ 0.02 กรัม มาผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร ต้มบนเครื่องกวนสารให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ประมาณ 20 นาที จนได้สารละลายใสเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นอุ่น

6.2.2 สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.002% (w/ v): นำ $CaCl_2$ จำนวน 0.02 กรัม มาผสมกับน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง จนได้สารละลายใสเป็นเนื้อเดียวกัน

6.2.3 สารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 2.5% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002% (v/ v): นำผงกรดแอสคอร์บิกปริมาณ 25 กรัม และสารสกัดจากชาเขียวปริมาณ 25 กรัม มาผสมให้เข้ากันกับสารละลายข้อ 6.2.1 ด้วยเครื่องกวนสารที่อุณหภูมิห้องนาน 10 นาที จนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (สวามินี ธีระวุฒิ และคณะ, 2559)

6.3 ศึกษาการปรับสภาพบรรยากาศที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาและชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อหอยแมลงภู่สุกที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

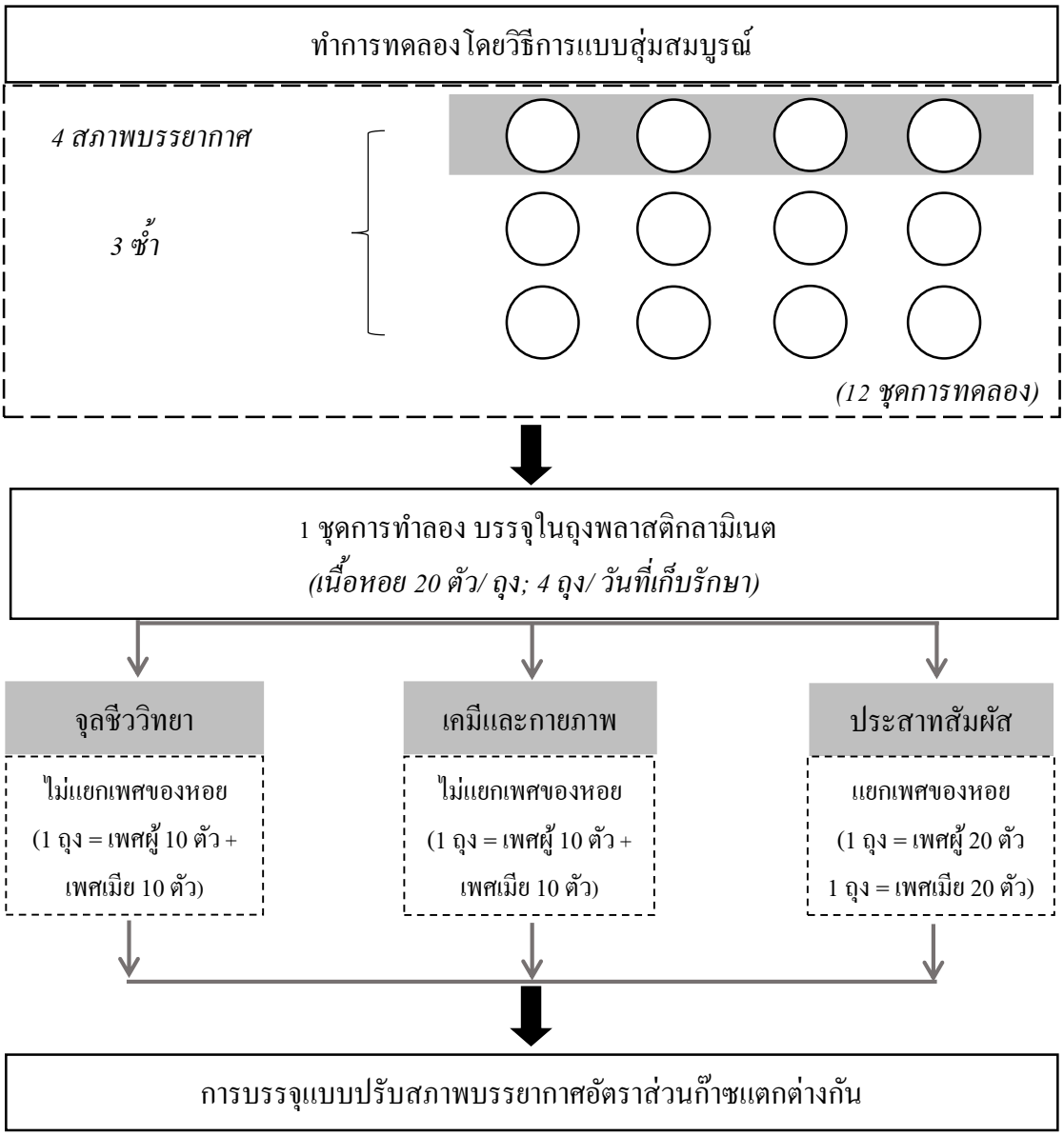
นำเนื้อหอยแมลงภู่สุกที่ได้จาก 6.1 มาเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก 2.5% (ข้อ 6.2.3) ในอัตราส่วนเนื้อหอย 30 ตัว : สารละลาย 1 ลิตร นาน 30 วินาที พักให้สะเด็ดน้ำบนตะแกรงสะอาด 30 วินาที จากนั้นนำไปเคลือบด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.002% (ข้อ 6.2.2) นาน 30 วินาที พักให้สะเด็ดน้ำ 30 วินาที (สวามินี ธีระวุฒิ และคณะ, 2559) นำเนื้อหอยแมลงภู่สุกที่ผ่านการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกแล้ว ทำการทดลองด้วยวิธีการแบบสุ่มสมบูรณ์ แล้วนำไปบรรจุในถุงพลาสติกลามิเนตชนิด PVDC/ PA/ CPP ถุงละ 20 ตัว โดยการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยามีการบรรจุหอยแบบไม่แยกเพศ (1 ถุง = เพศผู้ 10 ตัว และเพศเมีย 10 ตัว) ส่วนการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพที่ใช้ตัวอย่างร่วมกันมีการบรรจุแบบไม่แยกเพศ (1 ถุง = เพศผู้ 10 ตัว และเพศเมีย 10 ตัว) และการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส มีการบรรจุแบบแยกเพศ ดังแสดงในภาพที่ 3-1 จากนั้นนำมาบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน ได้แก่

C000 สภาพบรรยากาศปกติ (ตัวอย่างควบคุม)

M433 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2

M550 50%CO_2: 50%N_2

M622 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2



ภาพที่ 3-1 การจัดชุดการทดลองของเนื้อหอยแมลงภู่สุกที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศใช้เครื่อง Gas flushing และปิดผนึกด้วยความร้อน ซึ่งก๊าซที่ใช้บรรจุเป็นก๊าซที่มีความบริสุทธิ์สูง High purity grade (99.995%) โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ จากนั้นเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส สุ่มไปวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของหอยแมลงภู่สุก ทำการวิเคราะห์ทุก 2 วัน นาน 28 วัน วิธีที่ใช้ในวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่

6.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

6.3.1.1 วิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีของ AOAC (1995)

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

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

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

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

6.3.1.6 วิเคราะห์ *Salmonella* spp. ตามวิธีของ FDA (2001)

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

โดยวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และ *V. parahaemolyticus* ทุก 2 วัน นาน 28 วัน และวิเคราะห์ *E. coli* และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย, *C. perfringens*, *S. aureus* และ *Salmonella* spp. เฉพาะในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา

6.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

6.3.2.1 วิเคราะห์ปริมาณด่างที่ระเหยได้ (TVB-N) และปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N) โดยวิธี Conway microdiffusion method โดยวิธีของ Hasegawa (1987)

6.3.2.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของโปรตีน โดยวิธี Sodium Dodecyl Sulfate - Polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-Page) ตามวิธีของ Laemmli (1970)

โดยวิเคราะห์ TVB-N และ TMA-N ทุก 2 วัน นาน 28 วัน และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของโปรตีน ทุก 4 วัน นาน 28 วัน

6.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

6.3.3.1 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) โดยวิธีของ AOAC (1995)

6.3.3.2 ค่าสีโดยใช้ระบบ CIE (L*, a* และ b*)

6.3.3.3 ค่าแรงเฉือนโดยใช้ใบมีดชนิด HDP/ WBV Warner Bratzler blade set ที่ความเร็ว pre - test speed เท่ากับ 2.00 มิลลิเมตร/ วินาที ส่วน post - test speed เท่ากับ 2.50 มิลลิเมตร/ วินาที และ test speed เท่ากับ 2.00 มิลลิเมตร/ วินาที

โดยวิเคราะห์ค่า pH, สี และแรงเฉือน ทุก 2 วัน นาน 28 วัน

6.3.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

6.3.4.1 การคัดเลือกผู้ทดสอบ

ก่อนวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส (Quantitative descriptive analysis; QDA) ต้องคัดเลือกผู้ทดสอบจำนวน 10 คน จากจำนวนผู้สมัครเข้ารับการประเมินจำนวน 20 คน เพื่อนำมาฝึกฝนให้เกิดความคุ้นเคยกับลักษณะเฉพาะตัวของเนื้อหอยแมลงภู่สุก

6.3.4.2 ฝึกฝนผู้ทดสอบ

นำผู้ทดสอบจำนวน 10 คน ที่ผ่านการคัดเลือกมาฝึกฝนความคุ้นเคยของเนื้อหอยแมลงภู่สุกด้วยการดมกลิ่นและรับประทานเนื้อหอยแมลงภู่สุกที่ไม่เคลือบสารละลายและพิจารณาคะแนนแยกกันในแต่ละลักษณะ จากนั้นให้ผู้ทดสอบทำการทดลองตัวอย่างอีกครั้งและให้คะแนนตามความรู้สึกของผู้ทดสอบเอง จนกระทั่งผู้ทดสอบทุกคนสามารถบ่งบอกความรู้สึกของแต่ละลักษณะได้ใกล้เคียงกัน จากนั้นจึงทดสอบเชิงพรรณนากำหนดคำศัพท์ด้วยการดมกลิ่นและรับประทานเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกในขั้นตอนต่อไป

6.3.4.3 การทดสอบเชิงพรรณนากำหนดคำศัพท์

ให้ผู้ทดสอบจำนวน 10 คน ดมกลิ่นและรับประทานเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 2.5% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002% (w/ v) ทุก 2 วัน นาน 10 วัน โดยผู้ทดสอบต้องเขียนคำอธิบายความรู้สึกตามลักษณะด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส จากนั้นเลือกคำศัพท์ที่ใช้บ่งบอกความรู้สึกต่อผลิตภัณฑ์มาวางลงบนสเกล แล้วให้ผู้ทดสอบขีดเส้นที่ตรงตามความรู้สึกของผู้ทดสอบต่อตัวอย่างที่ทดสอบ

6.3.4.2 ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำคำศัพท์ที่จากการทดสอบเชิงพรรณนากำหนดคำศัพท์ (ข้อ 6.3.4.3) มาวางลงบนสเกลที่มีความยาว 12 เซนติเมตร เว้นหัวท้ายด้านละ 1 เซนติเมตร (Stone, 1992) โดยพิจารณาสเกลแยกกันในแต่ละคำศัพท์ จากนั้นให้ผู้ทดสอบขีดเส้นที่ตรงตามความรู้สึกของผู้ทดสอบต่อตัวอย่างที่ทดสอบ โดยใช้ตัวอย่างที่เคลือบด้วยสารละลายชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 2.5% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002% (w/ v) ที่เก็บรักษาภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน ตามชุดการทดลองที่กำหนดไว้ โดยมีการเตรียมตัวอย่างด้วยการนำเนื้อหอยแมลงภู่ไปนึ่งด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลา 3 นาที ใช้ตัวอย่างเดียวกันในแต่ละชุดการทดสอบให้ผู้ทดสอบดูและให้คะแนนสำหรับการทดสอบด้านลักษณะปรากฏ (เพศผู้และเพศเมียอย่างละ 3 ตัว) และชิมคนละ 2 ตัว เพศผู้ 1 ตัว และเพศเมีย 1 ตัวโดยทำการทดสอบคุณภาพทุก 2 วัน เป็นเวลา 28 วัน

ซึ่งก่อนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสต้องรอผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาก่อนเพื่อความปลอดภัยของผู้ทดสอบ

6.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

6.4.1 คุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมี และกายภาพ

ใช้แผนการทดลองแบบ Complete randomized design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ โดยมีสภาวะการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่แตกต่างกัน 4 ปัจจัย (C000; สภาพบรรยากาศ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2, M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ใช้โปรแกรมทางสถิติเพื่อหาตัวแปรที่มีผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.4.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) ทดลอง 3 ซ้ำ โดยมีสภาวะการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่แตกต่างกัน 4 ปัจจัย (C000; สภาพบรรยากาศ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2, M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยใช้โปรแกรมคำนวณทางสถิติในการประมวลผลเพื่อหาตัวแปรที่มีผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

6.5 สถานที่ทำการทดลอง

6.5.1 ห้องปฏิบัติการภาควิชาวาริชศาสตร์ อาคารวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

6.5.2 อาคารปฏิบัติการแปรรูปอาหาร 2 สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตรและอาคารอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ

บทที่ 4
ผลการวิจัย

เนื้อหอยแมลงภู่สุกพร้อมบริโภคที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 2.5% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002 % (w/ v) ภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน 4 รูปแบบ คือ C000; สภาพบรรยากาศปกติ (ตัวอย่างควบคุม), M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2 ที่เก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส ดังนี้

1. ผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเนื้อหอยแมลงภู่สุกพร้อมบริโภคที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

1.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

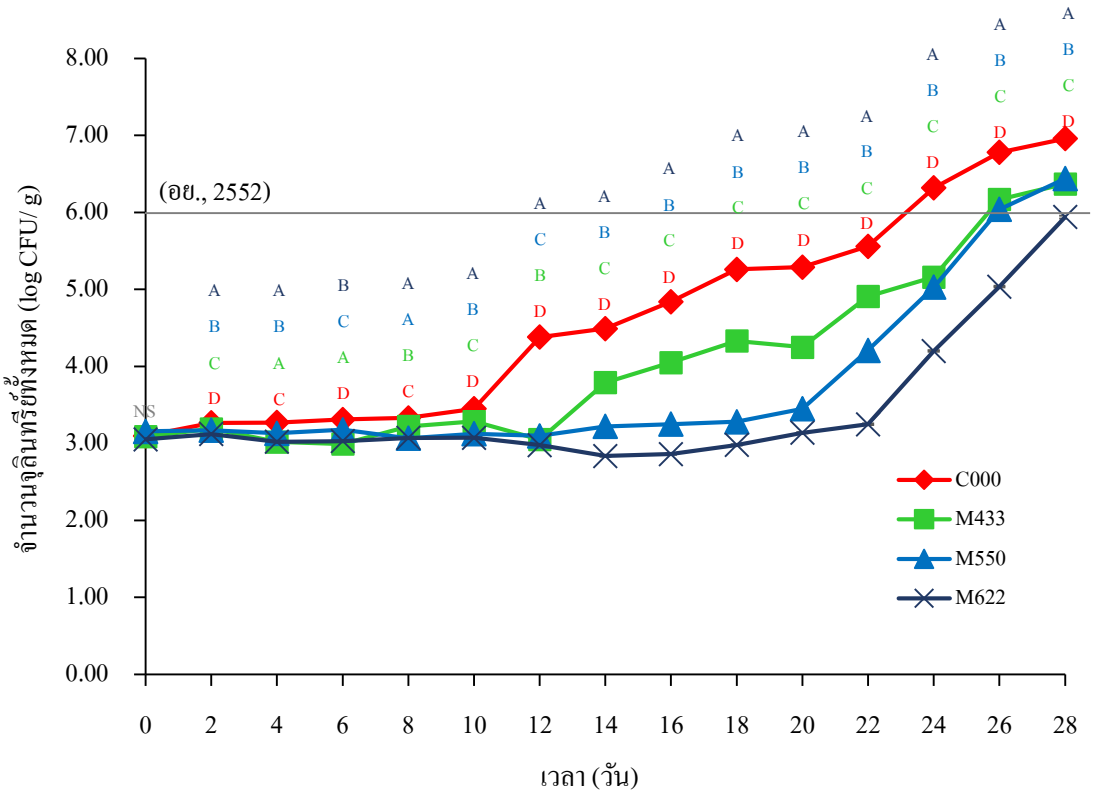
เมื่อสัตว์น้ำตายลงจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับตัวของสัตว์น้ำเข้ามาใช้สารอาหารและสลายโปรตีนก่อให้เกิดกระบวนการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ขึ้น โดยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดสามารถบ่งบอกการเน่าเสียของสัตว์น้ำและความปลอดภัยของผู้บริโภคได้ ซึ่งจากการศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกันนาน 28 วัน (ภาพที่ 4-1) จากภาพแสดงให้เห็นถึงอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 (วันที่ 0 - 10) จุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 3.02 - 3.45 log CFU/ g เป็นช่วงที่จุลินทรีย์อยู่ในช่วง lag phase จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย ช่วงที่ 2 (วันที่ 10 - 20) เห็นได้ว่าจุลินทรีย์ทั้งหมดในชุดการทดลอง C000 (บรรยากาศปกติ) อยู่ในช่วง 3.45 - 5.29 log CFU/ g และ M433 (40% CO_2: 30% N_2: 30% O_2) อยู่ในช่วง 3.05 - 4.25 log CFU/ g สามารถเจริญเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วมากขึ้นและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันแตกต่างกับชุดการทดลอง M550 (50%CO_2: 50%N_2) และ M622 (60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) ที่มีการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ทั้งหมดคงที่ในช่วง 3.10 - 3.45 และ 2.84 - 3.14 log CFU/ g ตามลำดับ ซึ่งผลของจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เนื่องจากปริมาณ CO_2 ที่มีอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ (50 - 60%) อาจมีผลต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดี จุลินทรีย์บางกลุ่มที่ไม่สามารถเจริญได้ในสภาวะที่มี CO_2 สูง จึงไม่สามารถเจริญได้ อีกทั้ง CO_2 ยังมีคุณสมบัติละลายน้ำและไขมันได้ดี (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550) จาก CO_2

ที่อยู่ในรูปก๊าซเมื่อจับตัวกับน้ำจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปเป็นกรดคาร์บอนิกซึ่งเป็นกรดอ่อนขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ จุลินทรีย์บางกลุ่มที่ไม่สามารถทนต่อสภาวะที่เป็นกรดได้จึงไม่สามารถเจริญได้ และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นในช่วงที่ 3 (วันที่ 20 - 28) ความเป็นกรดของกรดแอสคอร์บิกลดลงและประสิทธิภาพหรือสารประกอบโพลีฟีนอลของสารสกัดจากชาเขียวถูกใช้หมดไป สภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์เริ่มเข้าสู่สภาวะปกติ จุลินทรีย์ที่ทนต่อสภาวะต่าง ๆ ภายนอกได้ จึงเริ่มเจริญเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว (log phase) ทำให้ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่า C000 มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 5.29 - 6.96 log CFU/ g, M433 อยู่ในช่วง 4.25 - 6.37 log CFU/ g, M550 อยู่ในช่วง 3.45 - 6.44 log CFU/ g และ M622 อยู่ในช่วง 3.14 - 5.94 log CFU/ g เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kostaki et al. (2009) ที่ใช้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศเก็บรักษาปลากะพง (*Dicentrarchus labrax*) สด พบว่าการใช้สภาพบรรยากาศที่มีปริมาณ CO_2 สูงแบบ M2 (60%CO_2: 30%N_2: 10%O_2) สามารถเก็บรักษาและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่า M1 (40%CO_2: 50%N_2: 10%O_2) โดยเก็บได้นาน 12 วัน

ดังนั้นหากเปรียบเทียบปริมาณ CO_2 พบว่าชุดการทดลอง M550 และ M622 ที่มี CO_2 อยู่ในช่วง 50 - 60% สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดี แต่ M622 สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดีกว่า เพราะปริมาณ 60% ของ CO_2 ในบรรจุภัณฑ์สามารถแตกตัวให้ปริมาณกรดสูงกว่าเช่นเดียวกับการศึกษาผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศเก็บหอยนางรมสดแกะเปลือก (*Saccostrea cucullata*) ของสวามินี ธีระวุฒิ และคณะ (2557) พบว่าหอยนางรมสดแกะเปลือกในชุดการทดลองที่มีปริมาณ CO_2 สูงสามารถเก็บได้นานกว่าชุดการทดลองที่มี CO_2 ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจาก CO_2 สามารถละลายน้ำและเปลี่ยนรูปเป็นกรดคาร์บอนิกได้ ทำให้สภาวะภายในบรรจุภัณฑ์มี pH ต่ำ จุลินทรีย์จึงไม่สามารถเจริญได้ ซึ่งคุณสมบัตินี้ส่งผลดีถึงวันที่ 20 ของการเก็บรักษา แต่ถ้าหากเปรียบเทียบปริมาณ N_2 และ O_2 พบว่าทั้งสองก๊าซไม่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งจากการทดลองของสวามินี ธีระวุฒิ และคณะ (2557) แสดงให้เห็นว่าในชุดการทดลองที่มีปริมาณ CO_2 เท่ากัน แต่ปริมาณของ N_2 และ O_2 ต่างกัน มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกัน เนื่องจาก N_2 เป็นก๊าซเฉื่อยที่ไม่มีผลต่อการเจริญหรือยับยั้งจุลินทรีย์ แต่มีหน้าที่ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร อีกทั้งยังช่วยป้องกันการยุบตัวและรักษาระดับความดันภายในบรรจุภัณฑ์ ส่วน O_2 เป็นก๊าซที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในบรรจุภัณฑ์ (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550) ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาพบรรยากาศที่มีปริมาณ CO_2 สูงจึงสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่า แต่เนื่องจากการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศมีข้อจำกัดเรื่องปริมาณก๊าซ แม้ว่า CO_2 สูงสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดี แต่ถ้าหากใช้ในปริมาณ

มากเกินไปทำให้เกิดอัตราการแตกตัวและกรดคาร์บอนิกเพิ่มสูงขึ้น โดยปริมาณกรดที่เกิดขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์อาจมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคตามไปด้วย ดังนั้นการนำสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และมีกลิ่นรสที่คุ้นเคยต่อผู้บริโภคมาใช้ร่วมกับการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศสามารถลดข้อจำกัดและเพิ่มประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาได้ดีขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kostaki et al. (2009) ที่ใช้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ M2 (60%CO_2: 30%N_2: 10%O_2) ซึ่งมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการเก็บรักษาปลากะพง (*Dicentrarchus- labrax*) สด มาใช้ร่วมกับน้ำมันไทม์ที่เป็นสารสกัดจากธรรมชาติและมีคุณสมบัติในยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์มาใช้ร่วมด้วยประสิทธิภาพในการเก็บรักษาจึงเพิ่มมากขึ้นจากเดิม 12 วัน เป็น 19 วัน ซึ่งจากงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยนำสารสกัดจากธรรมชาติมาใช้ร่วมกับการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น

ดังเช่นการทดลองนี้ที่กำหนดให้ทุกชุดการทดลองมีการเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นเท่ากัน แต่มีปริมาณ CO_2 แตกต่างกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่า M622 ที่มีปริมาณ CO_2 สูงที่สุด มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด เนื้อหอยแมลงภู่สุกในชุดการทดลอง M622 จึงมีอายุการเก็บรักษาสูงที่สุดและสามารถเก็บรักษาได้นานมากกว่า 28 วัน ในขณะที่ชุดการทดลอง M550 และ M433 ซึ่งมีปริมาณ CO_2 ต่ำกว่า M622 มีอายุการเก็บรักษา 24 วัน และชุดการทดลอง C000 ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ สามารถเก็บรักษาได้เพียง 22 วัน เมื่อพิจารณาจากมาตรฐานคุณภาพด้านจุลินทรีย์สำหรับอาหารทะเลสุกที่จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่ควรมีค่าเกิน 6 log CFU/ g (อย., 2552)



ภาพที่ 4-1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD มีค่าระหว่าง 0.01 - 0.02)

1.2 จุลินทรีย์ก่อโรค

จุลินทรีย์ก่อโรคมักพบปนเปื้อนมากับตัวหอยแมลงภู่เองจากฟาร์มเลี้ยง แต่เนื่องจากฟาร์มเลี้ยงที่นำตัวอย่างมาใช้อยู่ห่างจากชายฝั่งประมาณ 8 - 10 กิโลเมตร อิทธิพลของน้ำบริเวณชายฝั่งที่มีสิ่งปฏิกูลและขยะมูลฝอยจึงมีน้อย ประกอบกับกระบวนการผลิตในการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำดื่มตามมาตรฐานน้ำบริโภคในการเคลือบสารละลายที่ใช้เคลือบ เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตผ่านการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อด้วยความร้อน การต้มหอยในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และถุงลามิเนตที่ใช้บรรจุเป็นถุงใหม่ที่สะอาด ผลการตรวจวิเคราะห์ *E. coli* และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย, *C. perfringens*, *S. aureus*, *Salmonella* spp. และ *B. cereus* บ่งบอกถึงสุขลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์จึงตรวจวิเคราะห์เฉพาะวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ซึ่งผลการทดลอง

พบว่าในทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) ไม่พบจุลินทรีย์ก่อโรคชนิดต่าง ๆ ดังกล่าว ส่วน *V. parahaemolyticus* เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการโซเดียมคลอไรด์ในการเจริญและพบมากในอาหารทะเลจึงจำเป็นต้องตรวจวิเคราะห์เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคตามมาตรฐานอาหารทะเลสุกที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2553) กำหนดไว้ โดยตรวจวิเคราะห์ทุก 2 วัน นาน 28 วัน ผลการทดลองพบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาตัวอย่างทุกชุดการทดลองตรวจวิเคราะห์ไม่พบ *V. parahaemolyticus* ซึ่งสาเหตุที่ตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์ก่อโรคไม่พบ มีดังต่อไปนี้

1.2.1 *E. coli* และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

จากการวิเคราะห์ *E. coli* และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ที่ตรวจเฉพาะวันที่ 0 ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่เก็บรักษาภายใต้การปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกันนั้น พบว่าวันที่ 0 ตรวจไม่พบ *E. coli* และโคลิฟอร์มแบคทีเรียในทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) เนื่องจาก *E. coli* และโคลิฟอร์มแบคทีเรียสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 3 - 50 องศาเซลเซียส (บุษกร อุตรภิชาติ, 2555) ซึ่งกระบวนการผลิตหอยแมลงภู่สุกนี้ใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จึงทำให้ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Niamnuy, Devahastin, and Soponronnarit (2007) พบว่าการนำกุ้ง (*Penaeus indicus*) ไปจุ่มในน้ำเดือดเป็นเวลาอย่างน้อย 3 นาที ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ลดลงและอยู่ในระดับที่ปลอดภัย

ดังนั้นหากพิจารณาความปลอดภัยของอาหารทะเลปรุงสุกจากอันตรายของโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ อย. (2552) กำหนดให้ตรวจพบ *E. coli* และโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ไม่เกิน 3 log CFU/ g ซึ่งผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกในทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) ไม่มีการปนเปื้อน *E. coli* และโคลิฟอร์มแบคทีเรียระหว่างทำการทดลองและการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามหากร่างกายได้รับ *E. coli* และโคลิฟอร์มแบคทีเรียมากเกินไปทำให้มีอาการท้องเดิน โดยผู้ป่วยบางรายอาจถ่ายเป็นมูกเลือด ปวดท้อง ปวดศีรษะ คลื่นไส้ และอาเจียนร่วมด้วย (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545)

1.2.2 *C. perfringen*

ในการวิเคราะห์ *C. perfringen* ที่ตรวจเฉพาะวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ไม่พบ *C. perfringen* ในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่เก็บรักษาภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) เนื่องจาก *C. perfringen* สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 15 - 51 องศาเซลเซียส (บุษกร อุตรภิชาติ, 2555) เป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ O_2 ในการเจริญและเมื่อมีการสร้างเอนโดสปอร์จะเป็นการสร้างสารพิษในอาหาร (วีรานุช หลาง, 2555) ดังนั้นการนำหอยแมลงภู่สุกไปต้มที่อุณหภูมิ

95 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส จึงมีผลทำให้จุลินทรีย์ชนิดดังกล่าวไม่สามารถเจริญได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Juneja and Majka (1995) ได้ศึกษาการเจริญของสปอร์ *C. perfringen* ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาแตกต่างกันในเนื้อวัวปรุงสุกที่มีการบรรจุแบบสุญญากาศ พบว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสไม่พบการเจริญของสปอร์ *C. perfringen* เช่นเดียวกับการศึกษาผลของการลดอุณหภูมิต่อการเจริญของสปอร์ *C. perfringen* ในเนื้อบดที่นำไปปรุงสุกด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำมาเก็บรักษาโดยการลดอุณหภูมิ ทำการวิเคราะห์การเจริญของ *C. perfringen* ตั้งแต่ 6 ถึง 18 ชั่วโมง พบว่าที่อุณหภูมิ 7.2 องศาเซลเซียส เวลา 15 ชั่วโมงหรือน้อยกว่านั้น สามารถยับยั้งการเกิดโรคในอาหารจากเชื้อ *C. perfringen* ได้ (Juneja, Snyder, & Cygnarowiczprovost, 1994)

อย่างไรก็ตามหากพิจารณาความปลอดภัยของอาหารทะเลสุกตามมาตรฐานของสถาบันอาหาร (2542) ที่กำหนดให้ *C. perfringen* มีค่าไม่เกิน 4 log CFU/ g จากผลการทดลองพบว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกในทุกชุดการทดลองไม่มีการปนเปื้อน *C. perfringen* ซึ่งหากมีการบริโภคเซลล์ที่มีชีวิตของจุลินทรีย์ชนิดดังกล่าวเข้าไปเป็นจำนวนมากจะทำให้ผู้บริโภคมีอาการคลื่นไส้ท้องเสียและถ่ายท้อง (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545)

1.2.3 *S. aureus*

เนื้อหอยแมลงภู่สุกในทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) ที่ตรวจเฉพาะวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ตรวจไม่พบ *S. aureus* เนื่องจากจุลินทรีย์ชนิดนี้สามารถเจริญที่อุณหภูมิ 5 - 48 องศาเซลเซียส (บุษกร อุตรภิชาติ, 2555) และสร้าง enterotoxin ในอาหารได้ โดยจะส่งผลต่อระบบทางเดินอาหาร เนื้อเยื่อบุผิวและเส้นประสาทหลังได้รับสารพิษประมาณ 3 ชั่วโมง อีกทั้ง *S. aureus* ยังทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ ตะคริว และอุจจาระร่วง เป็นจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณผิวหนังหรือเยื่อบุเมือกของมนุษย์จึงสามารถใช้บ่งชี้ถึงสุขลักษณะในการผลิตอาหารได้ (วีรานุช หลาง, 2555) ดังนั้นความร้อนจากการต้มหอยที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จึงไปทำลาย *S. aureus* เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Scheinberg, Svoboda and Cutter (2014) ได้ศึกษากระบวนการแปรรูปของเนื้อเจอร์กี (Beef jerky) ก่อนรับประทาน โดยใช้น้ำร้อน 100 องศาเซลเซียส นาน 20 - 30 วินาที สามารถยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้บริโภคได้

เมื่อพิจารณาความปลอดภัยของอาหารทะเลสุกตามมาตรฐานของสถาบันอาหาร (2542) กำหนดให้ *S. aureus* มีค่าไม่เกิน 4 log CFU/ g แสดงว่าไม่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ดังกล่าวตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา

1.2.4 *V. parahaemolyticus*

ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา 28 วัน ตรวจไม่พบ *V. parahaemolyticus* ในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่เก็บรักษาภายใต้การปรับสภาพบรรยากาศในทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) เนื่องจากอุณหภูมิที่ *V. parahaemolyticus* เจริญได้อยู่ระหว่าง 3 - 44 องศาเซลเซียส และเจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 35 - 37 องศาเซลเซียส (บุษกร อุตรภิชาติ, 2555) ดังนั้นการนำหอยแมลงภู่ไปต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ในการทดลองนี้จึงสามารถทำลายจุลินทรีย์ดังกล่าวได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Xie, Sun, Pan, and Zhao (2012) ที่ทำการศึกษากุ้งสดจากซุปเปอร์มาเก็ตในประเทศจีน โดยนำกุ้งสดมาต้มที่อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่าการใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถทำลาย *V. parahaemolyticus* ได้ดีที่สุด และงานวิจัยของ Young, Anang and Tiwari (2014) พบว่าการนำกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ไปต้มในน้ำเดือดจนอุณหภูมิกึ่งกลางลำตัวเท่ากับ 73 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที ทำให้กุ้งกุลาดำปลอดจากเชื้อ *V. parahaemolyticus*

ดังนั้นหากพิจารณาเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหารของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2553) กำหนดว่าต้องไม่พบจำนวน *V. parahaemolyticus*/25 กรัม ทำให้ตัวอย่างหอยแมลงภู่สุกในการทดลองนี้ปลอดภัยจากอันตรายของ *V. parahaemolyticus* อย่างไรก็ตามหากบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนของจุลินทรีย์ชนิดนี้ ทำให้เกิดโรคท้องร่วง ปวดเกร็งท้อง ปวดหัว คลื่นไส้ อาเจียนและมีไข้ต่ำเกิดร่วมด้วย (วีรานุช หลาง, 2555)

1.2.5 *Salmonella* spp.

เนื้อหอยแมลงภู่สุกในทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาตรวจไม่พบ *Salmonella* spp. เนื่องจากการใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ในการต้มหอยแมลงภู่ทำให้ *Salmonella* spp. ไม่สามารถทนอยู่ได้ เนื่องจากจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 5 - 49 องศาเซลเซียส และเจริญได้ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิ 35 - 37 องศาเซลเซียส (บุษกร อุตรภิชาติ, 2555) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Juneja et al. (2016) ศึกษาวิธียับยั้งการเจริญของ *Salmonella* spp. ในผลิตภัณฑ์เนื้อเจอร์กี (ground beef jerky) พบว่าการใช้อุณหภูมิ 82 องศาเซลเซียส ร่วมกับสารละลายโพแทสเซียมซอร์เบต (0.25%) สามารถยับยั้งการเจริญของ *Salmonella* spp. ได้ดีที่สุด เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Scheinberg, Svoboda, and Cutter (2014) ที่พบว่าการใช้น้ำร้อน (100 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 20 - 30 วินาที ในกระบวนการแปรรูปเนื้อเจอร์กี (beef jerky) สามารถลดปริมาณ *Salmonella* spp. และเพิ่มความปลอดภัยของผู้บริโภคได้

ดังนั้นหากพิจารณาเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหารของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2553) กำหนดว่าต้องไม่พบจำนวน *Salmonella* spp./ 25 กรัม ซึ่งผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกในทุกชุดการทดลองไม่มีการปนเปื้อน *Salmonella* spp. อย่างไรก็ตามหากบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ชนิดนี้ ผู้บริโภคจะเกิดอาการอาหารเป็นพิษภายในเวลา 12 - 14 ชั่วโมงหลังบริโภคอาหาร โดยเกิดการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ปวดศีรษะ หนาวสั่นรวมทั้งท้องเดิน (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545)

1.2.6 *B. cereus*

เมื่อวิเคราะห์จำนวน *B. cereus* เฉพาะวันที่ 0 ในเนื้อหอยแมลงภู่สุกที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่เก็บรักษาภายใต้การปรับสภาพบรรยากาศในทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) ตรวจไม่พบ *B. cereus* ในทุกชุดการทดลอง เนื่องจาก *B. cereus* สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 8 - 55 องศาเซลเซียส (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545) ซึ่งในกระบวนการผลิตเนื้อหอยแมลงภู่สุกได้นำหอยไปต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ดังกล่าวได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาเนื้อวัวที่ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำมาแปรรูปเป็นเนื้อปรุงรส ทำการวิเคราะห์จำนวน *B. cereus* และผลการศึกษาพบว่า ไม่มีจำนวน *B. Cereus* ในเนื้อวัวปรุงรส (Paik et al., 2006)

การบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนของ *B. cereus* ทำให้มีอาการอาเจียน ปวดท้องรุนแรง และอาจมีอาการท้องร่วงร่วมด้วย (บัญญัติ สุขศรีงาม และคณะ, 2551) ดังนั้น กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2553) จึงกำหนดไว้ว่าต้องพบ *B. cereus* น้อยกว่า 100 CFU/ g ซึ่งผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกในทุกชุดการทดลองไม่มีการปนเปื้อน *B. cereus* ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 28 วัน

2. ผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพทางเคมีของเนื้อหอยแมลงภู่สุกพร้อมบริโภคที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

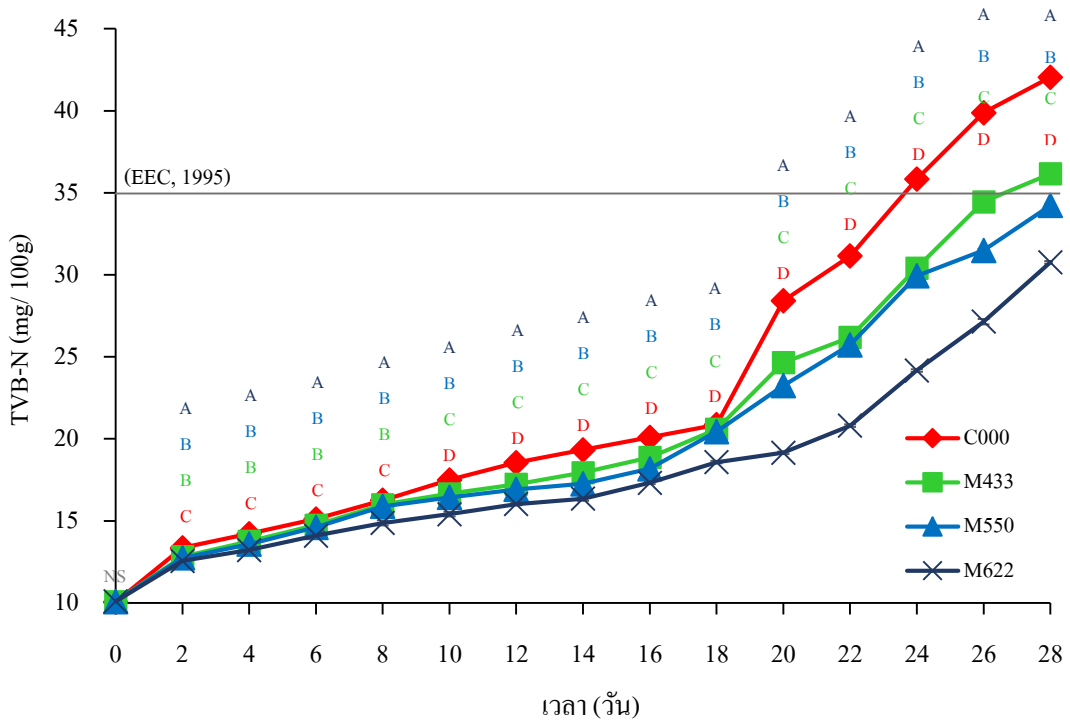
2.1 ปริมาณด่างที่ระเหยได้ (TVB-N)

ด่างที่ระเหยได้หรือสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (TVB-N) มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและสามารถละลายน้ำได้ เช่น กัวนิดีน (guanidine) กรดอะมิโนอิสระ แอมโมเนีย และไตรเมธิลเอมีนออกไซด์ (Trimethylamine oxide) เป็นต้น มักพบในสัตว์น้ำมากกว่าสัตว์ชนิดอื่น เมื่อสัตว์น้ำตายลงสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนเหล่านี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสัตว์น้ำ ทำให้คุณลักษณะของสัตว์น้ำเปลี่ยนแปลงไป เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์และมีรสชาติผิดแปลกไปจากธรรมชาติ (จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, 2558) ดังนั้น TVB-N จึงเป็นค่าที่สามารถใช้บ่งบอกความสดของสัตว์น้ำได้

จากการศึกษาปริมาณ TVB-N ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกันนาน 28 วัน วันที่ 0 มีปริมาณ TVB-N เท่ากับ 10.05 mg/ 100g จากภาพที่ 4-2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TVB-N สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง โดยช่วงที่ 1 (วันที่ 0 - 18) TVB-N ของทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) มีปริมาณ TVB-N อยู่ในช่วง 10.05 - 20.86 mg/ 100g และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน เนื่องจากจุลินทรีย์ทั้งหมดในเนื้อหอยแมลงภู่อยู่ในช่วง lag phase จึงไม่สามารถเจริญเพิ่มจำนวนและย่อยสลายโครงสร้างต่าง ๆ ภายในตัวของเนื้อหอยแมลงภู่ได้ ปริมาณ TVB-N ในช่วงที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างล่าช้าแตกต่างกับปริมาณ TVB-N ในช่วงที่ 2 ส่วนช่วงที่ 2 (วันที่ 18 - 28) นั้นชุดการทดลองมีแนวโน้มของปริมาณ TVB-N เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและแตกต่างกันอย่างชัดเจน ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะชุดการทดลอง C000 ที่ไม่ได้เก็บรักษาภายใต้การปรับสภาพบรรยากาศมีปริมาณ TVB-N อยู่ในช่วง 20.86 - 42.04 mg/ 100g ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบว่าเมื่อจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นปริมาณ TVB-N มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ชุดการทดลอง C000 จึงมีปริมาณ TVB-N สูงกว่าชุดการทดลองแบบ MAP โดย M433 (40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2), M550 (50%CO_2: 50%N_2) และ M622 (60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) มีปริมาณ TVB-N อยู่ในช่วง 20.59 - 36.16 mg/ 100g, 20.44 - 34.23 mg/ 100g และ 18.58 - 30.76 mg/ 100g ตามลำดับ เนื่องจากในสภาพบรรยากาศปกติมีปริมาณ O_2 ที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ กระบวนการย่อยสลายจากจุลินทรีย์จึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้โครงสร้างโปรตีน รวมทั้งสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีน เช่น แอมโมเนีย เอมีน ไตรเมทิลเอมีน ไดเมทิลเอมีน และสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ (นิรชา วงษ์จินดา, 2547) เกิดการเสื่อมคุณภาพ ปริมาณ TVB-N ใน C000 จึงมีปริมาณสูงกว่าชุดการทดลองอื่นเช่นเดียวกับการศึกษาของ

Nirmal and Benjakul (2011 b) ที่พบว่าการเก็บรักษากุ้งขาวสดจุ่มสายละลายชาเขียวและวิตามินซีที่เก็บรักษาภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ดีกว่าการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ

อย่างไรก็ตามการเกิดปฏิกิริยาการเน่าเสียของอาหารส่วนใหญ่มักเกิดจากจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ O_2 ในการเจริญ (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550) การกำหนดให้สภาวะภายในบรรจุภัณฑ์มีปริมาณ O_2 ต่ำ และมีปริมาณ CO_2 สูง จึงสามารถยับยั้งจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้ โดย CO_2 ในช่วง 40 - 60% สามารถช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพโดยจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์เนื้อหอยแมลงภู่สุกได้ดี เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP พบว่าปริมาณ TVB-N ใน M622 มีปริมาณต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เพราะ M622 มีปริมาณ CO_2 สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ M550 และ M433 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Caglak et al. (2008) พบว่าหอยกะพงเมดิเตอร์เรเนียน (*Mytilus galloprovincialis*) สดที่เก็บรักษาแบบ MAP โดยใช้สัดส่วนก๊าซแตกต่างกันและแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณ CO_2 80%, 65% และ 50% ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่มีปริมาณ CO_2 สูงที่สุดมีปริมาณ TVB-N ต่ำที่สุด เช่นกับการศึกษาเนื้อปลากะพง (*Dicentrarchus labrax*) สดเคลือบน้ำมันไทม์ร่วมกับการ MAP ของ Kostaki et al. (2009) พบว่าชุดการทดลองที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุดมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TVB-N น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ดังนั้นหากพิจารณาจากปริมาณ TVB-N ในสัตว์น้ำจำพวกหอยที่ควรมีปริมาณน้อยกว่า 35 mg/ 100g (EEC, 1995) ชุดการทดลอง M622, M550, M433 และ C000 มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 28, 28, 26 และ 22 วัน ตามลำดับ



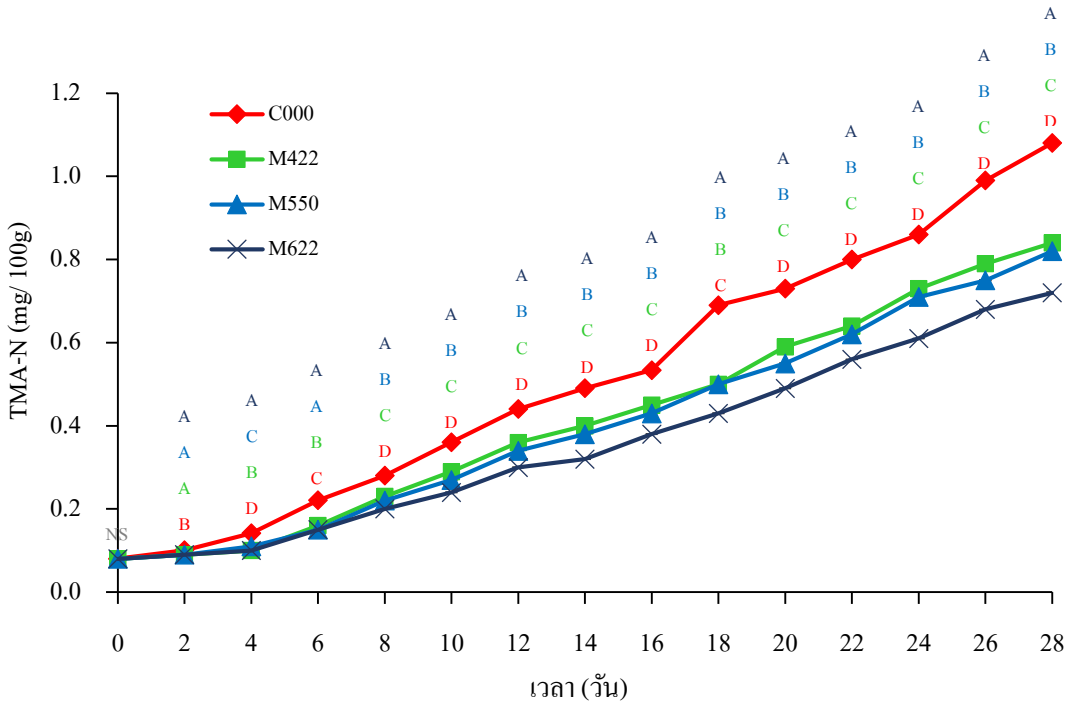
ภาพที่ 4-2 ปริมาณ TVB-N ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.16)

2.2 ปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N)

ในสัตว์น้ำสดพบไตรเมธิลเอมีนออกไซด์ (Trimethylamine oxide; TMAO) เป็นองค์ประกอบ แต่เมื่อสัตว์น้ำเกิดการเน่าเสียด้วยกระบวนการของจุลินทรีย์ TMAO ถูกย่อยและเปลี่ยนรูปจาก TMAO เป็นไตรเมทธิลเอมีน (TMA-N) ส่งผลให้เกิดสารระเหยที่มีกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเน่าขึ้น ซึ่งปริมาณ TMA-N ของหอยแมลงภู่ไม่มีมาตรฐานชี้วัดที่ชัดเจนเหมือนปริมาณ TVB-N จึงพิจารณาจากปริมาณ TMA-N ของสัตว์น้ำทั่วไปดังที่ สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2554) กล่าวไว้ว่าสัตว์น้ำที่มีคุณภาพดีควรมีค่า TMA-N น้อยว่า 1.5 mg/ 100g และในการศึกษาปริมาณ TMA-N ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกันนาน 28 วัน วันที่ 0 ของการเก็บรักษา มีปริมาณ TMA-N เท่ากับ 0.08 mg/ 100g จากภาพที่ 4 - 3 แสดงให้เห็นว่า เนื้อหอยแมลงภู่สุกทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TMA-N แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1

(วันที่ 0 - 8) มีปริมาณ TMA-N อยู่ในช่วง 0.08 - 0.28 mg/ 100g และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย สาเหตุเกิดจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่ภายในเนื้อหอยแมลงภู่อยู่ในช่วง lag phase จุลินทรีย์เหล่านี้จึงไม่สามารถเจริญเพิ่มจำนวนได้ กระบวนการเมทาบอลิซึมและการย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์ จึงมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยในช่วงแรก แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นปริมาณ TMA-N มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับปริมาณ TVB-N เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นในช่วงที่ 2 (8 - 28) พบว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP มีปริมาณ TMA-N ต่ำกว่าชุดการทดลอง C000 โดยชุดการทดลอง C000 (สภาพบรรยากาศปกติ) มีปริมาณ TMA-N อยู่ในช่วง 0.28 - 1.08 mg/ 100g, M433 (40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2) อยู่ในช่วง 0.23 - 0.84 mg/ 100g, M550 (50%CO_2: 50%N_2) อยู่ในช่วง 0.22 - 0.82 mg/ 100g และ M622 (60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) อยู่ในช่วง 0.20 - 0.72 mg/ 100g เนื่องจาก CO_2 มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่จำเป็นต้องใช้ O_2ในการเจริญได้ดี (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550) จุลินทรีย์ที่เจริญได้ในชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP จึงถูกจำกัด ดังนั้นเมื่อจุลินทรีย์ถูกจำกัดอัตราการย่อยสลายของสารประกอบ TMAO จึงถูกลดลงตามไปด้วย ปริมาณ TMA-N ที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปของ TMAO (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554) ทำให้ในชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP มีปริมาณ TMA-N ต่ำกว่าชุดการทดลอง C000 เช่นเดียวกับการศึกษาปริมาณ TMA-N ของเนื้อปลาดิบร่วมกับการบรรจุแบบMAP ของ Fagan, Gormley and Mhuircheartaigh (2004) พบว่าเนื้อปลาดิบที่เก็บรักษาแบบ MAP มีปริมาณ TMA-N ต่ำกว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ

อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกภายใต้การบรรจุแบบ MAP มีอายุการเก็บรักษามากกว่า C000 โดยสัดส่วน CO_2 ในแต่ละชุดการทดลองที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณ TMA-N แตกต่างกัน เนื่องจาก CO_2 มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดี M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุด จึงสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด TMA-N ที่เกิดจากการสลายตัวของสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนโดยกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์จึงมีปริมาณน้อยลงตามไปด้วย รองลงมา คือ M550 และ M433 ตามลำดับ ซึ่งสอดคลอดคล้องกับการศึกษาเนื้อปลากะพง (*Dicentrarchus labrax*) สดเคลือบน้ำมันไทม์ร่วมกับการ MAP ของ Kostaki et al. (2009) พบว่าชุดการทดลองที่มี CO_2 60% ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ TMA-N น้อยที่สุด เช่นเดียวกับงานวิจัยของ นิชนันท์ เธียรพัฒนะวงศ์, พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ และมณฑิรา นพรัตน์ (2551) ได้ศึกษาการเก็บรักษาหอยแครง (*Anadara granosa*) ลวกร่วมกับการบรรจุแบบ MAP พบว่าชุดการทดลอง 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2 ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลง TMA-N ของหอยแครงลวกได้ดีที่สุด



ภาพที่ 4-3 ปริมาณ TMA - N ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD มีค่าระหว่าง 0.001 - 0.003)

2.3 การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของโปรตีน

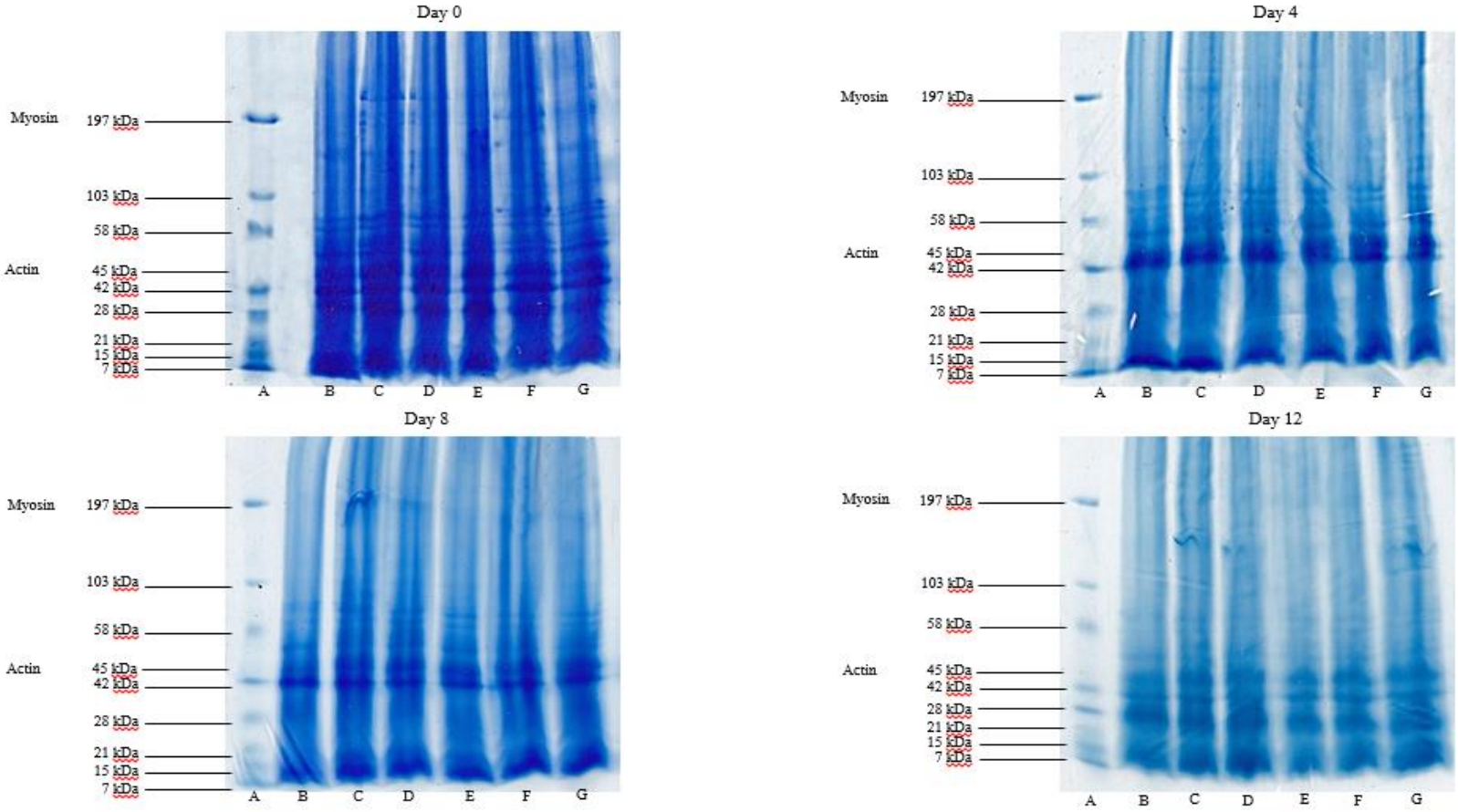
โครงสร้างของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดล้วนมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักเพื่อช่วยในการเคลื่อนไหว ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ รักษาสมดุลของน้ำและความเป็นกรดด่าง โดยโปรตีนของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างกันไป เช่น โปรตีนในสัตว์น้ำประกอบด้วยไมโอซิน (Myosin) และแอกติน (Actin) เป็นหลัก ซึ่งหากเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนใน 100 g ของส่วนที่สามารถบริโภคได้ในสัตว์น้ำแต่ละชนิดพบว่า ปลามีโปรตีนประมาณ 15 - 24 g, กุ้งมีโปรตีนประมาณ 12 - 20 g และหอยมีโปรตีนประมาณ 7 - 14 g (กองโภชนาการ, 2544; จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, 2558) หลังจากสัตว์น้ำตายโครงสร้างโปรตีนถูกย่อยสลายทันทีด้วยเอนไซม์ภายในตัวของสัตว์น้ำเอง (autolysis) ซึ่งการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของโปรตีนโดยวิธี SDS-PAGE นั้นสามารถบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโปรตีนในระดับโมเลกุลได้

โดยอาศัยตาข่ายจาก Acrylamide monomer ทำให้โมเลกุลโปรตีนที่อยู่ในสารละลาย Sodium dodecyl sulfate (SDS) จับตัวกันและมีประจุเป็นลบ เมื่อให้กระแสไฟฟ้าโมเลกุลที่มีประจุลบเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวกและการเคลื่อนที่ของโมเลกุลโปรตีนแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับมวลโมเลกุล โดยโปรตีนที่มีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่เคลื่อนที่ได้ช้ากว่าโปรตีนที่มีมวลโมเลกุลขนาดเล็ก (Enzmart Biotech, 2017) ในการศึกษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่แตกต่างกัน นาน 28 วัน โปรตีนที่วิเคราะห์ในการทดลองครั้งนี้เป็นโปรตีนรวม (crude protein) แถบโปรตีนที่ได้จากการทดลองจึงมีลักษณะหนาทึบและติดกันทำให้การปรากฏชนิดของโปรตีนแต่ละชนิดไม่ค่อยชัดเจน (ภาพที่ 4-4 และ 4-5) แต่หากเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลโปรตีนตามระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา เนื้อหอยแมลงภู่สุกทุกชุดการทดลองมีโปรตีน Myosin ที่ตำแหน่ง 197 kDa แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โปรตีน Myosin ของทุกชุดการทดลองหายไป ซึ่งโดยทั่วไปการตรวจวัดคุณภาพสัตว์น้ำด้วยวิธี SDS-PAGE นั้นวิเคราะห์โปรตีน Myosin และ Actin เป็นหลักเนื่องจาก Myosin และ Actin เป็นโปรตีนที่สำคัญของสัตว์น้ำ แต่ Standards ที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่สามารถใช้อ้างอิงโปรตีน Actin ได้ จึงอ้างอิงจากงานวิจัยของ Eymard, Baron, and Jacobsen (2009) ที่ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลโปรตีนในปลาทูแขก (*Trachurus trachurus*) และพบว่าโปรตีน Actin ในสัตว์น้ำพบที่ตำแหน่ง 45 kDa ซึ่งเมื่อสังเกตจากภาพที่ 4-4 และ 4-5 ตั้งแต่วันที่ 0 - 28 ของการเก็บรักษา พบว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกทุกชุดการทดลองมีโปรตีนที่ตำแหน่งประมาณ 45 kDa แสดงว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกทุกชุดการทดลองมีโปรตีน Actin เช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของโปรตีน Actin ตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันที่ 0 ของทุกชุดการทดลอง พบโปรตีน Actin มีลักษณะหนาและมีปริมาณมาก แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของโปรตีน Actin มีลักษณะบางลงและมีปริมาณน้อยลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของโปรตีนสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้สอดคล้องกับผลการตรวจวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณ TVB-N และ TMA-N ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อการย่อยสลายจากกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น อัตราการย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนเพิ่มสูงขึ้นจึงเป็นผลให้รูปแบบโปรตีนที่พบในเนื้อหอยแมลงภู่เกิดการเปลี่ยนแปลง (นิสากร ศรีธัญรัตน์ และศุภวรรณ ถาวรชินสมบัติ, 2554; สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, 2557) ส่วนโปรตีนแต่ละชนิดของเนื้อหอยแมลงภู่สุกในตำแหน่งช่วง 58 - 103 kDa ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไม่พบโปรตีนในช่วงดังกล่าวเลย แสดงว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกไม่มีโปรตีนเหล่านี้ แต่มีโปรตีนกลุ่มที่มีมวลโมเลกุลในตำแหน่งช่วง 7 - 42 kDa

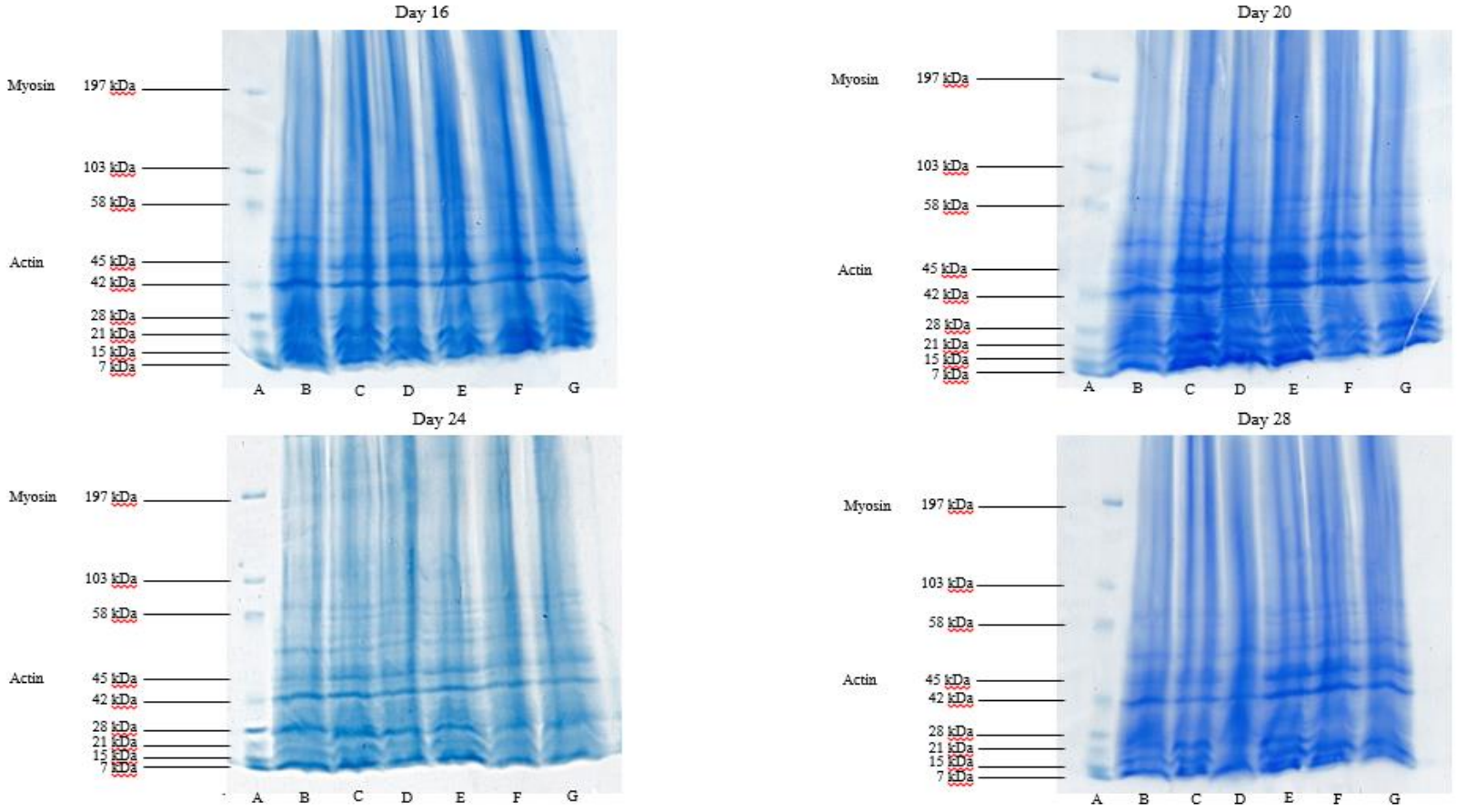
เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจากการวิเคราะห์โมเลกุลของโปรตีนกลุ่มนี้ พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นกระบวนการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลโปรตีนกลุ่มนี้น้อยกว่าโปรตีนกลุ่ม Myosin และ Actin ทำให้โปรตีนที่พบมีการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งหากเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของโปรตีนในแต่ละวันของทุกชุดการทดลอง A (Standards), B (หอยสดวันที่ 0), C (เนื้อหอยสุกไม่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก), D (C000; สภาพบรรยากาศปกติ), E (M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2), F (M550; 50%CO_2: 50%N_2) และ G (M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) จากวันที่ 0 - 28 ของการเก็บรักษา พบว่าในชุดการทดลองเนื้อหอยแมลงภู่สด (แถบ B) ไม่พบโปรตีน Myosin ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งแตกต่างกับแถบ C, D, E, F และ G ที่เป็นแถบโปรตีนของเนื้อหอยแมลงภู่สุกในวันที่ 0 - 12 ของการเก็บรักษาแถบ G พบโปรตีน Myosin เหมือนแถบ B, C และ D ที่ไม่ได้เก็บรักษาแบบปรับสภาพบรรยากาศ แสดงให้เห็นว่าแถบ G ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลโปรตีนตามธรรมชาติ ซึ่งแตกต่างกับแถบ E และ F ที่มีผลเร่งการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลโปรตีน Myosin ทำให้ไม่พบโปรตีน Myosin ตั้งแต่วันที่ 12 ของการเก็บรักษา ซึ่งแตกต่างกับแถบ B, C, D และ G ที่ไม่พบโปรตีนกลุ่ม Myosin ในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา ส่วนโปรตีน Actin เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองในแต่ละวัน พบว่าตั้งแต่วันที่ 0 - 24 ของการเก็บรักษาทุกชุดการทดลองการมีการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลโปรตีน Actin แตกต่างกันน้อยมาก แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้นพบว่า แถบ B, C และ D มีปริมาณโปรตีน Actin น้อยกว่าแถบ E, F และ G

ดังนั้นหากเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของโปรตีนในแต่ละวันของทุกชุดการทดลอง พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้นการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลโปรตีน Actin ของ C000 มีปริมาณโปรตีน Actin น้อยกว่าทุกชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP (M433, M550 และ M622) เช่นเดียวกับการศึกษาเนื้อปลานิล (*Tilapia* sp.) สดภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่เก็บรักษาในน้ำแข็งของ He et al. (2018) พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเนื้อปลานิลที่เก็บรักษาภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงโปรตีนช้ากว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ และ Qian et al. (2015) ศึกษาผลของการย่อยสลายกล้ามเนื้อกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) สดร่วมกับการเก็บรักษาแบบ MAP พบว่าชุดการที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโปรตีนรวดเร็วกว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP

อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบรูปแบบการเปลี่ยนแปลงโปรตีนระหว่างชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP พบว่าชุดการทดลองที่สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของโปรตีนได้ดีที่สุด คือ M622 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Qian, Xie, Yang, and Wu (2013) ศึกษาสัดส่วนก๊าซที่มีผลต่อการยืดอายุการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของโครงสร้างโปรตีนในกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) สด โดยสัดส่วนก๊าซที่ใช้ในการศึกษา คือ 40 - 80%CO_2, 5%O_2 และ 15 - 55%N_2 พบว่าการใช้สัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุด (80%) สามารถยืดอายุการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณ TVB-N ค่าความเป็นกรดด่าง และอัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ดีที่สุด อีกทั้งยังส่งผลดีต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสอีกด้วย ซึ่งต่อมาได้นำสัดส่วนก๊าซที่ดีที่สุด (80%CO_2: 15%N_2: 5%O_2) มาศึกษาร่วมกับสาร Quercetin-based ที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (Qian et al., 2015) พบว่ารูปแบบโปรตีนของเนื้อกุ้งขาวสดที่จุ่ม Quercetin-based และเก็บรักษาแบบ MAP มีการเปลี่ยนแปลงช้าที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น



ภาพที่ 4-4 รูปแบบโปรตีนของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (วันที่ 0, 4, 8 และ 12 ของการเก็บรักษา A; Standards B; raw (วันที่ 0) C; cook (ไม่เคลือบ+บรรยากาศปกติ) D; C000 (บรรยากาศปกติ) E; M433 (40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2) F; M550 (50%CO_2: 50%N_2) G; M622 (60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2))



ภาพที่ 4-5 รูปแบบโปรตีนของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (วันที่ 16, 20, 24 และ 28 ของการเก็บรักษา A; Standards B; raw (วันที่ 0) C; cook (ไม่เคลือบ+บรรยากาศปกติ) D; C000 (บรรยากาศปกติ) E; M433 (40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2) F; M550 (50%CO_2: 50%N_2) G; M622 (60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2))

3. ผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพทางกายภาพของเนื้อหอยแมลงภู่สุกพร้อมบริโภคที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

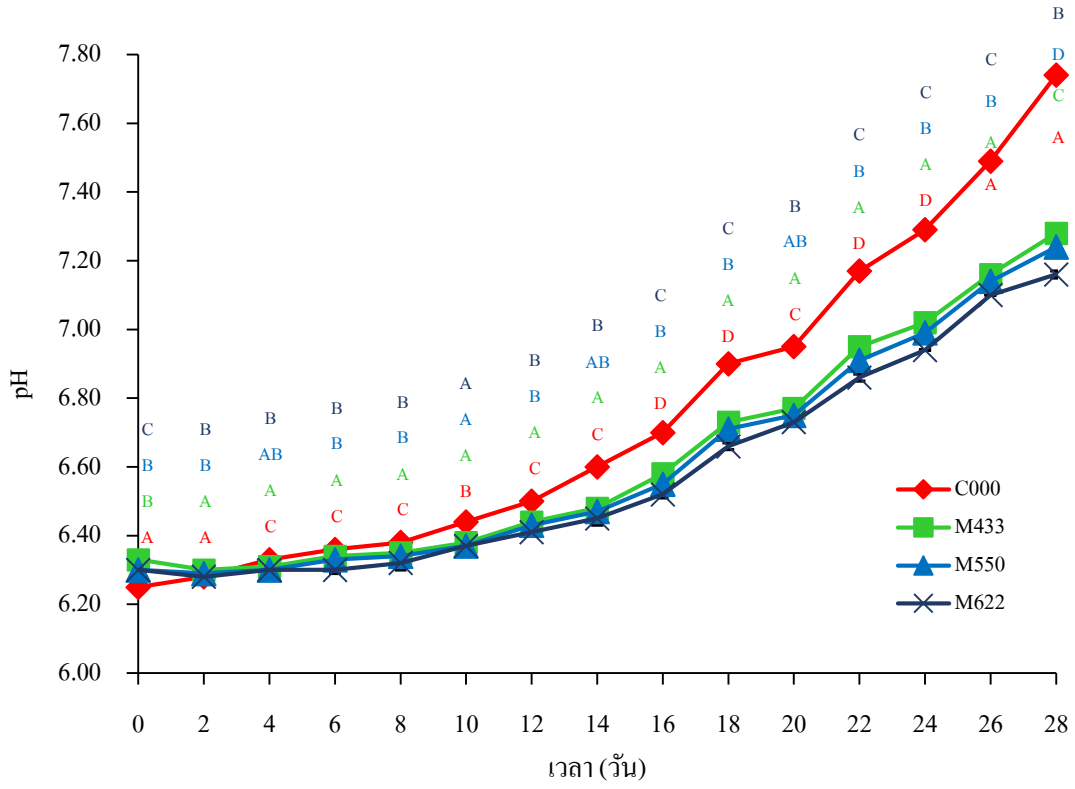
3.1 ค่าความเป็นกรดด่าง

เมื่อสัตว์น้ำตายปฏิกิริยาการย่อยสลายตัวเองด้วยเอนไซม์เกิดขึ้นทันทีทำให้คุณภาพของสัตว์น้ำเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะหอยที่มีแหล่งเอนไซม์ขนาดใหญ่และมีน้ำเป็นองค์ประกอบสูงจึงมีอัตราการเน่าเสียเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่น ซึ่งการวัดค่าความเป็นกรดด่างสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกการเน่าเสียของสัตว์น้ำได้ เพราะเมื่อสัตว์น้ำเริ่มเกิดการเน่าเสียโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแต่มักพบมากในสัตว์น้ำและมีคุณสมบัติเป็นด่าง เช่น แอมโมเนีย เอมีน ไตรเมทิลเอมีน ไดเมทิลเอมีน กรดอะมิโนอิสระ และอื่น ๆ เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงและสลายตัวทำให้ค่าความเป็นด่างในสัตว์น้ำเพิ่มสูงขึ้น (สวามินี ธีระวุฒิ และคณะ, 2559) โดยเนื้อหอยแมลงภู่สุกที่ไม่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกมีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 6.52 $\pm$ 0.01 จากการศึกษาค่าความเป็นกรดด่างของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกันนาน 28 วัน จากภาพที่ 4-6 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่างสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 (วันที่ 0 - 14) ค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 6.25 - 6.60 ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยและกรดแอสคอร์บิกไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรดด่างของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อหอยแมลงภู่สุกที่ไม่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ส่วนช่วงที่ 2 (วันที่ 16 - 28) สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่าความเป็นกรดด่างของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งมีผลจากความเป็นกรดของกรดแอสคอร์บิกและประสิทธิภาพของสารประกอบโพลีฟีนอลที่เป็นองค์ประกอบหลักในสารสกัดจากชาเขียวเริ่มหมดไป จุลินทรีย์เริ่มเข้าสู่ช่วง log phase และย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนเพื่อนำมาใช้เป็นสารอาหารในการเจริญได้ สารประกอบไนโตรเจนต่าง ๆ จึงเริ่มเกิดการสลายตัวส่งผลให้ค่าความเป็นกรดด่างเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะหอยแมลงภู่สุกในชุดการทดลอง C000 ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ โดยมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 6.70 - 7.74 ซึ่งแตกต่างกับชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP อย่างชัดเจน ($p \leq 0.05$) โดย M433 (40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2), M550 (50%CO_2: 50%N_2) และ M622 (60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) อยู่ในช่วง 6.52 - 7.16, 6.55 - 7.24 และ 6.58 - 7.28 ตามลำดับ เนื่องจากกระบวน autolysis และกระบวนการย่อยสลายจากจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมภายในบรรจุภัณฑ์ได้นำสารอาหารที่ได้จากกระบวน autolysis มาใช้ในเจริญเพิ่มจำนวน ส่งผลให้โครงสร้างโปรตีนเสื่อมคุณภาพและเกิดการสลายตัวของสารประกอบที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง เช่น เอมีน TMAO และแอมโมเนีย เป็นต้น

(สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, 2557) ค่าความเป็นกรดด่างเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง C000 กับชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP (M433, M550 และ M622) พบว่าชุดการทดลอง C000 มีค่าความเป็นกรดด่างสูงกว่าชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP เช่นเดียวกับงานวิจัยของ สวามินี ธีระวุฒิ, ปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, อรัชพร บุญสัน และพรพิพัฒน์ เล็กสิงโต (2560) ศึกษากุ้งขาวสุกเคลือบสารละลายสารสกัดจากชาเขียวและโซเดียมแอสคอร์เบต พบว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างได้ดีกว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ อย่างไรก็ตามแม้ว่าภายในบรรจุภัณฑ์ที่มีปริมาณ CO_2 สูง สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางกลุ่มที่เจริญได้ดีในสภาวะที่มี O_2 ได้ แต่ถ้าภายในบรรจุภัณฑ์มีปริมาณ CO_2 สูง ส่งผลให้เกิดอัตราการแตกตัวของก๊าซและเกิดเป็นกรดคาร์บอนิกขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ เนื่องจาก CO_2 ที่มีคุณสมบัติสามารถละลายได้ในน้ำและไขมัน (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550)

อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบปริมาณ CO_2 พบว่าทุกชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP (M433, M550 และ M622) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าความเป็นกรดด่างเพิ่มขึ้น โดยชุดการทดลอง M622 ที่มีปริมาณ CO_2 สูงที่สุดสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่างได้ดีที่สุด เช่นเดียวกับการศึกษาเนื้อปลากะพง (*Dicentrarchus labrax*) สดภายใต้การบรรจุแบบ MAP ของ Kostaki et al. (2009) โดยสัดส่วนก๊าซที่ใช้ ได้แก่ 40%CO_2: 50%N_2: 10%O_2 และ 60%CO_2: 30%N_2: 10%O_2 พบว่าชุดการทดลองที่มีปริมาณ CO_2 มากกว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่างน้อยกว่า ซึ่งจากการทดลองนี้ปริมาณ CO_2 ที่ใช้อยู่ในช่วง 40 - 60% และตามคุณสมบัติของ CO_2 หากในบรรจุภัณฑ์มีปริมาณสูงสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียได้ดี แต่การใช้ CO_2 มีข้อจำกัด เนื่องจาก CO_2 สามารถละลายน้ำและไขมันได้ดีเมื่ออยู่ในอุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ภายในบรรจุภัณฑ์เกิดกรดคาร์บอนิกขึ้น (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550) เมื่อมีกรดคาร์บอนิกเกิดขึ้นมากเนื้อหอยแมลงภู่สุกมีกลิ่นและรสชาติของกรดคาร์บอนิกส่งผลให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ซึ่งหากเปรียบเทียบในแง่ของค่าความเป็นกรดด่างเนื้อหอยแมลงภู่สุกในชุดการทดลอง M550 ที่มีปริมาณ CO_2 50% เป็นชุดการทดลองที่ดีที่สุด เนื่องจากผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่าในชุดการทดลอง M550 และ M622 ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีเช่นเดียวกัน แต่อัตราการแตกตัวของ CO_2 ใน M550 มีน้อยกว่า เช่นเดียวกับการศึกษาคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของหอยนางรม (*Saccostrea cucullata*) รมควันที่เก็บรักษาภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ (Teerawut, Sangsriraung, & Kwan-on, 2016) โดยสภาวะที่ใช้ได้แก่ 35%CO_2: 60%N_2: 5%O_2 (T35), 50%CO_2: 50%N_2 (T50), 80%CO_2: 20%N_2 (T80) พบว่า T80 เป็นสภาวะที่มีคุณภาพทางกายภาพดีที่สุด และมีอายุการเก็บรักษานานที่สุด ในขณะที่ T50 เป็น

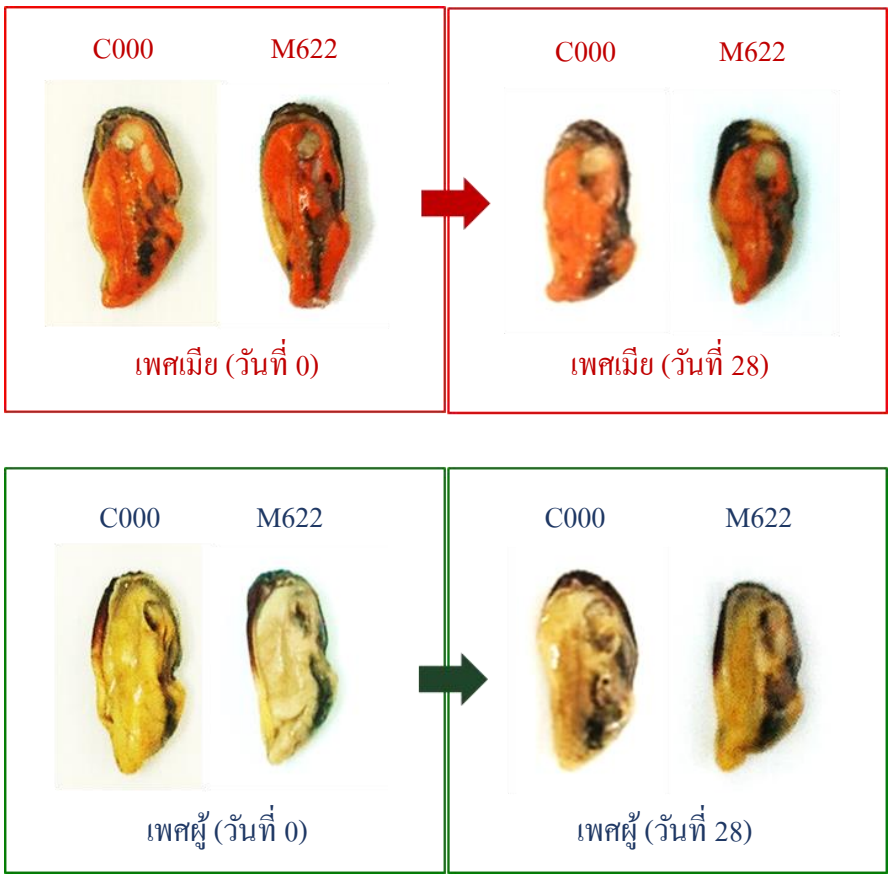
ชุดการทดลองที่มีคุณภาพทางกายภาพรองลง แต่เป็นชุดการทดลองที่มีผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด แต่จากการทดลองนี้ พบว่าคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของ M622 ยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุดจึงสามารถสรุปได้ว่า M622 เป็นชุดการทดลองที่ดีที่สุดสำหรับการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ถึงแม้ M622 มีอัตราการเกิดกรดคาร์บอนิกภายในบรรจุภัณฑ์สูงกว่า M550 ก็ตาม เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Caglak et al. (2008) พบว่าหอยกะพงเมดิเตอร์เรเนียน (*Mytilus galloprovincialis*) สดที่เก็บรักษาภายใต้การบรรจุแบบ MAP ที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง M1 (50%CO_2: 50%N_2), M2 (80%CO_2: 20%N_2), M3 (65%CO_2: 35%N_2) และ VP (การเก็บแบบสุญญากาศ) พบว่า M2 และ M3 มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยาและเคมีน้อยกว่า M1 และ VP อีกทั้ง M2 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 มากกว่า M3 ยังมีการยอมรับของผู้บริโภคมากกว่าอีกด้วย



ภาพที่ 4-6 ค่าความเป็นกรดด่างของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.02)

3.2 ค่าสี (L*, a*, b*)

ค่าสีเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยการเปลี่ยนแปลงสีผิวและเนื้อสัตว์น้ำมีผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบที่เกิดขึ้นโดยเอนไซม์ (Enzymatic oxidation) และแบบที่เกิดขึ้นโดยไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้อง (Non-enzymatic oxidation) (เปรมศิริ โรจน์สัจจะกุล, 2560) จากภาพที่ 4-7 แสดงให้เห็นว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีสีขาวครีม และเพศเมียมีสีส้ม แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจุลินทรีย์บางชนิดสามารถเจริญและปล่อยเอนไซม์มาย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนได้ทำให้สารประกอบแคโรทีนอยด์ที่จับตัวอยู่กับโครงสร้างโปรตีนถูกปลดปล่อย ส่งผลให้เนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งเพศผู้และเพศเมียมีสีคล้ำขึ้น ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้ระบบมาตรฐาน Commission International de l'Eclairage (CIE) ในการตรวจวัดค่าสีของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกันนาน 28 วัน โดยค่าที่วัดได้จากระบบ CIE ได้แก่ ค่า L*, b* และ a* จากภาพที่ 4-7 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของเนื้อหอยแมลงสุกทั้งเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกระหว่างชุดการทดลอง C000 และ M622 พบว่าในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา หากสังเกตด้วยตาเปล่าทั้ง 2 ชุดการทดลอง เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีสีขาวครีม ส่วนเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียมีสีส้ม แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นวันที่ 28 ของการเก็บรักษา เนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งเพศผู้และเพศเมียในชุดการทดลอง C000 มีสีน้ำตาลคล้ำขึ้นและเกิดเมือกที่บริเวณผิว ซึ่งแตกต่างกับชุดการทดลอง M622 ที่ไม่เกิดเมือกและมีสีน้ำตาลปนเล็กน้อยบริเวณผิวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศ



ภาพที่ 4-7 การเปลี่ยนแปลงสีผิวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก วันที่ 0 และ 28 ของการเก็บรักษา

ค่า L* สามารถอธิบายได้ถึงความสว่าง โดย L* สามารถแสดงออกมาได้ทั้งเชิงบวกและเชิงลบ ซึ่งถ้า L* มีค่าเป็นบวกแสดงว่ามีความสว่าง แต่ถ้า L* มีค่าเป็นลบแสดงว่ามีความเข้ม (Konica Minolta Sensing Americas, 2016) ผลการศึกษาค่า L* ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกันนาน 28 วัน (ภาพที่ 4-8) พบว่าค่า L* ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียสามารถแบ่งออกได้ 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 (วันที่ 0 - 2) ค่า L* ในทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) เพศผู้อยู่ในช่วง 31.25 - 36.74 และเพศเมียอยู่ในช่วง 31.92 - 32.84 เป็นช่วงที่เนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีค่า L* ต่ำ หากเปรียบกับเนื้อหอยแมลงภู่สุกปกติที่ไม่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีค่า L* เท่ากับ 39.04 $\pm$ 1.08 และเพศเมียมีค่าเท่ากับ

33.83 ± 1.43 เนื่องจากสีของชาเขียวมีผลต่อลักษณะปรากฏในช่วงแรก เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้นและสารละลายที่ใช้เคลือบเริ่มจางลงค่า L* ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ช่วงที่ 2 ค่า L* ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (วันที่ 4 - 10) มีค่า L* อยู่ในช่วง 35.25 - 37.34 และเพศเมีย (วันที่ 4-8) มีค่า L* อยู่ในช่วง 33.00 - 33.33 แต่เมื่อเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ 3 เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (วันที่ 12 - 28) และเพศเมีย (วันที่ 10 - 28) เห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่า L* มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยชุดการทดลอง C000 ที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติค่า L* มีแนวโน้มลดลงรวดเร็วกว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกในชุดการทดลองที่เก็บรักษาภายใต้การปรับสภาพบรรยากาศ (M433, M550 และ M622) โดยเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ในชุดการทดลอง C000 ค่า L* อยู่ในช่วง 33.04 - 28.14 และเพศเมียอยู่ในช่วง 31.23 - 26.76 ในชุดการทดลอง M433 เพศผู้อยู่ในช่วง 34.19 - 28.35 และเพศเมียอยู่ในช่วง 32.28 - 28.11 ในชุดการทดลอง M550 เพศผู้อยู่ในช่วง 35.57 - 30.02 และเพศเมียอยู่ในช่วง 32.93 - 28.37 และในชุดการทดลอง M622 เพศผู้อยู่ในช่วง 35.80 - 30.05 และเพศเมียอยู่ในช่วง 33.13 - 28.65 หากเปรียบเทียบระหว่าง C000 กับชุดการทดลองอื่นที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP ค่า L* ของ C000 มีแนวโน้มลดลงรวดเร็วกว่าชุดการทดลองอื่น เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียภายในผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มที่ใช้ O_2 ในการเจริญ ชุดการทดลอง C000 จึงมีอัตราการเจริญของจุลินทรีย์มากกว่าชุดการทดลองอื่นที่มีการ MAP เมื่อเกิดการเน่าเสียจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์โครงสร้างโปรตีนที่จับตัวกับสารประกอบแคโรทีนอยด์ในผิวและกล้ามเนื้อของหอยแมลงภู่เกิดการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้สีผิวของเนื้อหอยแมลงภู่คล้ำขึ้น (สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, 2557) เช่นเดียวกับการศึกษาค่า L* ในเนื้อกุ้ง (*Litopenaeus vannamei*) สดเคลือบกรดอ่อนแช่แข็งที่เก็บรักษาแบบ MAP พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื้อกุ้งสดที่เก็บรักษาแบบ MAP มีค่า L* ลดลงช้ากว่าเนื้อกุ้งสดที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ (Zhang, Ma, Deng, Xie, & Qiu, 2015)

อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบค่า L* ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศในชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP (M433, M550 และ M622) ชุดการทดลอง M622 มีค่า L* สูงที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาและมีการเปลี่ยนแปลงของค่า L* ช้ากว่า M433 และ M550 เนื่องจาก CO_2 ภายในบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ O_2 การย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนจึงถูกยับยั้งตามไปด้วย และ M622 เป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณ CO_2 สูงที่สุด จึงสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ O_2 ได้ดีที่สุด เมื่อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกยับยั้งกระบวนการเกิดการเน่าเสียถูกยับยั้ง การเปลี่ยนแปลงค่า L* จึงเกิดขึ้นช้าลง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Teerawut, Sangsriraung, et al. (2016) พบว่าปริมาณสัดส่วนก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์มีผลต่อ

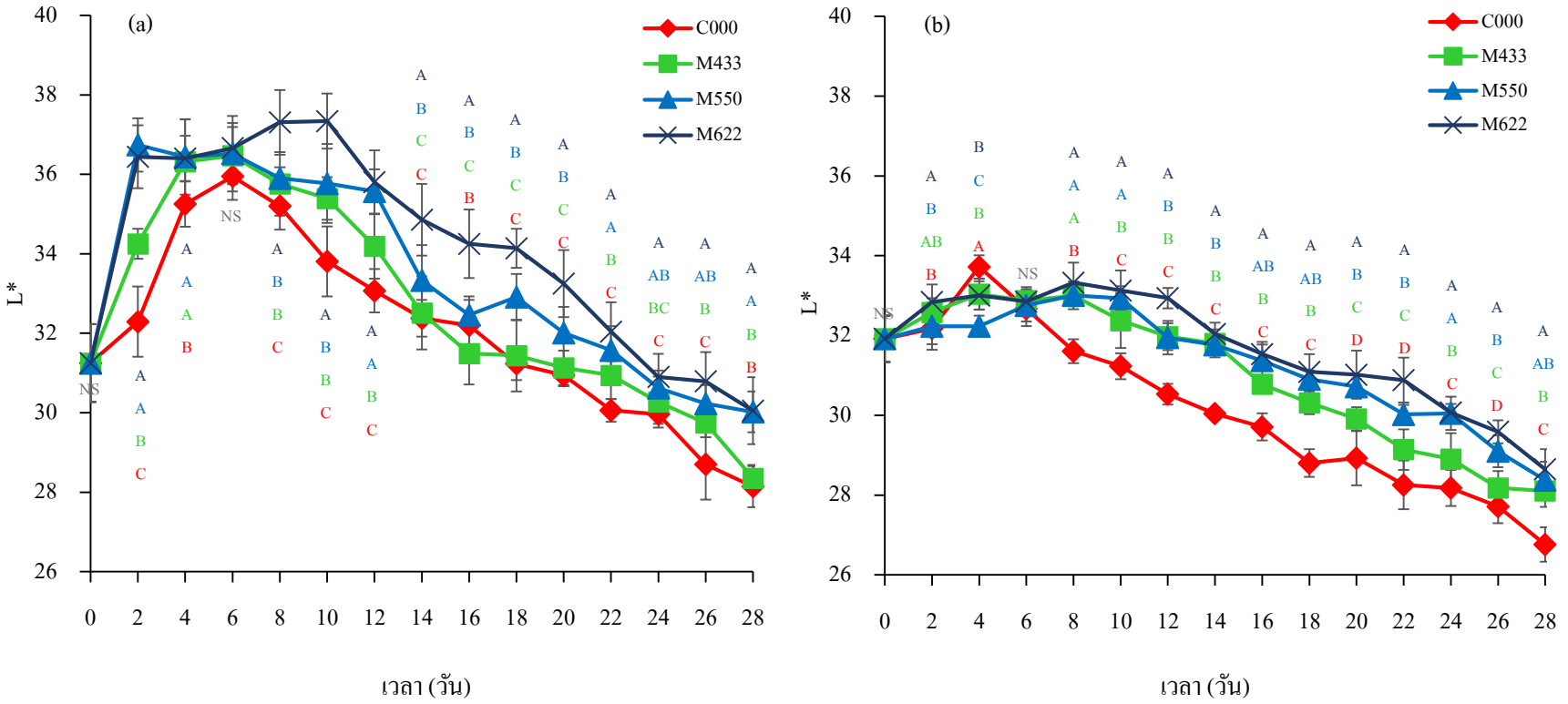
การเปลี่ยนแปลงของค่า L* ในเนื้อหอยนางรม (*Saccostrea cucullata*) รมควัน โดยชุดการทดลองที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุด (60%CO_2: 20%O_2: 20%N_2) มีการเปลี่ยนแปลงของค่า L* ช้าที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น

ค่า a* เป็นค่าที่แสดงออกถึงสีแดงและสีเขียว ถ้า a* มีค่าเป็นบวกแสดงว่ามีสีแดง แต่ถ้า a* มีค่าเป็นลบแสดงว่ามีสีเขียว (Konica Minolta Sensing Americas, 2016) ซึ่งจากการศึกษาค่า a* ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกันนาน 28 วัน (ภาพที่ 4-9) พบว่าค่า a* ในเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งเพศผู้และเพศเมียแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 (วันที่ 0 - 8) ค่า a* ในทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) เพศผู้อยู่ในช่วง 3.83 - 5.97 และเพศเมียอยู่ในช่วง 18.07 - 19.18 เป็นช่วงที่เนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีค่า a* ต่ำ หากเปรียบกับเนื้อหอยแมลงภู่สุกปกติที่ไม่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีค่า a* เท่ากับ 8.00 ± 1.06 และเพศเมียมีค่าเท่ากับ 16.70 ± 0.87 แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงที่ 2 ประสิทธิภาพและสีของสารละลายเริ่มจางลงค่า a* ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (วันที่ 8 - 16) โดยเพศผู้มีค่า a* อยู่ในช่วง 4.65 - 8.11 และเพศเมียมีค่า a* อยู่ในช่วง 14.99 - 19.65 ตามลำดับ แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงที่ 3 (16 - 28) ค่า a* ที่ตรวจวัดได้เริ่มมีแนวโน้มลดลงโดยเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ในชุดการทดลอง C000 ค่า a* อยู่ในช่วง 3.84 - 1.54 และเพศเมียอยู่ในช่วง 14.84 - 10.79 ในชุดการทดลอง M433 เพศผู้อยู่ในช่วง 7.00 - 2.41 และเพศเมียอยู่ในช่วง 18.23 - 14.20 ในชุดการทดลอง M550 เพศผู้อยู่ในช่วง 7.05 - 2.40 และเพศเมียอยู่ในช่วง 18.50 - 14.39 และในชุดการทดลอง M622 เพศผู้อยู่ในช่วง 7.21 - 2.86 และเพศเมียอยู่ในช่วง 18.69 - 16.00 (ภาพที่ 4-9) เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำให้โครงสร้างโปรตีนเสื่อมคุณภาพ สารประกอบแคโรทีนอยด์ที่มีในผิวและกล้ามเนื้อของหอยแมลงภู่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่าง C000 กับชุดการทดลองอื่น (M433, M550 และ M622) พบว่าค่า a* ของ C000 เกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าชุดการทดลองอื่น เช่นเดียวกับการศึกษาค่า a* ของหอยกะพงเมดิเตอร์เรเนียน (*Mytilus galloprovincialis*) สดที่เก็บรักษาภายใต้การบรรจุแบบ MAP พบว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP มีการเปลี่ยนแปลงของค่า a* ช้ากว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ (Caglak et al., 2008) อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบระหว่างที่เก็บรักษาแบบ MAP ในชุดการทดลอง M622 ที่มีปริมาณ CO_2 สูงกว่าชุดการทดลองอื่น มีค่า a* สูงกว่าชุดการทดลองอื่นเช่นกันเนื่องจาก CO_2 มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ O_2 ได้ดี และเมื่อการเจริญของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ก่อให้เกิดเน่าเสียถูกยับยั้ง การเปลี่ยนแปลงค่า a* จึงเกิดขึ้นช้าลงตามไปด้วยเช่นเดียวกับค่า a* ของเนื้อกุ้ง (*Litopenaeus vannamei*) สดเคลือบกรดอ่อนแช่แข็งที่เก็บรักษาแบบ MAP ใน

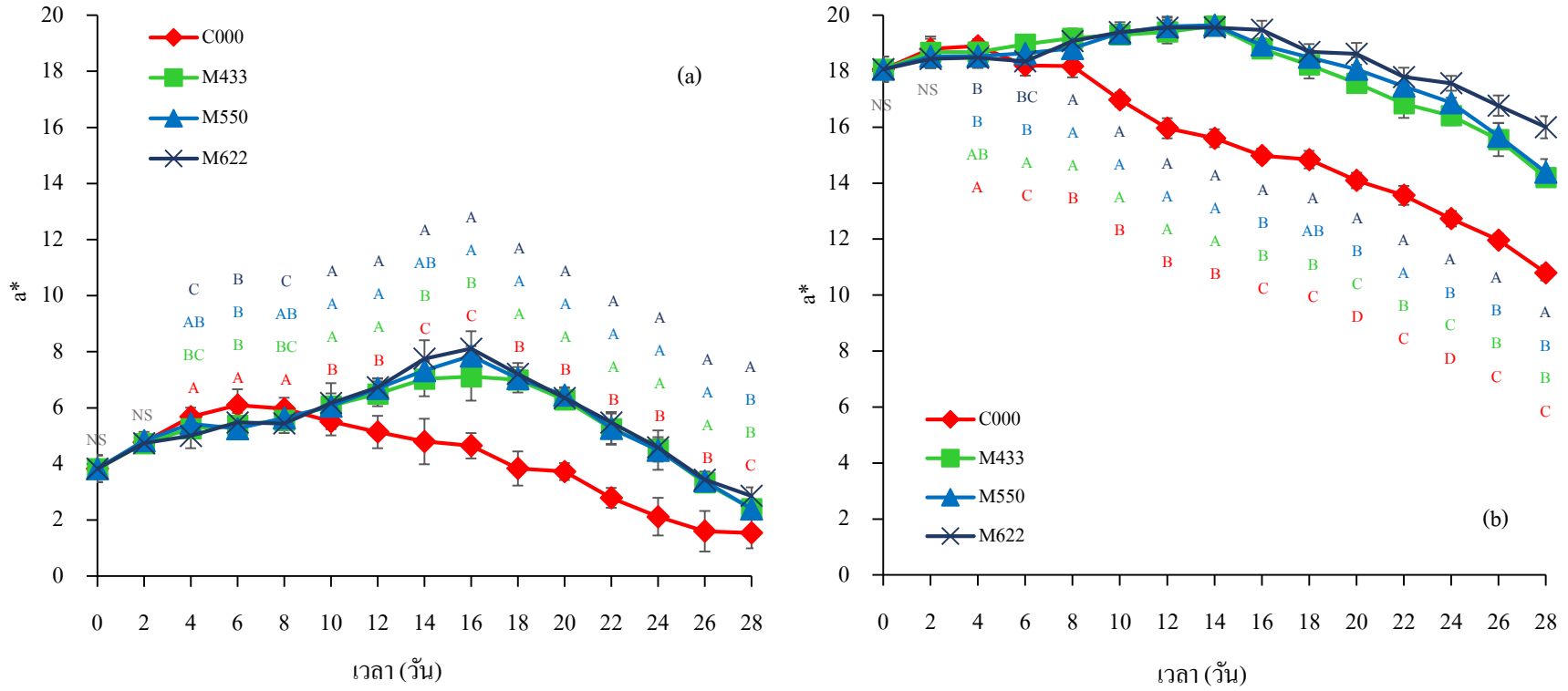
สภาวะแตกต่างกัน ได้แก่ 40%CO_2: 10%N_2: 50%O_2 และ 30%CO_2: 50%N_2: 20%O_2 พบว่าชุดการทดลองที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 มากกว่ามีผลทำให้ค่า a* มีการเปลี่ยนแปลงลดลงช้ากว่า (Zhang, Ma, Deng, Xie, & Qiu, 2015) เหมือนกับงานวิจัยของสวามินี ธีระวุฒิ และคณะ (2557) พบว่าเนื้อหอยนางรม (*Saccostrea cucullata*) สดแช่สารละลายผสมโพแทสเซียมซอร์เบตและโซเดียมแล็กเตตที่เก็บรักษาในสภาวะ MAP แตกต่างกันมีค่า a* ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยชุดการทดลองที่มี CO_2 สูงที่สุดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a* น้อยที่สุด อีกทั้งชุดการทดลองที่มีสัดส่วนก๊าซ 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2 ยังสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า a* ได้ดีที่สุดอีกด้วย

ค่า b* เป็นค่าที่สามารถอธิบายได้ถึงค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดย b* สามารถแสดงออกมาได้ทั้งเชิงบวกและเชิงลบ ซึ่งถ้า b* มีค่าเป็นบวกแสดงว่ามีสีเหลือง และถ้า b* มีค่าเป็นลบแสดงว่ามีสีน้ำเงิน (Konica Minolta Sensing Americas, 2016) ซึ่งจากการศึกษาค่า b* ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกันนาน 28 วัน พบว่า ค่า b* ในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียสามารถแบ่งออกได้ 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 (วันที่ 0 - 6) ค่า b* ในทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) เพศผู้อยู่ในช่วง 21.49 - 22.11 และเพศเมียอยู่ในช่วง 25.21 - 26.04 โดยสีของสารสกัดจากชาเขียวอาจมีผลต่อค่า b* เพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อหอยแมลงภู่ที่ไม่เคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก พบว่าในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีค่า b* เท่ากับ 19.25 $\pm$ 1.12 และเพศเมียมีค่าเท่ากับ 23.91 $\pm$ 1.37 ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่า b* ในเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศในช่วงที่ 1 มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของสารสกัดจากชาเขียวและความเป็นกรดของกรดแอสคอร์บิกถูกใช้หมดไป จุลินทรีย์ที่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมและสัดส่วนก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ได้จึงเริ่มเจริญเพิ่มจำนวนและย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนส่งผลให้ค่า b* ในช่วงที่ 2 (วันที่ 6 - 28) ค่า b* ที่ตรวจวัดได้มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ในชุดการทดลอง C000 ค่า b* อยู่ในช่วง 20.27 - 16.43 และเพศเมียอยู่ในช่วง 24.40 - 14.03 ในชุดการทดลอง M433 เพศผู้อยู่ในช่วง 21.94 - 18.74 และเพศเมียอยู่ในช่วง 24.51 - 19.00 ในชุดการทดลอง M550 เพศผู้อยู่ในช่วง 22.03 - 19.25 และเพศเมียอยู่ในช่วง 24.51 - 19.02 และในชุดการทดลอง M622 เพศผู้อยู่ในช่วง 22.14 - 19.23 และเพศเมียอยู่ในช่วง 24.85 - 19.12 (ภาพที่ 4-10) ซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง C000 กับชุดการทดลองอื่น (M433, M550 และ M622) ค่า b* ของ C000 มีแนวโน้มลดลงเร็วกว่าชุดการทดลองอื่น เช่นเดียวกับการศึกษาเนื้อกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) สุกเคลือบสารละลายชาเขียวและโซเดียมแอสคอร์เบต พบว่าการเก็บรักษาเนื้อกุ้งขาวสุกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ ค่า b* ของเนื้อกุ้งขาวเกิด

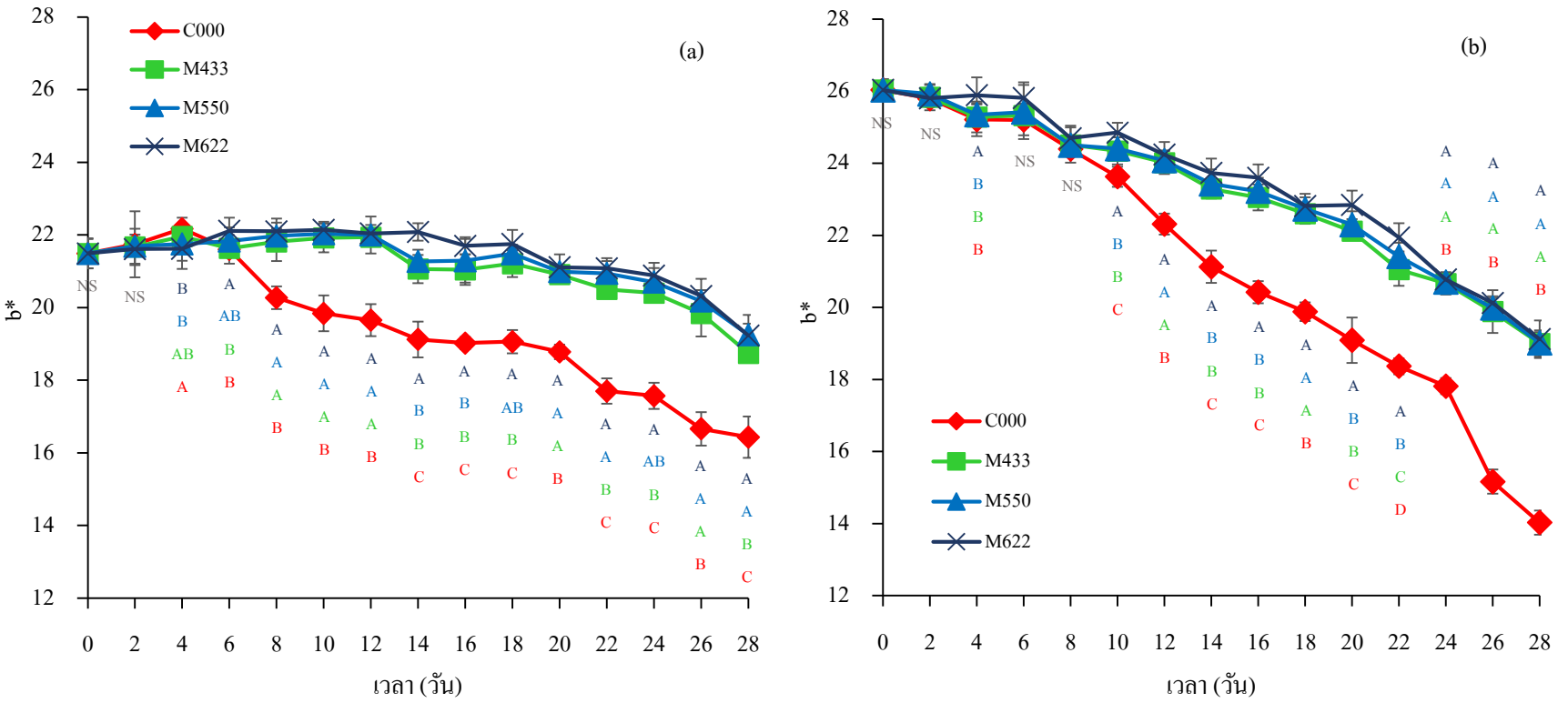
การเปลี่ยนช้าลงแตกต่างกับชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ (สวามินี ธีระวุฒิ และคณะ, 2560) อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบค่า b* ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกในชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP ทั้งสองเพศ พบว่า M622 มีค่า b* สูงที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาที่พบว่าสัดส่วน CO_2 ปริมาณ 50 - 60% สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ O_2 ได้ดี และ M662 ที่มีปริมาณ CO_2 สูงที่สุดมีการเจริญของจุลินทรีย์ต่ำที่สุด การเสื่อมคุณภาพของโครงสร้างโปรตีนด้วยกระบวนการย่อยสลายจากกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์จึงส่งผลให้ค่า b* ที่ตรวจวัดได้จากสารประกอบแคโรทีนอยด์ที่จับตัวกับโครงสร้างโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงช้าที่สุดตามไปด้วย เช่นเดียวกับการศึกษาเนื้อกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) สุกเคลือบสารละลายชาเขียวและโซเดียมแอสคอร์เบตที่เก็บรักษาแบบ MAP ของสวามินี ธีระวุฒิ และคณะ (2560) พบว่าหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มี CO_2 ปริมาณ 50% และ 80% ชุดการทดลองที่มี CO_2 ปริมาณ 50% สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า b* ของเนื้อกุ้งขาวสุกได้ดีกว่า เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Caglak et al. (2008) ศึกษาเนื้อหอยกะพงเมดิเตอร์เรเนียน (*Mytilus galloprovincialis*) สดภายใต้การบรรจุแบบ MAP ที่ CO_2 ปริมาณ 50%, 65%, 80% และ 100% พบว่าชุดการทดลองที่มี CO_2 ปริมาณ 65% สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่า b* ได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น



ภาพที่ 4-8 ค่า L* (ความสว่าง) ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.24 - 1.06; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.14 - 0.69)



ภาพที่ 4-9 ค่า a* (สีแดง - เขียว) ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.15 - 0.82; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.08 - 0.59)



ภาพที่ 4-10 ค่า b* (สีเหลือง - น้ำเงิน) ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.17 - 0.91; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.16 - 0.75)

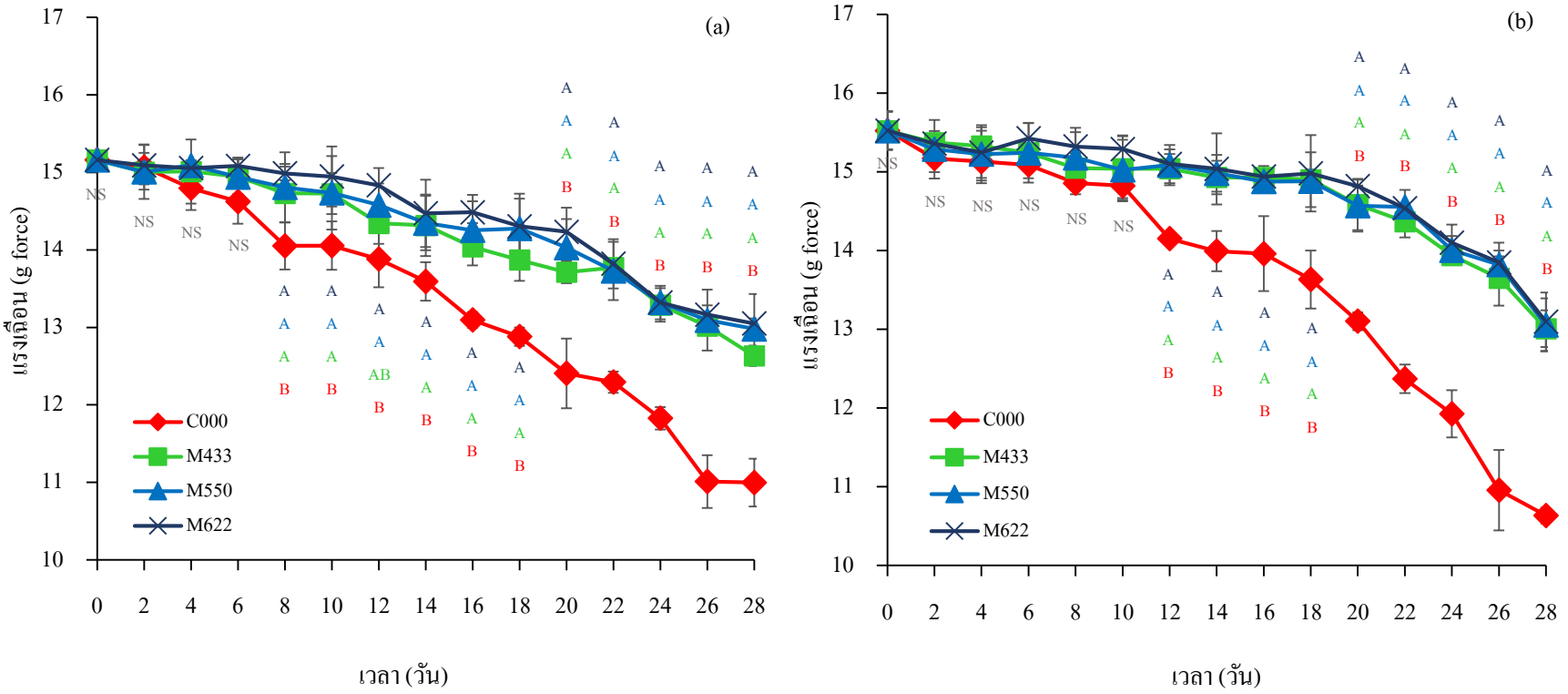
3.3 ค่าแรงเฉือน

ค่าแรงเฉือนเป็นค่าที่สามารถบ่งบอกความสดของสัตว์น้ำได้จากลักษณะเนื้อสัมผัส เนื่องจากสัตว์น้ำสดมีโครงสร้างต่าง ๆ ของกล้ามเนื้อที่แข็งแรง เมื่อทำการตรวจวัดค่าแรงเฉือนจึงมีค่ามาก แต่ถ้าสัตว์น้ำเริ่มเกิดการเน่าเสีย โครงสร้างต่าง ๆ ภายในตัวสัตว์น้ำถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ในตัวสัตว์น้ำและจุลินทรีย์ทำให้มีค่าแรงเฉือนน้อย (สุมาลี เหลืองสกุล, 2541) ซึ่งจากการศึกษาค่าแรงเฉือนของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกันนาน 28 วัน (ภาพที่ 4-11) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงเฉือนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 (วันที่ 0 - 20) ทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) ค่าแรงเฉือนของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้อยู่ในช่วง 15.16 - 12.41 g force และเพศเมียอยู่ในช่วง 15.52 - 13.10 g force มีการเปลี่ยนแปลงน้อย แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นในช่วงที่ 2 (วันที่ 20 - 28) หากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่เก็บในสภาพบรรยากาศปกติ (C000) กับชุดการทดลองแบบ MAP (M433, M550 และ M622) ค่าแรงเฉือนของ C000 มีแนวโน้มลดลงแตกต่างกับชุดการทดลองแบบ MAP ($p \leq 0.05$) โดยเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีค่าแรงเฉือนอยู่ในช่วง 12.29 - 11.00 g force และเพศเมียอยู่ในช่วง 12.37 - 10.63 g force ส่วน M433 (40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2) มีค่าแรงเฉือนเพศผู้อยู่ในช่วง 13.71 - 12.63 g force และเพศเมียอยู่ในช่วง 14.37 - 13.01 g force ส่วน M550 (50%CO_2: 50%N_2) เพศผู้อยู่ในช่วง 13.73 - 12.98 g force และเพศเมียอยู่ในช่วง 14.55 - 13.06 g force และ M622 (60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) เพศผู้อยู่ในช่วง 13.82 - 13.05 g force และเพศเมียอยู่ในช่วง 14.54 - 13.10 g force เนื่องจากจุลินทรีย์บางกลุ่มเริ่มเข้าสู่ช่วง log phase จึงปล่อยเอนไซม์มาย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนและนำไปใช้เป็นสารอาหารในการเจริญ (สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, 2557) ค่าแรงเฉือนของทุกชุดการทดลองจึงมีแนวโน้มลดลงไปในทิศทางเดียวกัน

อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง C000 กับชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP พบว่าค่าแรงเฉือนของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศในชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP มีค่าแรงเฉือนสูงกว่าชุดการทดลอง C000 เพราะ CO_2 ภายในบรรจุภัณฑ์สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ O_2 ในเจริญได้ดี เมื่อจุลินทรีย์กลุ่มที่เป็นสาเหตุหลักในการเน่าเสียถูกยับยั้ง โครงสร้างต่าง ๆ ภายในตัวของสัตว์น้ำจึงถูกชะลอ เนื้อสัมผัสของเนื้อหอยแมลงภู่สุกจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงช้าลง ค่าแรงเฉือนที่ตรวจวัดได้เกิดการเปลี่ยนแปลงช้าลงตามไปด้วย เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Teerawut, Kwanon, Boonma, and Pasripat (2016) ศึกษาเนื้อกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) สุกเคลือบน้ำมันหอมระเหยออริกาโนและเก็บรักษาแบบ MAP พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาทุกชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP

มีค่าแรงเฉือนมากกว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ และงานวิจัยของ Fagan et al. (2004) ศึกษาเนื้อปลาดิบวงศ์ปลาเห็ดโคน ปลาทูน่าและปลาแซลมอนแช่แข็งร่วมกับการเก็บรักษาแบบ MAP พบว่าเนื้อปลาดิบทั้งสามชนิดที่เก็บรักษาแบบ MAP มีค่าแรงเฉือนสูงกว่าในชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่เก็บรักษาภายใต้การปรับสภาพบรรยากาศพบว่า M622 มีค่าแรงเฉือนสูงที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา รองลงมา คือ M550 และ M433 ตามลำดับ เนื่องจาก M622 มีปริมาณ CO_2 สูงกว่าชุดการทดลองอื่น M622 จึงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด กล้ามเนื้อและโครงสร้างต่าง ๆ ของหอยแมลงภู่สุกจึงถูกย่อยสลายช้าลง ส่งผลให้ M622 มีค่าแรงเฉือนสูงที่สุด เช่นเดียวกับการศึกษาเนื้อหอยนางรม (*Saccostrea cucullata*) สดแช่สารละลายผสมโพแทสเซียมซอร์เบตและโซเดียมแล็กเตตร่วมกับเก็บรักษาแบบ MAP ของสวามินี ธีระวุฒิ และคณะ (2557) และการศึกษาเนื้อหอยแครง (*Anadara granosa*) ลวกร่วมกับเก็บรักษาแบบ MAP ของนิชนันท์ เธียรพัฒนะวงศ์ และคณะ (2551) พบว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาวะ 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2 สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนได้ดีที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา



ภาพที่ 4-11 ค่าแรงเฉือนของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.15 - 0.82; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.02 - 0.47)

4. การทดสอบเชิงพรรณนากำหนดคำศัพท์ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกพร้อมบริโภคที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส (Quantitative descriptive analysis; QDA) แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การทดสอบเชิงพรรณนาเพื่อกำหนดคำศัพท์ และการทดสอบเชิงคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งก่อนทำการวิเคราะห์ต้องคัดเลือกผู้ทดสอบจำนวน 10 คน จากจำนวน 20 คน ของผู้สมัครเข้ารับการประเมิน จากนั้นจึงนำผู้ทดสอบที่ผ่านการคัดเลือกแล้วมาฝึกฝนการรับรู้ทางด้านประสาทสัมผัสเพื่อสร้างความคุ้นเคยกับลักษณะเฉพาะของเนื้อหอยแมลงภู่สุกด้วยวิธีการชิมและดมกลิ่นเนื้อหอยแมลงภู่สุกที่ไม่เคลือบสารละลาย จนผู้ทดสอบทุกคนสามารถบ่งบอกความรู้สึกของแต่ละลักษณะได้ใกล้เคียงกันจึงทำการทดสอบเชิงพรรณนากำหนดคำศัพท์ด้วยการดมกลิ่นและรับประทานเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิค 2.5% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002% (w/ v) แบบแยกเพศ ทุก 2 วัน นาน 10 วัน โดยให้ผู้ทดสอบต้องเขียนคำอธิบายความรู้สึกตามลักษณะด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ซึ่งคำศัพท์ที่ได้จากการทดสอบเชิงพรรณนากำหนดคำศัพท์สามารถแสดงให้เห็นได้ดังตารางที่ 4-1 และ 4-2 จากนั้นเลือกคำศัพท์ที่ใช้บ่งบอกความรู้สึกต่อผลิตภัณฑ์มาวางลงบนสเกล แล้วให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความถี่ตามความรู้สึกของผู้ทดสอบเองในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4-1 คำศัพท์ที่แสดงถึงลักษณะคุณภาพของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกตามระยะเวลาการเก็บรักษา

ลักษณะต่าง ๆ	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
ลักษณะปรากฏ	- สีขาวอมน้ำตาล - ผิวมันเงา - ตัวอวบ - ผิวเรียบตึง	- สีขาวครีม - ผิวมันเงา - ตัวอวบ - ผิวเรียบตึง	- สีขาวคล้ำ - ผิวด้าน - ตัวเหี่ยว	- สีน้ำตาล - ผิวด้าน - ตัวเหี่ยว	- สีน้ำตาล - ผิวด้าน - ผิวเป็นเมือก - ตัวเหี่ยว	- สีน้ำตาล - ผิวเป็นเมือก - ตัวเหี่ยว
กลิ่น	- กลิ่นหอมหวาน - กลิ่นหอยต้ม - กลิ่นชาเขียว - กลิ่นเค็มน้ำทะเล	- กลิ่นหอมหวาน - กลิ่นหอยต้ม - กลิ่นเค็มน้ำทะเล	- กลิ่นหอมหวาน - กลิ่นหอยต้ม - กลิ่นเค็มน้ำทะเล	- กลิ่นหอยต้ม - กลิ่นเค็มน้ำทะเล	- กลิ่นเหม็นอับ	- กลิ่นเปรี้ยว - กลิ่นเหม็นอับ
รสชาติ	- รสเค็ม - รสหวาน - รสอร่อย	- รสเค็ม - รสหวาน - รสอร่อย - รสขม	- รสเค็ม - รสหวาน - รสอร่อย - รสขม	- รสจืด - รสขม	- รสเปรี้ยว	-
เนื้อสัมผัส	- ฉ่ำน้ำ - แน่น - เหนียว - ยืดหยุ่น	- ฉ่ำน้ำ - แน่น - เหนียว - ยืดหยุ่น	- ฉ่ำน้ำ - เหนียว - ยืดหยุ่น	- เหนียว - ยืดหยุ่น	- นิ่ม - ยืดหยุ่นน้อย	- นิ่มและ

ตารางที่ 4-2 คำศัพท์ที่แสดงถึงลักษณะคุณภาพของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกตามระยะเวลาการเก็บรักษา

ลักษณะต่าง ๆ	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
ลักษณะปรากฏ	- สีส้ม - ผิวมันเงา - ตัวอวบ - ผิวเรียบตึง	- สีส้ม - ผิวมันเงา - ตัวอวบ - ผิวเรียบตึง	- สีส้ม - ผิวเรียบ - ตัวเหี่ยว	- สีส้ม - ผิวด้าน - ตัวเหี่ยว	- สีส้มน้ำตาล - ผิวด้าน - ตัวเหี่ยว	- สีส้มน้ำตาล - ผิวเป็นเมือก - ตัวเหี่ยว
กลิ่น	- กลิ่นหอมหวาน - กลิ่นหอยต้ม - กลิ่นชาเขียว - กลิ่นเค็มน้ำทะเล	- กลิ่นหอมหวาน - กลิ่นหอยต้ม - กลิ่นเค็มน้ำทะเล	- กลิ่นหอมหวาน - กลิ่นหอยต้ม - กลิ่นเค็มน้ำทะเล	- กลิ่นหอมหวาน - กลิ่นหอยต้ม - กลิ่นเค็มน้ำทะเล	- กลิ่นเค็มน้ำทะเล - กลิ่นเปรี้ยว - กลิ่นเหม็นอับ	- กลิ่นเปรี้ยว
รสชาติ	- รสเค็ม - รสหวาน - รสอร่อย - รสขม	- รสเค็ม - รสหวาน - รสอร่อย	- รสเค็ม - รสหวาน - รสอร่อย	- รสจืด	- รสเปรี้ยว	-
เนื้อสัมผัส	- ฉ่ำน้ำ - แน่น - เหนียว - ยืดหยุ่น - หนืบ	- ฉ่ำน้ำ - แน่น - เหนียว - ยืดหยุ่น	- ฉ่ำน้ำ - เหนียว - ยืดหยุ่น	- เหนียว - ยืดหยุ่น	- นิ่ม - ยืดหยุ่นน้อย	- นิ่มเละ

ผลการทดลองพบว่าคำศัพท์ที่ผู้ทดสอบให้นั้นมีรายละเอียด คือ

4.1 ลักษณะปรากฏ ประกอบด้วยคำศัพท์ 4 ลักษณะ ได้แก่ 1) สีบนตัวหอยของเนื้อหอยแมลงภู่สุก 2) ความมันเงาของผิวของเนื้อหอยแมลงภู่สุก 3) ความเป็นเมือกที่ผิวของเนื้อหอยแมลงภู่สุก และ 4) ลักษณะผิวภายนอกของเนื้อหอยแมลงภู่สุก

4.2 ลักษณะด้านกลิ่น ประกอบด้วยคำศัพท์ 4 ลักษณะ ได้แก่ 1) กลิ่นหอยต้มของเนื้อหอยแมลงภู่สุก 2) กลิ่นชาเขียวของเนื้อหอยแมลงภู่สุก 3) กลิ่นทะเลของเนื้อหอยแมลงภู่สุก 4) กลิ่นเหม็นเปรี้ยวของเนื้อหอยแมลงภู่สุก

4.3 ลักษณะด้านกลิ่นรส ประกอบด้วยคำศัพท์ 1 ลักษณะ ได้แก่ 1) กลิ่นรสหอมหวานของเนื้อหอยแมลงภู่สุก

4.4 ลักษณะด้านรสชาติ ประกอบด้วยคำศัพท์ 5 ลักษณะ ได้แก่ 1) รสอร่อยของเนื้อหอยแมลงภู่สุก 2) รสหวานของเนื้อหอยแมลงภู่สุก 3) รสขมของเนื้อหอยแมลงภู่สุก 4) รสเค็มของเนื้อหอยแมลงภู่สุก 5) รสเปรี้ยวของเนื้อหอยแมลงภู่สุก

4.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส ประกอบด้วยคำศัพท์ 2 ลักษณะ ได้แก่ 1) ความยืดหยุ่นของเนื้อหอยแมลงภู่สุก 2) ความฉ่ำน้ำของเนื้อหอยแมลงภู่สุก

5. ผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อหอยแมลงภู่สุกพร้อมบริโภคที่เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

จากการนำคำศัพท์ที่ใช้บ่งบอกความรู้สึกต่อผลิตภัณฑ์จากข้อ 4 มาวางลงบนสเกลที่มีความยาว 12 เซนติเมตร เว้นหัวท้ายด้านละ 1 เซนติเมตร (Stone, 1992) และให้ผู้ทดสอบทำการทดสอบด้วยการดมกลิ่นและชิมเนื้อหอยแมลงภู่สุกที่เคลือบด้วยสารละลายชาเขียว 2.5% และกรดแอสคอร์บิก 2.5% ในสารละลายอัลจิเนต 0.002% (w/ v) แบบแยกเพศ (เพศผู้และเพศเมีย) ที่เก็บรักษาภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกันดังชุดการทดลองที่กำหนดไว้ แล้วให้ผู้ทดสอบขีดเส้นที่ตรงตามความรู้สึกของผู้ทดสอบต่อตัวอย่างที่ทดสอบ โดยทำการทดสอบทุก 2 วัน นาน 28 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

5.1 ลักษณะปรากฏ

5.1.1 สีของเนื้อหอยแมลงภู่สุก

ในธรรมชาติทั่วไปพบเนื้อหอยแมลงภู่เพศผู้มีสีขาวครีมและหอยแมลงภู่เพศเมียมีสีส้ม จากการศึกษาสีของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกันนาน 28 วัน (ภาพที่ 4-12) พบว่าในวันที่ 2 - 4 ของชุดการทดลอง C000 และวันที่ 2 ของชุดการทดลอง M622 เนื้อหอยแมลงภู่เพศผู้มีสีน้ำตาลมากกว่าชุดการทดลองอื่น แต่หลังจากวันที่ 4 ของ C000 และวันที่ 2 ของ M622 จนถึงวันที่ 8 สีบนตัวหอยเริ่มมีสีขาวครีมมากขึ้น อาจเป็นเพราะสีของสารสกัดจากชาเขียวเริ่มจางลง โดยวันที่ 8 - 28 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่ในชุดการทดลอง C000 และ M622 มีสีน้ำตาลมากขึ้นตาม ระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) แตกต่างกับ M433 และ M550 ที่เนื้อหอยมีสีขาวครีมมากขึ้นตั้งแต่วันที่ 2 - 6 และหลังจากวันที่ 6 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา เนื้อหอยมีสีน้ำตาลมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$)

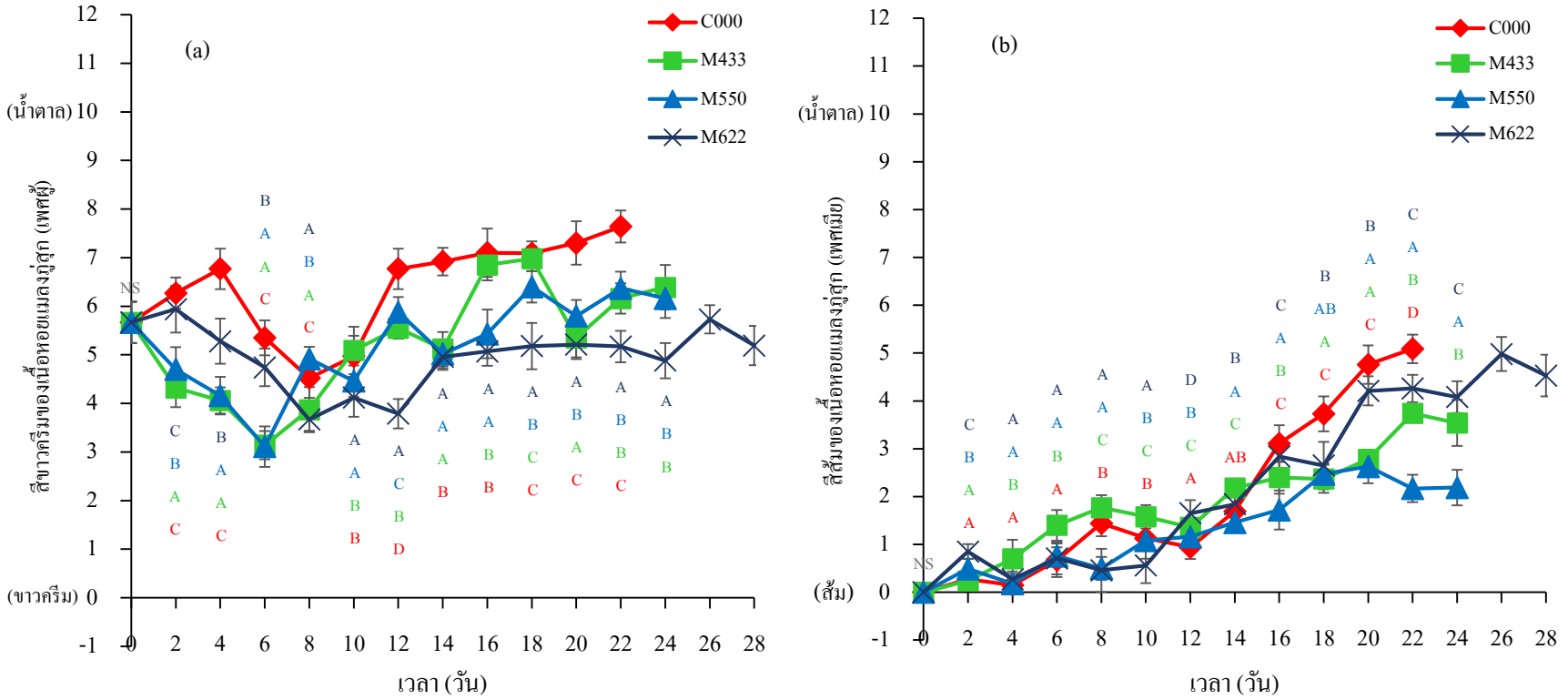
หากเปรียบเทียบระหว่างแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสีบนตัวหอยแมลงภู่เพศผู้ในชุดการทดลอง M433 กับ M550 และ M622 กับ C000 พบว่าเนื้อหอยแมลงภู่เพศผู้ในชุดการทดลอง M433, M550 และ M622 มีสีขาวครีมมากกว่า C000 อาจเป็นเพราะปริมาณ O_2 ที่มีอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการจับตัวระหว่างสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ใช้เคลือบกับผิวเนื้อหอยแมลงภู่ เนื่องจากในสภาพบรรยากาศปกติมี O_2 เป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 20.95% (ไพรวัลย์ วงศ์ดี, 2555) ซึ่งเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกับ M622 ที่มี O_2 เป็นองค์ประกอบอยู่ 20% ทำให้ M622 และ C000 มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสีเหมือนกัน ขณะที่ M433 ที่มีปริมาณ O_2 สูงกว่าปกติ (30%) และ M550 ที่ต่ำกว่าปกติ (0%) โครงสร้างโปรตีนจึงมีประสิทธิภาพในการจับตัวกับสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกน้อย สีของสารสกัดจากชาเขียวจึงซีดจางและปรากฏสีขาวครีมของหอยแมลงภู่สุกเพศผู้เร็วกว่าปกติ

อย่างไรก็ตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสีของเนื้อหอยแมลงภู่เพศผู้แตกต่างกับเนื้อหอยแมลงภู่เพศเมียอย่างชัดเจน เพราะสีของสารสกัดจากชาเขียวไม่มีผลต่อสีที่ปรากฏบนตัวหอยแมลงภู่เพศเมีย เนื่องจากรงควัตถุสีส้มที่จับอยู่กับโครงสร้างโปรตีนของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมีย เมื่อถูกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก สีน้ำตาลของสารสกัดจากชาเขียวจึงไม่มีผลต่อสีที่ปรากฏบนตัวหอยแมลงภู่เพศเมียชัดเจนเท่ากับหอยแมลงภู่เพศผู้ (ภาพที่ 4-12) สีของเนื้อหอยแมลงภู่เพศเมียตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลอง หอยแมลงภู่เพศเมียมีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$)

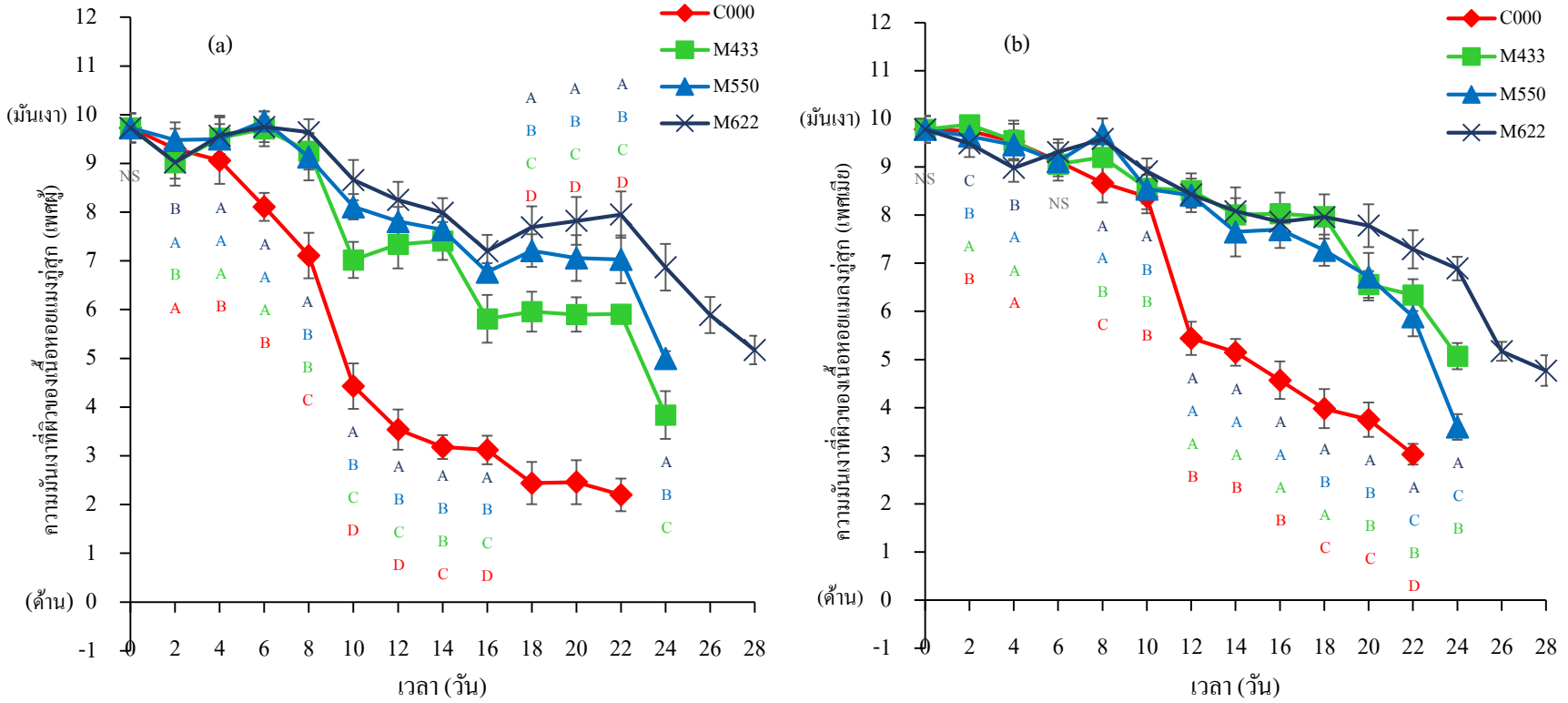
5.1.2 ความมันเงาที่ผิวของเนื้อหอยแมลงภู่สุก

ในเนื้อหอยแมลงภู่สุกความมันเงาที่ผิวสามารถบ่งบอกคุณภาพการเน่าเสียได้ ซึ่งถ้าผิวมีความมันเงาแสดงว่าหอยแมลงภู่สุกยังมีคุณภาพดีและยังไม่เกิดการเน่าเสีย จากการศึกษาความมันเงาที่ผิวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกันนาน 28 วัน (ภาพที่ 4-13) พบว่าวันที่ 2 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ทุกชุดการทดลองและเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียในชุดการทดลอง M622 วันที่ 2 - 4, M433 และ M550 วันที่ 2 - 6 นั้น เนื้อหอยมีความด้านเล็กน้อย แต่หลังจากวันที่ 2 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ รวมทั้งวันที่ 4 และ 6 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมีย พบว่าในชุดการทดลองที่มีการ MAP เนื้อหอยแมลงภู่สุกมีความมันเงามากขึ้นจนถึงวันที่ 6 (เพศผู้) และวันที่ 8 (เพศเมีย) หลังจากนั้นเนื้อหอยแมลงภู่มีความมันเงาลดลงและมีความด้านมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนดังกล่าวแตกต่างกับเนื้อหอยแมลงภู่ในชุดการทดลอง C000 ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติอย่างชัดเจน เนื่องจากเนื้อหอยแมลงภู่ในชุดการทดลอง C000 มีความด้านมากขึ้นตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา

หากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการ MAP กับชุดการทดลองที่ C000 พบว่าชุดการทดลองที่มีการ MAP มีความมันเงามากกว่า C000 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยชุดการทดลองที่การ MAP และมีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุด ดังเช่นชุดการทดลอง M622 เนื้อหอยแมลงภู่สุกมีความมันเงาสูงที่สุด



ภาพที่ 4-12 สีขาวครีมของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และสีส้มของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.22 - 0.50; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.50)



ภาพที่ 4-13 ความมันเงาที่ผิวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.08 - 0.49; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.07 - 0.51)

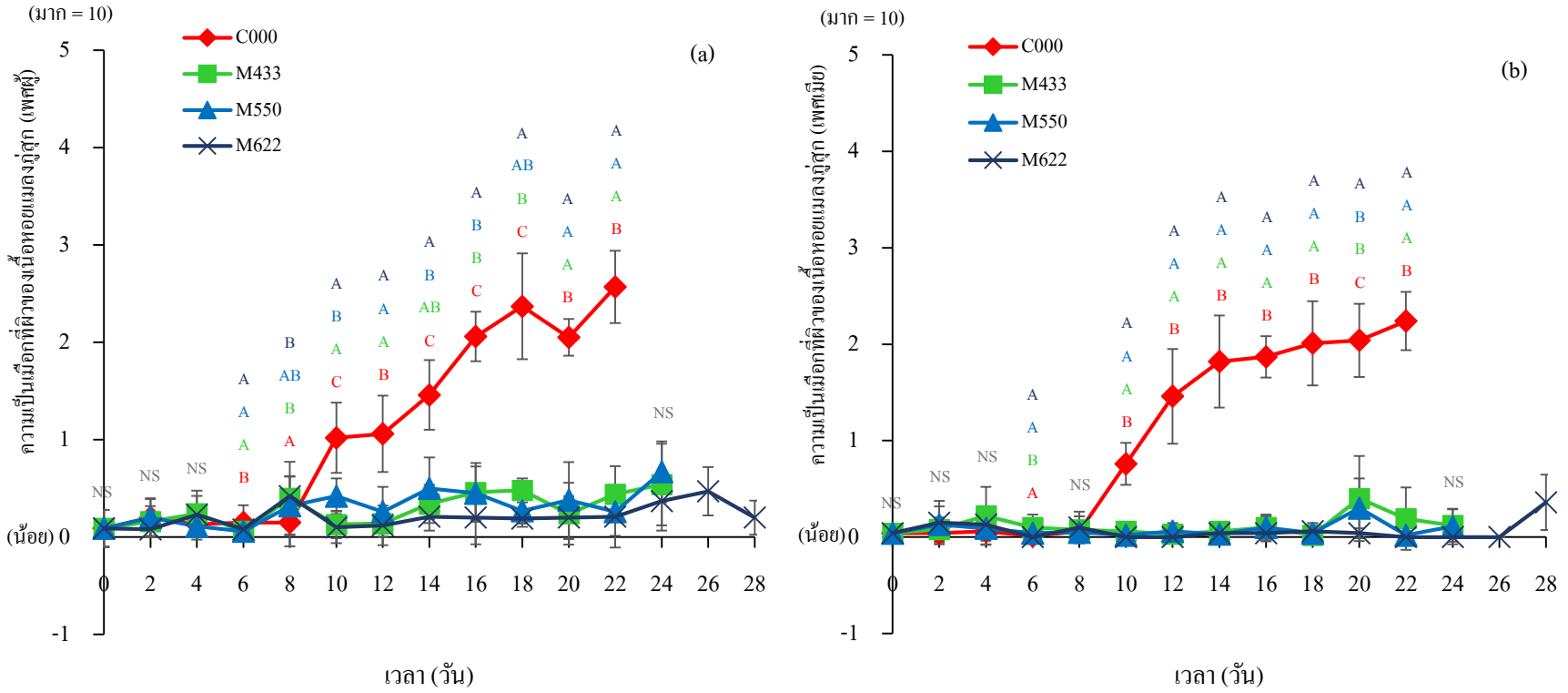
5.1.3 ความเป็นเมือกที่ผิวของเนื้อหอยแมลงภู่สุก

การเกิดเมือกที่ผิวมีผลมาจากการเจริญเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ (บุษกร อุตรภิชาติ, 2555) เมื่อเนื้อหอยแมลงภู่สุกมีความเป็นเมือกเกิดขึ้นที่ผิวแสดงให้เห็นว่า หอยแมลงภู่เริ่มเกิดการเน่าเสีย ผลการทดลองพบว่าวันที่ 0 - 4 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งเพศผู้และเพศเมีย และวันที่ 8 ของการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลอง เนื้อหอยมีความเป็นเมือกที่ผิวไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเนื้อหอยแมลงภู่สุก C000 ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติในวันที่ 4 - 22 (เพศผู้) และ วันที่ 8 - 22 (เพศเมีย) มีความเป็นเมือกที่ผิวมากขึ้น (ภาพที่ 4-14) ซึ่งแตกต่างกับชุดการทดลองที่มีการ MAP โดยหากเปรียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการ MAP กับ C000 พบว่า ชุดการทดลองที่มีการ MAP มีความเป็นเมือกที่ผิวน้อยกว่า C000 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) แต่ในชุดการทดลองที่มีการ MAP แตกต่างกัน ได้แก่ M433, M550 และ M622 พบว่าความเป็นเมือกที่ผิวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ทั้งเพศผู้และเพศเมีย

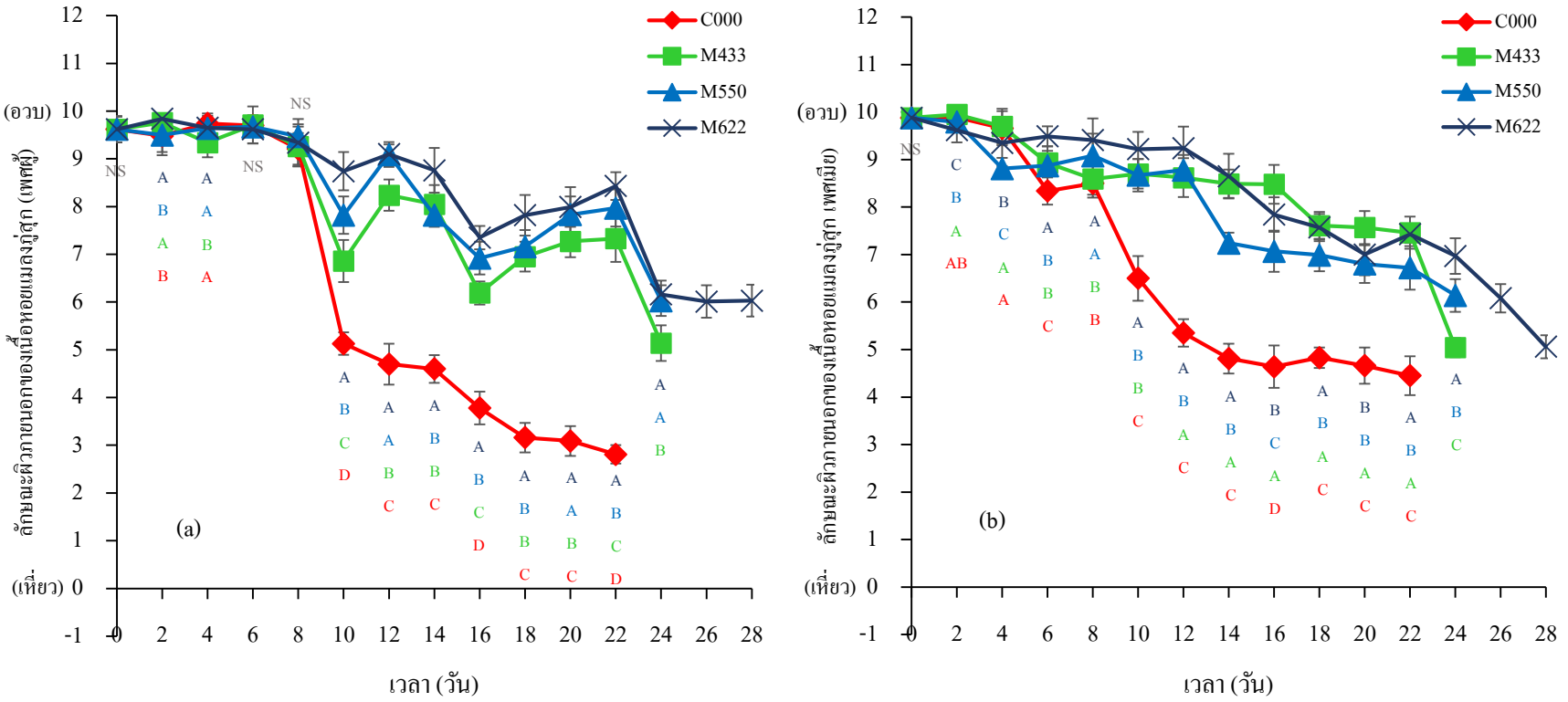
5.1.4 ลักษณะผิวภายนอกของเนื้อหอยแมลงภู่สุก

เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ วันที่ 0 - 8 และเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมีย วันที่ 0 ทุกชุดการทดลองมีลักษณะผิวภายนอกอวบไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ภาพที่ 4-15) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นหลังจากวันที่ 8 เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ในชุดการทดลอง C000 ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติมีลักษณะผิวภายนอกเหี่ยวลงจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ซึ่งแตกต่างกับชุดการทดลองที่มีการ MAP พบว่าในวันที่ 8 - 10 ลักษณะผิวภายนอกเหี่ยวลง โดยวันที่ 10 - 12 อวบขึ้น ซึ่งหลังจากวันที่ 12 - 16 เนื้อหอยเหี่ยวลงและอวบขึ้นอีกครั้งในวันที่ 16 - 22 โดยหลังจากวันที่ 22 ลักษณะผิวภายนอกเหี่ยวลงจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ซึ่งหากสังเกตจากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของลักษณะผิวภายนอกของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ พบว่าทุกชุดการทดลองที่มีการ MAP ลักษณะผิวภายนอกมีลักษณะอวบขึ้นและเหี่ยวลงตลอดระยะเวลา 28 วัน เนื่องจากขนาดของตัวหอยแมลงภู่เพศผู้ที่บรรจุในแต่ละบรรจุภัณฑ์ แม้มีขนาดเท่ากัน แต่มีความอ้วนและผอมไม่เท่ากัน ซึ่งแตกต่างกับเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียที่มีขนาดตัวเท่ากันอย่างสม่ำเสมอ โดยตั้งแต่วันที่ 2 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาเนื้อหอยทุกชุดการทดลองมีลักษณะภายนอกเหี่ยวลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP กับ C000 ของหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศ พบว่าชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP มีลักษณะผิวภายนอกอวบกว่า C000 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยชุดการทดลองที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุดนั้นเนื้อหอยแมลงภู่สุกมีลักษณะผิวภายนอกอวบที่สุดด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 4-14 ความเป็นเมือกที่ผิวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.08 - 0.54; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.49)



ภาพที่ 4-15 ลักษณะผิวภายนอกของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.11 - 0.50; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.05 - 0.47)

ในธรรมชาติเนื้อหอยแมลงภู่เพศผู้มีสีขาวครีมหรือสีน้ำนมและเนื้อหอยแมลงภู่เพศเมียมีสีส้มหรือสีแสด เนื่องจากเยื่อหุ้มลำตัวของเนื้อหอยแมลงภู่ทั้งสองด้านประกอบด้วยเซลล์สืบพันธุ์ ซึ่งสีส้มหรือสีแสดที่พบในเนื้อหอยแมลงภู่เพศเมียเป็นสีที่เกิดจากไข่ของเพศเมีย โดยความเข้มของสีไข่เข้มหรืออ่อนมักมีผลมาจากปริมาณเม็ดสีแคโรทีนอยด์ที่ได้รับจากสารอาหาร (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547) ซึ่งจากการศึกษาลักษณะปรากฏของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกัน นาน 28 วัน พบว่าลักษณะปรากฏของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความมันเงา ความเป็นเมือก และลักษณะผิวภายนอกไม่แตกต่างกัน ยกเว้นสีของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียที่มีสีเฉพาะของแต่ละเพศแตกต่างกัน โดยเพศผู้มีสีขาวครีมและเพศเมียมีสีส้ม จึงมีผลทำให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อหอยแตกต่างกันตามไปด้วย

การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศนั้นมีผลต่อลักษณะปรากฏภายนอกของเนื้อหอยแมลงภู่สุก เช่น สี ความมันเงา ความเป็นเมือก และลักษณะผิวภายนอก ส่งผลให้เนื้อหอยแมลงภู่สุกในทุกชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ (M433, M550 และ M622) มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏช้ากว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ (C000) เนื่องจากจุลินทรีย์บางกลุ่มที่สามารถทนต่อสภาวะความเข้มข้นของสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ใช้เคลือบผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายเนื้อหอยแมลงภู่สุกและนำสารอาหารที่ได้มาใช้ในการเจริญเพิ่มจำนวนทำให้โครงสร้างโปรตีนเสื่อมสภาพรงควัตถุที่จับอยู่กับโครงสร้างโปรตีนถูกทำลาย (สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, 2557) ส่งผลให้สีขาวครีมของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และสีส้มของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียมีสีน้ำตาลคล้ำ เกิดเมือก มีความมันเงาลดลงและเกิดความด้านที่บริเวณผิวมากขึ้น อีกทั้งยังมีลักษณะผิวภายนอกเหี่ยวลง เนื่องจากโครงสร้างโปรตีนเสื่อมสภาพจากกระบวนการเน่าเสียด้วยเอนไซม์ภายในตัวของหอยแมลงภู่เองและกระบวนการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ทำให้โครงสร้างโปรตีนยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของน้ำได้น้อยลง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลดลง ลักษณะผิวภายนอกจึงเหี่ยวลงตามไปด้วย (จุฑามุกดาสนิท และจีรวรรณ มณีโรจน์, 2558) เช่นเดียวกับการศึกษากุ้ง *Melicertus kerathurus* สดภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศของ Arvanitoyannis et al. (2011) เมื่อเปรียบเทียบลักษณะปรากฏของกุ้งสดระหว่างชุดการทดลองที่เก็บแบบ MAP กับชุดการทดลองที่เก็บในสภาพบรรยากาศปกติ พบว่าชุดการทดลองที่เก็บแบบ MAP กุ้งสดมีลักษณะปรากฏเปลี่ยนแปลงช้ากว่าชุดการทดลองที่เก็บในสภาพบรรยากาศปกติ

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่มีสัดส่วนก๊าซแตกต่างกัน พบว่าชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุดมีผลช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของเนื้อหอยแมลงภู่สุกได้ดีที่สุด แม้ว่าในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศ M622 มีสีน้ำตาลมากกว่า M433 และ M550 ก็ตาม ซึ่งเกิดจากสีของสารสกัดจากชาเขียวที่ใช้ในการเคลือบนั่นเอง แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้นสีของสารสกัดจากชาเขียวเริ่มจางทำให้หลังจากวันที่ 8 ของการเก็บรักษาเป็นต้นไป เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ของชุดการทดลอง M622 มีสีขาวครีมมากกว่า M433 และ M550 ส่วนเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียมีสีส้มมากกว่า M433 และ M550 วันที่ 4 - 10 ส่วนความมันเงาที่ผิวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีความมันเงาตั้งแต่วันที่ 4 - 8 ถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษามากกว่า M433 และ M550 และมีลักษณะผิวภายนอกตั้งแต่วันที่ 6 - 10 ถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษามีความอวบมากกว่า M433 และ M550 โดยชุดการทดลองที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 แตกต่างกันมีผลต่อลักษณะความเป็นเมือกที่ผิวของหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศไม่แตกต่างกัน

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ (M433, M550 และ M622) พบว่า M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุดมีผลช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ (สี ความมันเงา ความเป็นเมือก และลักษณะผิวภายนอก) ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกได้ดีที่สุด ($p \leq 0.05$) เนื่องจากก๊าซ CO_2 มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่จำเป็นต้องใช้ O_2 ในการเจริญได้ กระบวนการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ในชุดการทดลอง M622 จึงเกิดช้ากว่าชุดการทดลองอื่น เช่นเดียวกับการศึกษาเนื้อหอยตลับ (*Meretrix casta*) ลวกที่เก็บรักษาแบบปรับสภาพบรรยากาศของสุแพรวพันธ์ โลหะลักณาเดช และชุตินุช สุจริต (2558) พบว่าสัดส่วนก๊าซ 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2 สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของเนื้อหอยตลับลวกได้ดีที่สุด

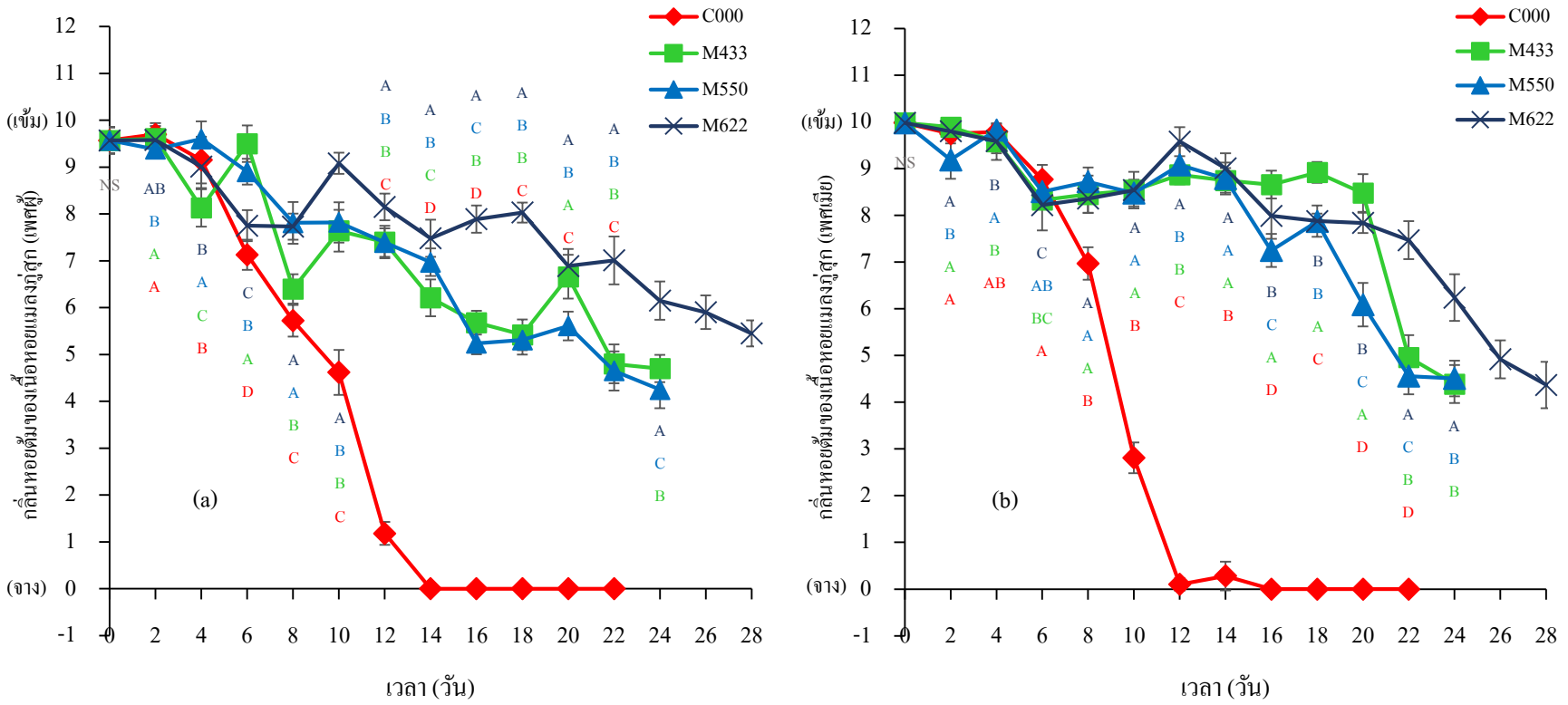
5.2 กลิ่น

5.2.1 กลิ่นหอยต้ม

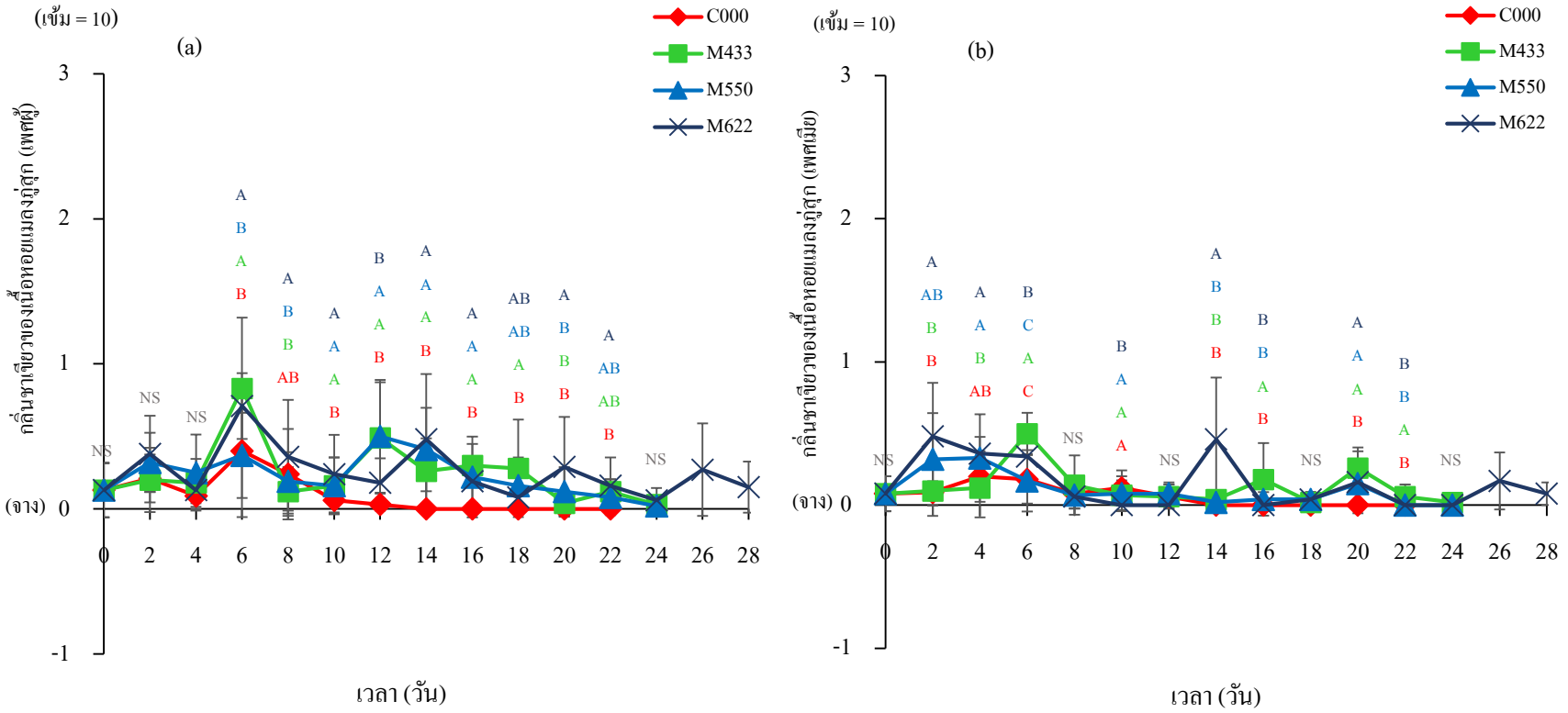
จากการศึกษากลิ่นหอยต้มในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกันนาน 28 วัน พบว่าในชุดการทดลอง C000 ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติของหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีกลิ่นหอยต้มจางลงอย่างรวดเร็วตามระยะเวลาการเก็บรักษาจนถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) หลังจากนั้นผู้ทดสอบไม่ได้กลิ่นหอยต้มของเนื้อหอยแมลงภู่สุกจนกระทั่งถึงวันที่ 22 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ขณะที่ชุดการทดลองที่มีการ MAP แม้ว่ามีกลิ่นหอยต้มจางลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) แต่ก็มีกลิ่นหอยต้มเข้มกว่า C000 โดยชุดการทดลองที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุดมีกลิ่นหอยต้มเข้มตั้งแต่วันที่ 8 - 28 ของการเก็บรักษาสำหรับเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ และวันที่ 20 - 28 ของการเก็บรักษาสำหรับเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมีย (ภาพที่ 4-16)

5.2.2 กลิ่นชาเขียว

จากการศึกษากลิ่นชาเขียวในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน นาน 28 วัน พบว่าผู้ทดสอบได้กลิ่นชาเขียวจางมาก แม้ว่ามีการเคลือบเนื้อหอยด้วยสารสกัดจากชาเขียวก็ตาม โดยเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ในทุกชุดการทดลองมีกลิ่นชาเขียวไม่แตกต่างกัน ในวันที่ 0 - 4 ของการเก็บรักษาแต่หลังจากวันที่ 4 ของการเก็บรักษาเป็นต้นไป เนื้อหอยแมลงภู่สุกในทุกชุดการทดลองมีกลิ่นชาเขียวแตกต่างกันตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ขณะที่เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียในทุกชุดการทดลองมีกลิ่นชาเขียวจางลงแตกต่างกันตามระยะเวลาการเก็บรักษาตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 4-17)



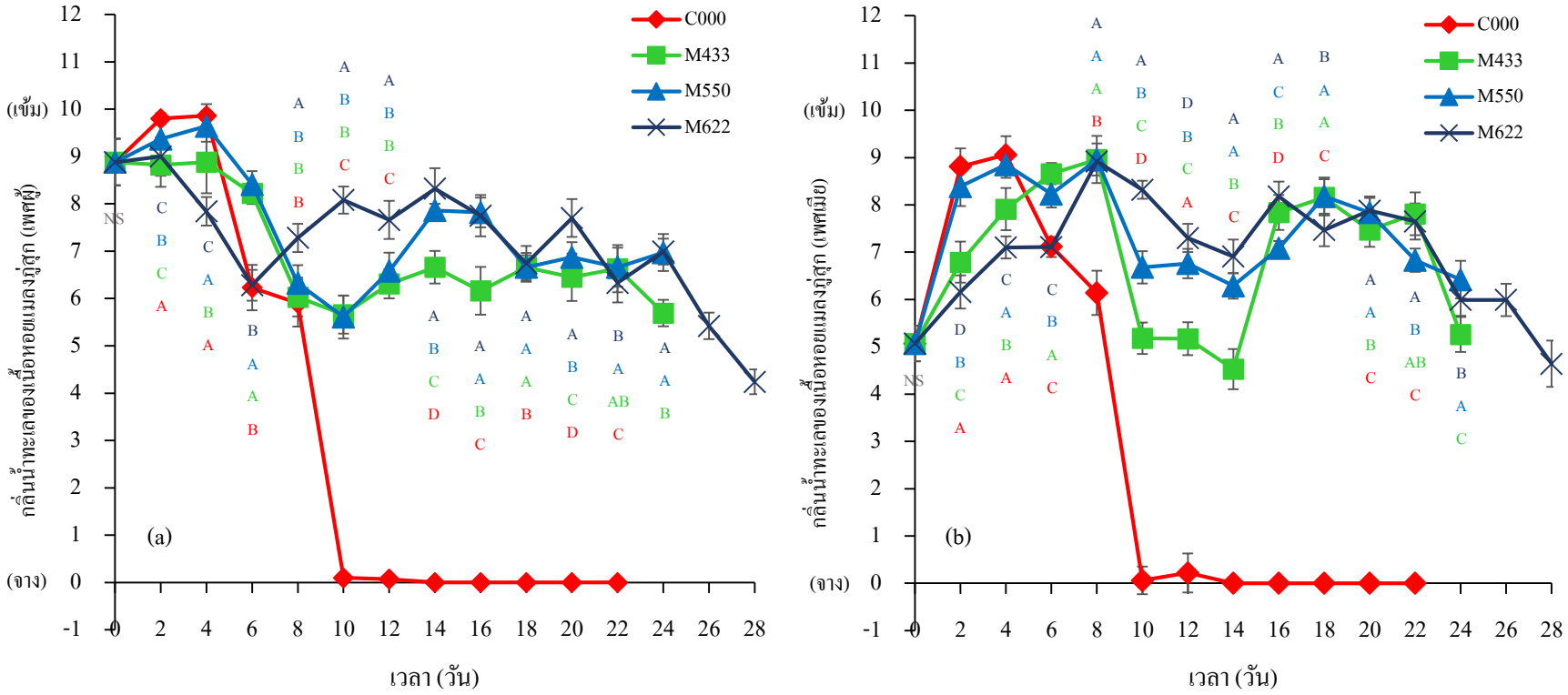
ภาพที่ 4-16 กลิ่นหอยต้มของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.16 - 0.50; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.04 - 0.54)



ภาพที่ 4-17 กลิ่นชาเขียวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.04 - 0.49; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.37)

5.2.3 กลิ่นน้ำทะเล

กลิ่นน้ำทะเลในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกันนาน 28 วัน พบว่าตั้งแต่วันที่ 0 - 4 ของการเก็บรักษา กลิ่นน้ำทะเลของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศในชุดการทดลอง C000 ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ รวมทั้งชุดการทดลองที่เก็บแบบปรับสภาพบรรยากาศ M433 และ M550 มีความเข้มของกลิ่นน้ำทะเลมากกว่า M622 โดยหลังจากวันที่ 4 ของการเก็บรักษาของ C000 พบว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีกลิ่นน้ำทะเลจางลงจนถึงวันที่ 12 และหายไปตั้งแต่วันที่ 12 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ซึ่งแตกต่างกับชุดการทดลองที่เก็บแบบปรับสภาพบรรยากาศ M433 และ M550 ในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ หลังจากวันที่ 4 มีกลิ่นน้ำทะเลจางลงจนถึงวันที่ 10 และเข้มขึ้นในช่วงวันที่ 10 - 14 โดยหลังจากวันที่ 14 กลิ่นน้ำทะเลจางลงอีกครั้งจนถึงวันที่ 24 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ส่วนเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียในชุดการทดลอง M433 มีกลิ่นน้ำทะเลเข้มขึ้นตั้งแต่วันที่ 0 - 8 และชุดการทดลอง M550 มีกลิ่นน้ำทะเลเข้มขึ้นตั้งแต่วันที่ 0 - 4 โดยวันที่ 8 - 14 ของการเก็บรักษานั้นเนื้อหอยในชุดการทดลอง M433 กลิ่นน้ำทะเลจางลง ซึ่งต่างจากชุดการทดลอง M550 ที่เนื้อหอยกลิ่นน้ำทะเลจางลงในวันที่ 4 - 6 และมีกลิ่นน้ำทะเลเข้มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 6 - 8 และวันที่ 8 - 14 เนื้อหอยมีกลิ่นน้ำทะเลจางลงเช่นเดียวกับ M433 โดยทั้งสองชุดการทดลอง M550 และ M433 เนื้อหอยมีกลิ่นน้ำทะเลเข้มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 14 - 18 และจางลงอีกครั้งหลังจากวันที่ 18 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ซึ่งความเข้ม - จางของกลิ่นน้ำทะเลที่พบในชุดการทดลอง M433 และ M550 นั้น แตกต่างกับ M622 ที่เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ที่มีกลิ่นน้ำทะเลเข้มขึ้นในวันที่ 0 - 2 ส่วนเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียมีกลิ่นน้ำทะเลเข้มขึ้นวันที่ 0 - 8 โดยเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีกลิ่นน้ำทะเลจางลงในวันที่ 2 - 6 ส่วนเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียมีกลิ่นน้ำทะเลจางลงในวันที่ 8 - 14 และเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีกลิ่นน้ำทะเลเข้มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 14 - 18 ซึ่งหลังจากวันที่ 18 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา เนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีกลิ่นน้ำทะเลจางลง ซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่เก็บแบบปรับสภาพบรรยากาศกับ C000 พบว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกที่เก็บแบบปรับสภาพบรรยากาศมีกลิ่นน้ำทะเลเข้มกว่า C000 โดยทุกชุดการทดลองของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศที่เก็บรักษาภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นน้ำทะเลไม่ชัดเจน (ภาพที่ 4-18)



ภาพที่ 4-18 กลิ่นน้ำทะเลของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.07 - 0.66; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.08 - 0.47)

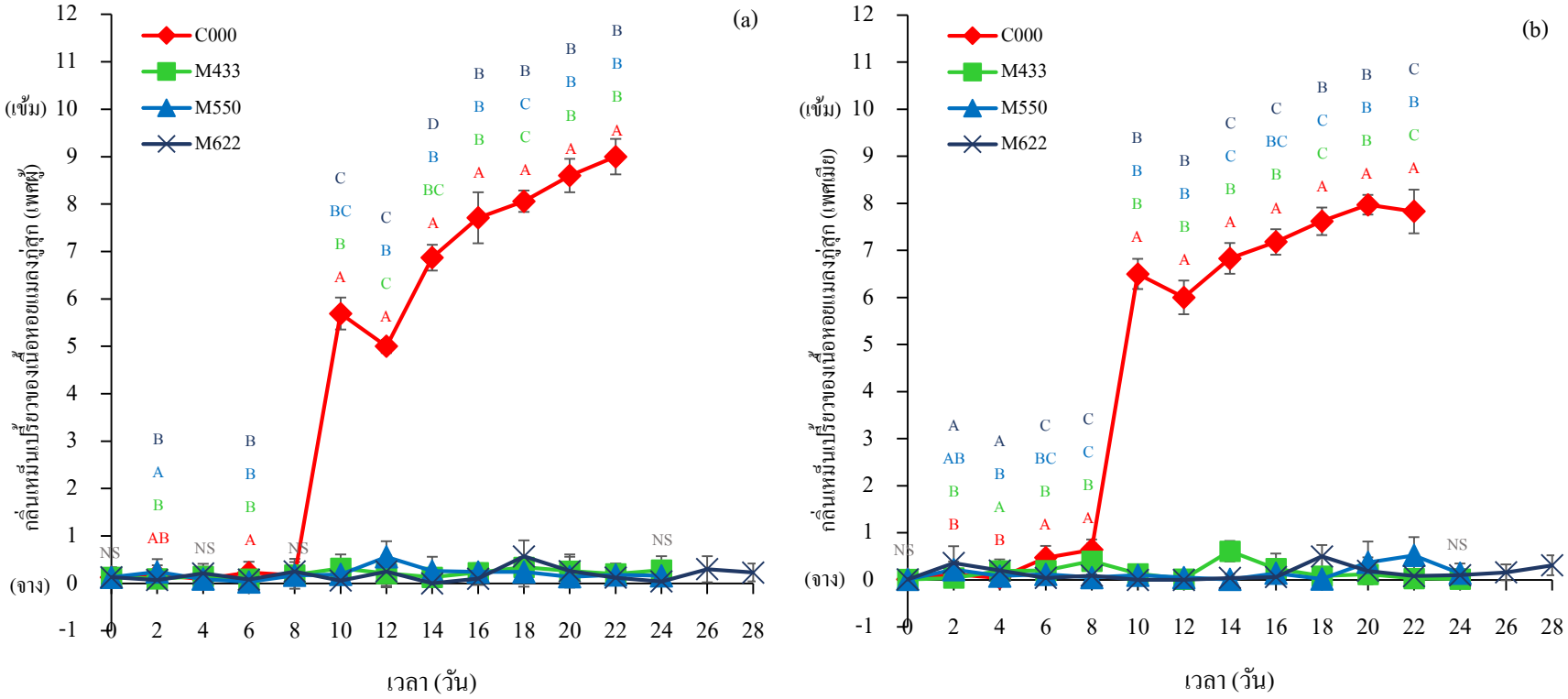
5.2.4 กลิ่นเหม็นเปรี้ยว

จากการศึกษากลิ่นเหม็นเปรี้ยวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากสารสกัดชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน นาน 28 วัน พบว่าตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ในชุดการทดลอง M433 มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่ชุดการทดลองอื่น ได้แก่ C000, M550 และ M622 มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวไม่แตกต่างกันในวันที่ 0 - 8 โดยวันที่ 8 - 28 ของเนื้อหอยในชุดการทดลอง M550 และ M622 มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ขณะที่ตั้งแต่วันที่ 8 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา เนื้อหอยในชุดการทดลอง C000 มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเข้มขึ้นชัดเจนกว่าชุดการทดลองอื่น ($p \leq 0.05$) ซึ่งหากสังเกตแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงกลิ่นเหม็นเปรี้ยวในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ดังที่กล่าวมานั้น พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเหมือนกับเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมีย โดย C000 วันที่ 0 - 8 มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวจางแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกับชุดการทดลองอื่น แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นหลังจากวันที่ 8 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา C000 จะมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเข้มขึ้นอย่างชัดเจน แตกต่างกับ M433, M550 และ M622 ที่มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวจางแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (ภาพที่ 4-19)

จากการศึกษากลิ่นของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน นาน 28 วัน พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงกลิ่นหอยต้ม กลิ่นสารสกัดจากชาเขียว กลิ่นน้ำทะเล และกลิ่นเหม็นเปรี้ยวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศไม่แตกต่างกัน โดยเนื้อหอยแมลงภู่สุกมีกลิ่นกลิ่นหอยต้ม กลิ่นสารสกัดจากชาเขียว และกลิ่นน้ำทะเลจางลง รวมทั้งมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเข้มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศมีผลต่อกลิ่นหอยต้มและกลิ่นน้ำทะเลทำให้ชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศมีกลิ่นหอยต้มและกลิ่นทะเลคงอยู่ได้นานและไม่เกิดกลิ่นเหม็นเปรี้ยว ซึ่งหากเนื้อหอยมีคุณภาพดีต้องมีกลิ่นหอยต้มและกลิ่นน้ำทะเลเข้มตามธรรมชาติ ซึ่งกลิ่นดังกล่าวที่พบเกิดจากสารประกอบในกลุ่ม Methyl esters เป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะในสัตว์น้ำจำพวกหอย (Yasuhara, 1987) หากกลิ่นหอยต้มและกลิ่นน้ำทะเลจางลงจนเกิดกลิ่นอับและกลายเป็นกลิ่นเปรี้ยวขึ้นแสดงว่าเนื้อหอยเริ่มเกิดการเน่าเสีย เนื่องจากสัตว์น้ำจำพวกหอยมีปริมาณไนโตรเจนมากกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ (บุษกร อุตรภิชาติ, 2555) เมื่อโครงสร้างโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการ autolysis และการย่อยสลายจากกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ เนื้อหอยเกิดสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด เช่น แอมโมเนีย เอมีน ไตรเมทิลเอมีน และไดเมทิลเอมีน (นิรชา วงษ์จินดา, 2547;

สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, 2557) ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ปริมาณ TVB-N ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ตรวจวัด พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นปริมาณ TVB-N มีปริมาณมากขึ้นส่งผลให้เนื้อหอยมีกลิ่นไม่พึงประสงค์มากขึ้นตามไปด้วย ส่วนกลิ่นเหม็นเปรี้ยวที่เข้มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาเกิดจากจุลินทรีย์ที่เจริญได้บางชนิดสามารถเจริญสร้างกรดแลคติกขึ้น (Francoise, 2010) อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง C000 กับชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP (M433, M550 และ M622) พบว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP มีกลิ่นหอยต้มและกลิ่นน้ำทะเลคงอยู่นานกว่า C000 และไม่มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเกิดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nirmal and Benjakul (2011 b) ศึกษากุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) สดแช่แข็งเคลือบสารสกัดชาเขียวร่วมกับการบรรจุแบบ MAP พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 10 วัน กุ้งขาวที่เก็บรักษาแบบ MAP มีการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นช้ากว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกันทั้งสองเพศ ชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุดมีผลต่อกลิ่นหอยต้มคงอยู่ได้นานกว่าชุดการทดลอง M433 และ M550 ($p \leq 0.05$) แต่การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศทั้ง 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ M433, M550 และ M622 มีกลิ่นน้ำทะเล กลิ่นสารสกัดจากชาเขียว และกลิ่นเหม็นเปรี้ยวไม่แตกต่างกันมากนัก เพราะปริมาณ CO_2 ช่วง 40 - 60 % เป็นปริมาณที่ควรใช้ในการเก็บรักษาสัตว์น้ำจำพวกหอย (Soccol & Oetterer, 2003) การเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่สามารถสร้างกรดแลคติกได้ถูกจำกัดให้มีปริมาณน้อยลง กลิ่นเหม็นเปรี้ยวที่พบในเนื้อหอยทุกชุดการทดลองที่มีการ MAP จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกัน อีกทั้ง CO_2 เป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ O_2 ในการเจริญได้ โดย CO_2 จะมีผลทำให้จุลินทรีย์มีระยะเวลาในช่วงปรับตัว (lag phase) มากขึ้น การเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุหลักในการทำให้สัตว์น้ำเกิดการเน่าเสียจึงมีถูกชะลอลง (Banks, Nickelson, & Finne, 1980; Caglak et al., 2008) ชุดการทดลอง M622 จึงมีการเน่าเสียจากจุลินทรีย์เกิดขึ้นช้ากว่าชุดการทดลองอื่น เช่นเดียวกับงานวิจัยของนิชนันท์ เธียรพัฒนะวงศ์ และคณะ (2551) ได้ศึกษาเนื้อหอยแครง (*Anadara granosa*) ลวกร่วมกับการบรรจุแบบ MAP พบว่า 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2 เป็นสภาวะที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของเนื้อหอยแครงลวกน้อยที่สุดเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4-19 กลิ่นเหม็นเปรี้ยวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.54; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.46)

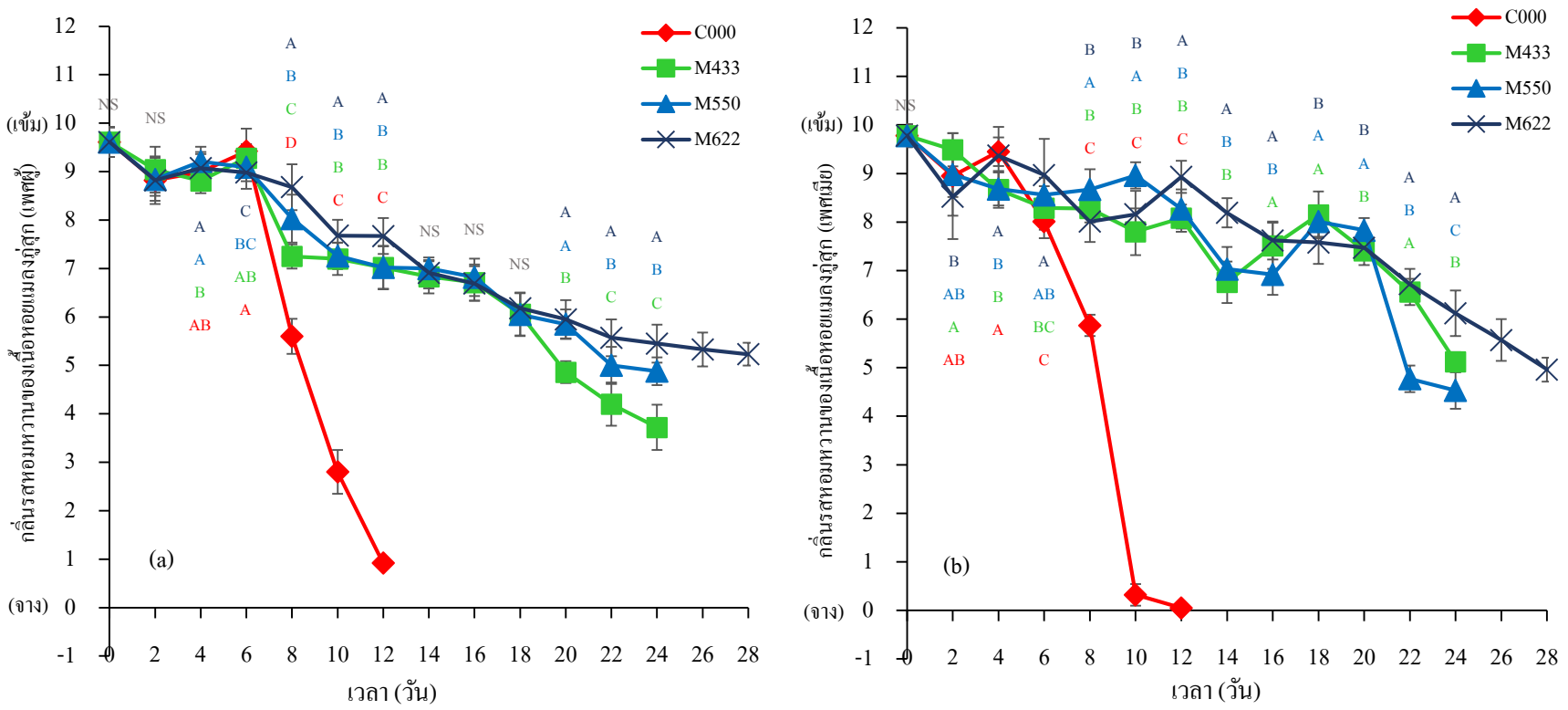
5.3 กลิ่นรส

5.3.1 กลิ่นรสหอมหวาน

กลิ่นรสหอมหวานสามารถบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อหอยแมลงภู่สุกได้ ถ้าเนื้อหอยแมลงภู่สุกมีกลิ่นรสหอมหวานแสดงว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกมีคุณภาพดีและยังไม่เกิดการเน่าเสีย เพราะกระบวนการเน่าเสียจากปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยเอนไซม์ภายในตัวของหอยแมลงภู่เอง กระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ และกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้โครงสร้างโปรตีนและกรดอะมิโนจำเพาะที่ให้กลิ่นหอมหวานลดลง (McMillin, 2008) จากการศึกษากลิ่นรสหอมหวานของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน นาน 28 วัน พบว่าวันที่ 0 - 2 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ทุกชุดการทดลองมีกลิ่นรสหอมหวานไม่แตกต่างกัน โดยเริ่มแตกต่างกันในวันที่ 2 - 6 ของการเก็บรักษา แต่หลังจากวันที่ 6 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ในชุดการทดลองที่บรรจุในสภาพบรรยากาศปกติ C000 มีกลิ่นรสหอมหวานจางลงรวดเร็วกว่าชุดการทดลองที่บรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศปกติ ได้แก่ M433, M550 และ M622 ตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสหอมหวานในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ใกล้เคียงกับการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสหอมหวานในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมีย แต่เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียทุกชุดการทดลองมีกลิ่นรสหอมหวานจางลงแตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา โดยตั้งแต่วันที่ 4 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียในชุดการทดลอง C000 มีกลิ่นรสหอมหวานจางลงรวดเร็วกว่าชุดการทดลองที่บรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ ได้แก่ M433, M550 และ M622 (ภาพที่ 4-20) เนื่องจากชุดการทดลอง C000 ไม่มีการปรับสัดส่วนก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ จุลินทรีย์ที่สามารถปรับตัวเข้ากับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้เคลือบได้จะสามารถเจริญและผลิตเอนไซม์มาย่อยโครงสร้างโปรตีนได้มากกว่าชุดการทดลองอื่น เมื่อโครงสร้างโปรตีนของเนื้อหอยแมลงภู่สุกถูกทำลายส่งผลให้เกิดกลิ่นของสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ รวมทั้งสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเน่าขึ้น ซึ่งเมื่อปฏิกิริยาการเน่าเสียเกิดมากขึ้น กลไกการเกิดออกซิเดชันของน้ำและกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำให้เนื้อหอยแมลงภู่สุกเกิดกลิ่นหืนและอนุมูลอิสระขึ้น (ชาตรี เอี้ยพิณ และภาราได แจ่มจำรูญ, 2550; บุษกร อุตรภิชาติ, 2555) โดยกลิ่นหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันมีความเข้มของกลิ่นจางกว่ากลิ่นเหม็นเน่าที่เกิดจากจุลินทรีย์ กลิ่นหืนที่มีความเข้มจางกว่าจึงถูกกลิ่นเหม็นเน่าบดบังทำให้ผู้ทดสอบไม่ได้กลิ่นหืนอย่างชัดเจน ดังนั้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้นกระบวนการเน่าเสียด้วยกลไกต่าง ๆ เกิดมากขึ้น การที่กลิ่นรสหอมหวานของเนื้อหอยแมลงภู่สุกจางลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาจึงมีสาเหตุมาจากกระบวนการเน่าเสียต่าง ๆ ดังกล่าว เช่นเดียวกับ

การศึกษากุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) สดแช่แข็งเคลือบสารสกัดจากชาเขียวของ Nirmal and Benjakul (2011 b) เปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีเก็บรักษาแบบ MAP กับชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ พบว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP มีกลิ่นรสสูงกว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการเก็บแบบปรับสภาพบรรยากาศทั้งสองเพศ พบว่า ชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุดมีกลิ่นรสหอมหวานมากกว่า M433 และ M550 ตั้งแต่วันที่ 4 ถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก CO_2 เป็นก๊าซที่มีผลโดยตรงต่อจุลินทรีย์แบบเลือกเฉพาะ อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเปลี่ยนรูปเป็นกรดคาร์บอนิกได้ เมื่อซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ส่งผลให้กระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์หยุดทำงาน การเจริญของจุลินทรีย์จึงถูกยับยั้งและมีช่วงปรับตัวนานขึ้น (สวามินี ธีระวุฒิ และคณะ, 2557) M622 จึงมีการเจริญของจุลินทรีย์ช้ากว่าชุดการทดลองอื่น การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสหอมหวานจึงเกิดช้าลงตามไปด้วย เช่นเดียวกับการศึกษาหอยกะพงเมดิเตอร์เรเนียน (*Mytilus galloprovincialis*) สดภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน ได้แก่ M1 (50%CO_2: 50%N_2), M2 (80%CO_2: 20%N_2), M3 (65%CO_2: 35%N_2) ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่มีปริมาณ CO_2 สูงที่สุดสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด อีกทั้งยังส่งผลให้เนื้อหอยมีกลิ่นรสจางลงช้ากว่าชุดการทดลองอื่น (Caglak et al., 2008)



ภาพที่ 4-20 กลิ่นรสหอมหวานของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.10 - 0.50; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.08 - 0.87)

5.4 รสชาติ

5.4.1 รสอร่อย

รสอร่อยเป็นรสชาติที่สามารถบ่งบอกได้ถึงความชอบของผู้บริโภคต่ออาหารแต่ละชนิด จากการศึกษารสอร่อยของหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน นาน 28 วัน พบว่าตั้งแต่วันที่ 0 - 28 ของการเก็บรักษา เนื้อหอยแมลงภู่ทั้งเพศผู้และเพศเมียในทุกชุดการทดลองมีรสอร่อยน้อยลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยชุดการทดลอง C000 ที่มีการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติมีรสอร่อยมากกว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบปรับสภาพบรรยากาศ ได้แก่ M433, M550 และ M622 ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาแต่หลังจากวันที่ 2 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาชุดการทดลอง M433, M550 และ M622 มีรสอร่อยมากกว่าชุดการทดลอง C000 ซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบปรับสภาพบรรยากาศนั้น พบว่าชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุด ในวันที่ 18 - 28 ของการเก็บรักษา สำหรับเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้วันที่ 12 - 14 และวันที่ 20 - 28 สำหรับเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียมีรสอร่อยมากกว่าชุดการทดลอง M433 และ M550 (ภาพที่ 4-21)

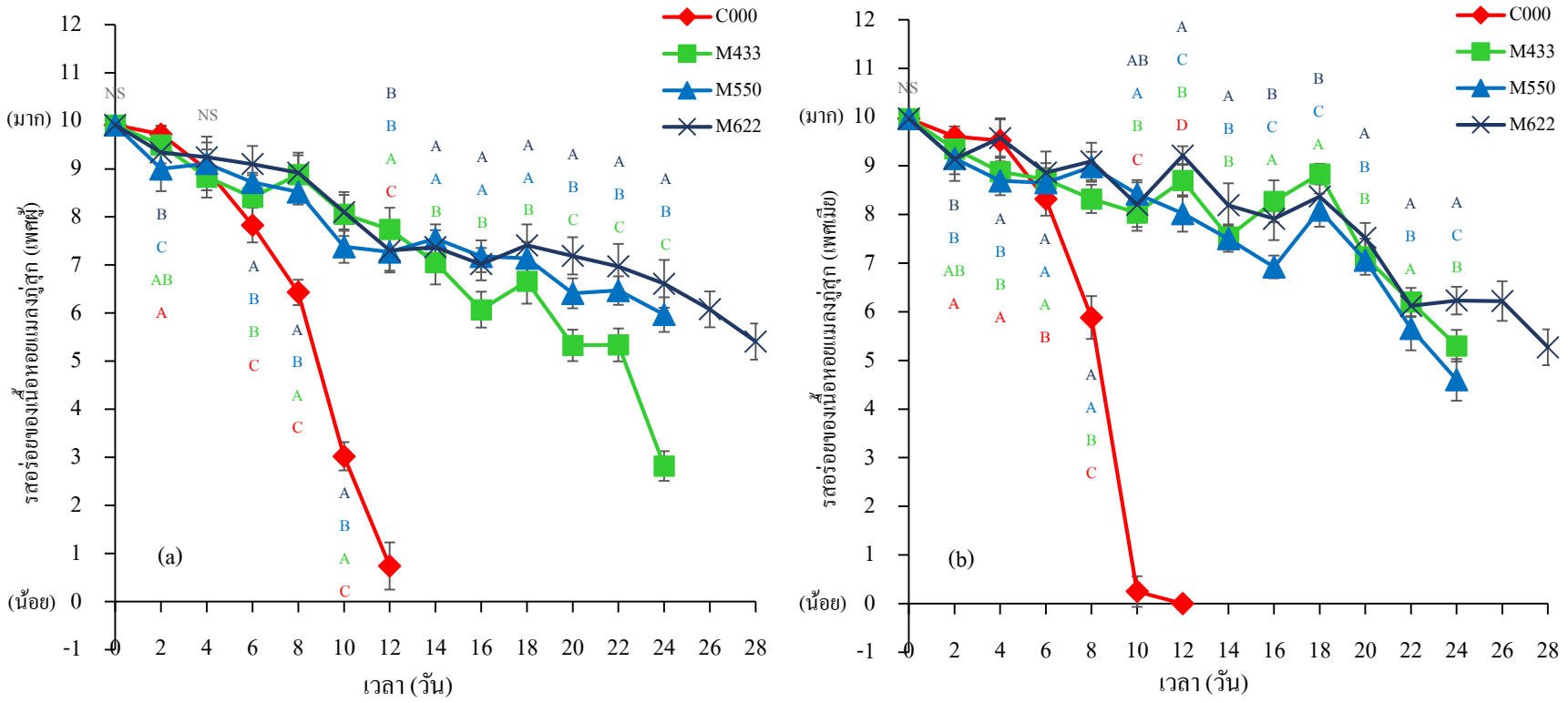
5.4.2 รสหวาน

รสหวานของเนื้อหอยแมลงภู่เกิดจากกรดอะมิโนไกลซีนและอัลจินีนที่เป็นองค์ประกอบหลักของสัตว์น้ำจำพวกหอย (บุษกร อุตรภิชาติ, 2555; สุแพรวพันธ์ โลหะลักษณาเดช และชุตินุช สุจริต, 2558) จากการศึกษารสหวานของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน นาน 28 วัน พบว่าในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ชุดการทดลอง C000 ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติมีรสหวานมากกว่าชุดการทดลองอื่นและรสหวานของเนื้อหอยลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษานับตั้งแต่วันที่ 2 - 28 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยมีแนวโน้มการลดลงของรสหวานในเนื้อหอยแมลงภู่สุกชุดการทดลอง M550 ที่รสหวานลดลงนับตั้งแต่วันที่ 0 - 24 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ซึ่งแตกต่างกับเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ชุดการทดลอง M433 ที่มีรสหวานมากขึ้นในวันที่ 2 - 4 และรสหวานเริ่มลดลงตั้งแต่วันที่ 4 - 28 ของการเก็บรักษา เช่นเดียวกับชุดการทดลอง M622 ที่มีรสหวานมากขึ้นในวันที่ 2 - 8 หลังจากนั้นรสหวานของเนื้อหอยลดน้อยลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง C000 กับชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ ได้แก่ M433, M550 และ M622 โดยชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศมีรสหวานมากกว่า C000 ตั้งแต่วันที่ 4 - 28 ของการเก็บรักษา ซึ่งเนื้อหอยแมลงภู่สุกชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุดมีรสหวานมากกว่า

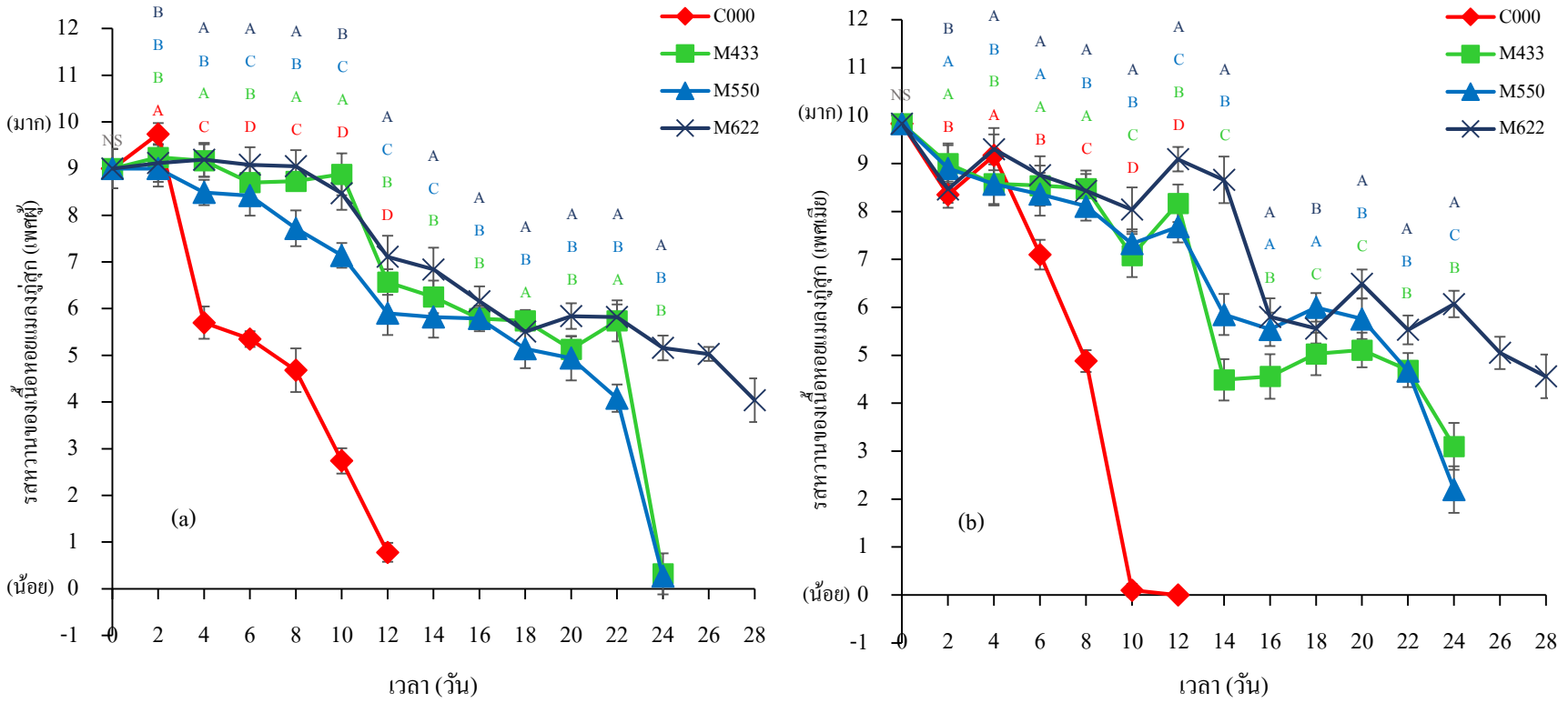
ชุดการทดลอง M433 และ M550 ในวันที่ 4 - 8, 12 - 16 และ 20 - 28 ของการเก็บรักษา โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงรสหวานที่พบในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีแนวโน้มใกล้เคียงกับการเปลี่ยนแปลงรสหวานในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมีย แต่เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียชุดการทดลอง C000 และ M622 มีรสหวานน้อยลงในวันที่ 2 โดยมีรสหวานมากขึ้นวันที่ 2 - 4 และมีรสหวานน้อยลงอีกครั้งนับตั้งแต่วันที่ 4 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ส่วนเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียชุดการทดลอง M433 และ M550 มีรสหวานน้อยลงตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่เก็บแบบปรับสภาพบรรยากาศกับ C000 พบว่าชุดการทดลองที่เก็บแบบปรับสภาพบรรยากาศทุกชุดการทดลองมีรสหวานมากกว่า C000 ($p \leq 0.05$) และเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุดนั้นมีรสหวานมากกว่าชุดการทดลอง M433 และ M550 ในวันที่ 4 - 6 และวันที่ 10 - 28 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 4-22)

5.4.3 รสขม

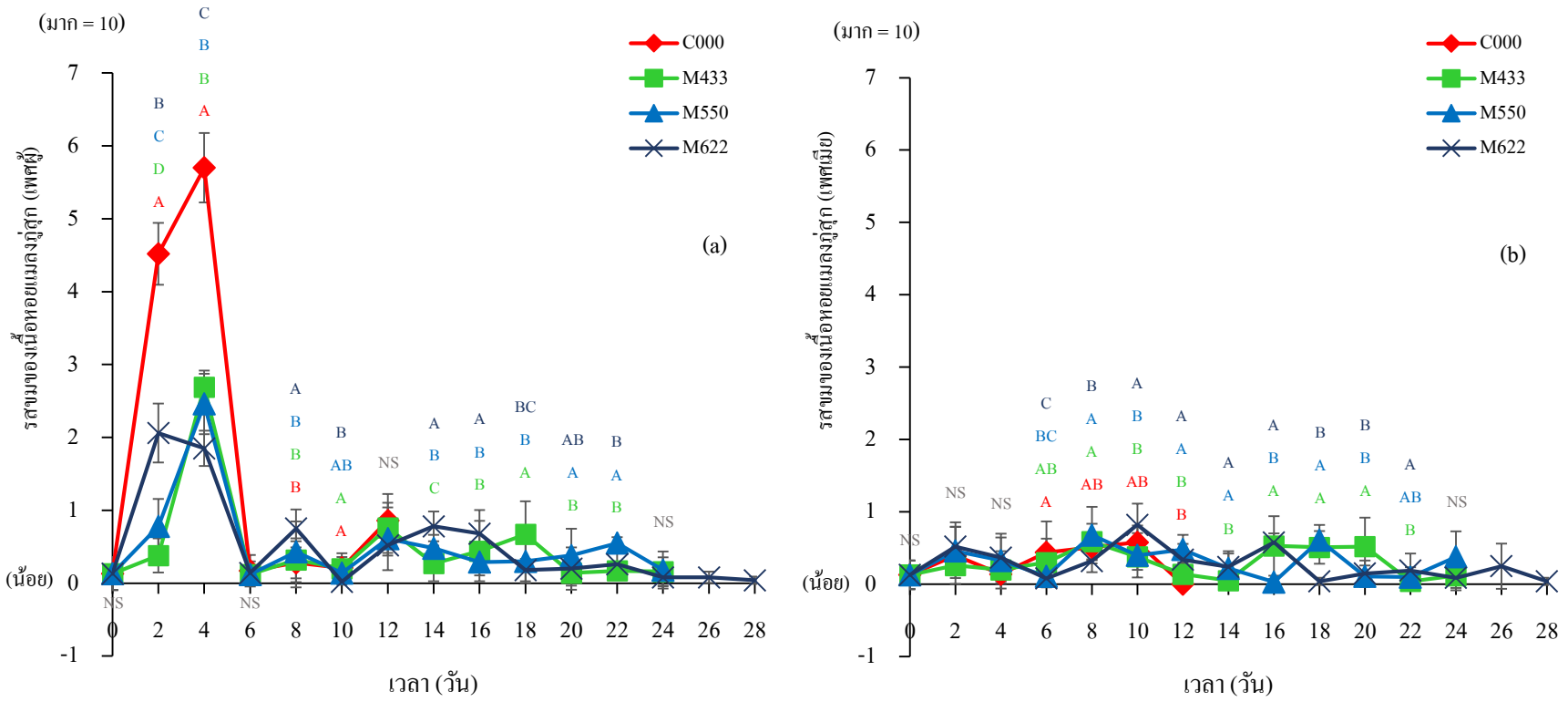
การเกิดรสขมในสัตว์น้ำมีผลมาจากการเสื่อมคุณภาพของโครงสร้างโปรตีนทำให้เกิดเป็นสารประกอบเอมีนขึ้นและสารประกอบเอมีนเหล่านี้ส่งให้เนื้อหอยแมลงภู่สุกมีรสขมขึ้น (สวามินี ธีระวุฒิ, อัครพล นางแล และราตรี คำหอม, 2557) แต่จากการศึกษารสขมของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน นาน 28 วัน พบว่าในวันที่ 2 - 4 ของการเก็บรักษา เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ทุกชุดการทดลองมีรสขมมากขึ้น แต่หลังจากวันที่ 4 ของการเก็บรักษาเป็นต้นไป พบว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกทุกชุดการทดลองมีรสขมน้อยลงจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ซึ่งการเกิดรสขมของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ในช่วงแรกนั้นอาจมีผลมาจากความเข้มข้นของสารละลายชาเขียวที่ใช้เป็นสารเคลือบ แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของชาเขียวเริ่มจางลงจึงส่งผลให้เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีรสขมน้อยลงจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงรสขมในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีความแตกต่างกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงรสขมในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียที่มีรสขมเพียงเล็กน้อย โดยในวันที่ 0 - 4 ของการเก็บรักษานั้นเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียมีรสขมไม่แตกต่างกันในแต่ละชุดการทดลองและในวันที่ 4 - 28 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกมีรสขมแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย (ภาพที่ 4-23)



ภาพที่ 4-21 รสอร่อยของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.08 - 0.50; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.04 - 0.46)



ภาพที่ 4-22 รสหวานของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.11 - 0.48; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.09 - 0.49)



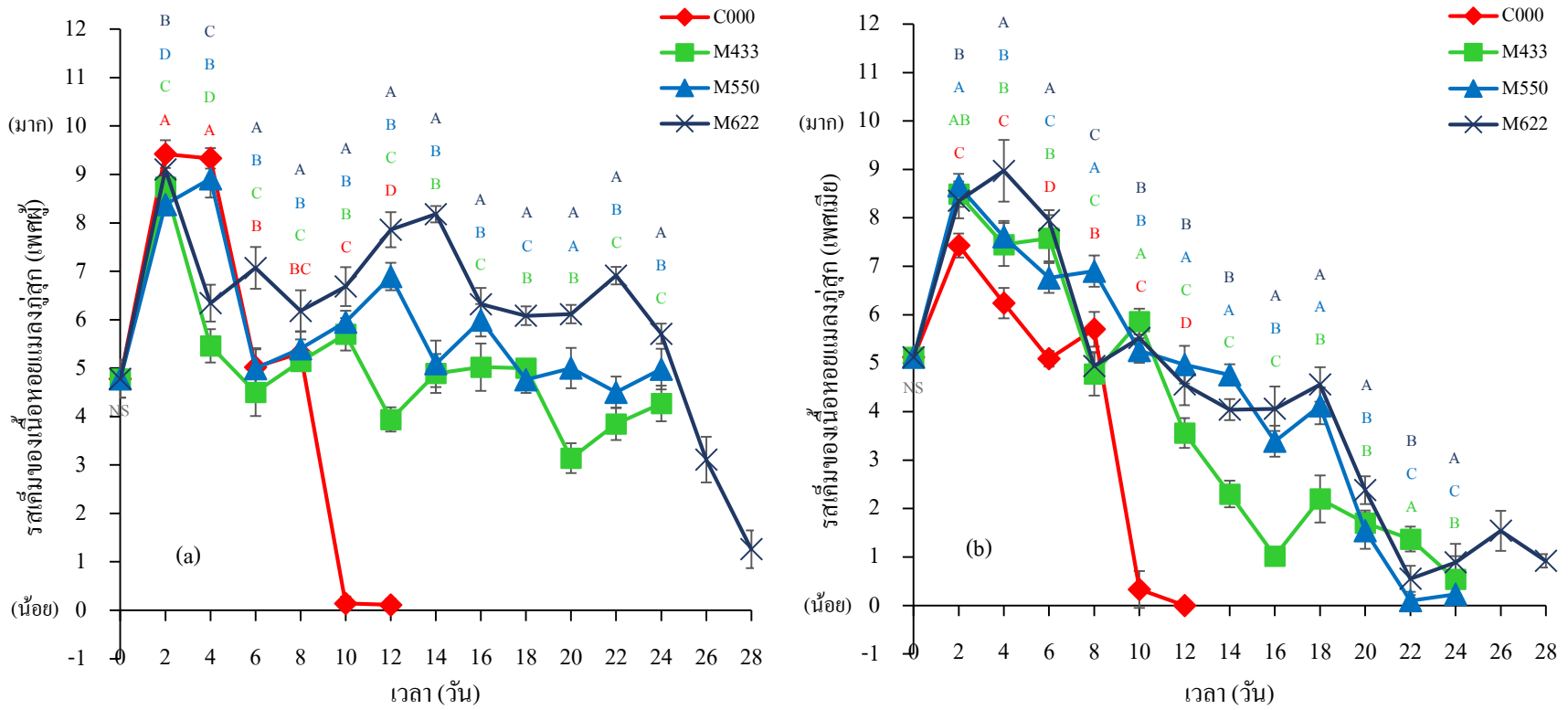
ภาพที่ 4-23 รสขมของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.04 - 0.47; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.04 - 0.43)

5.4.4 รสเค็ม

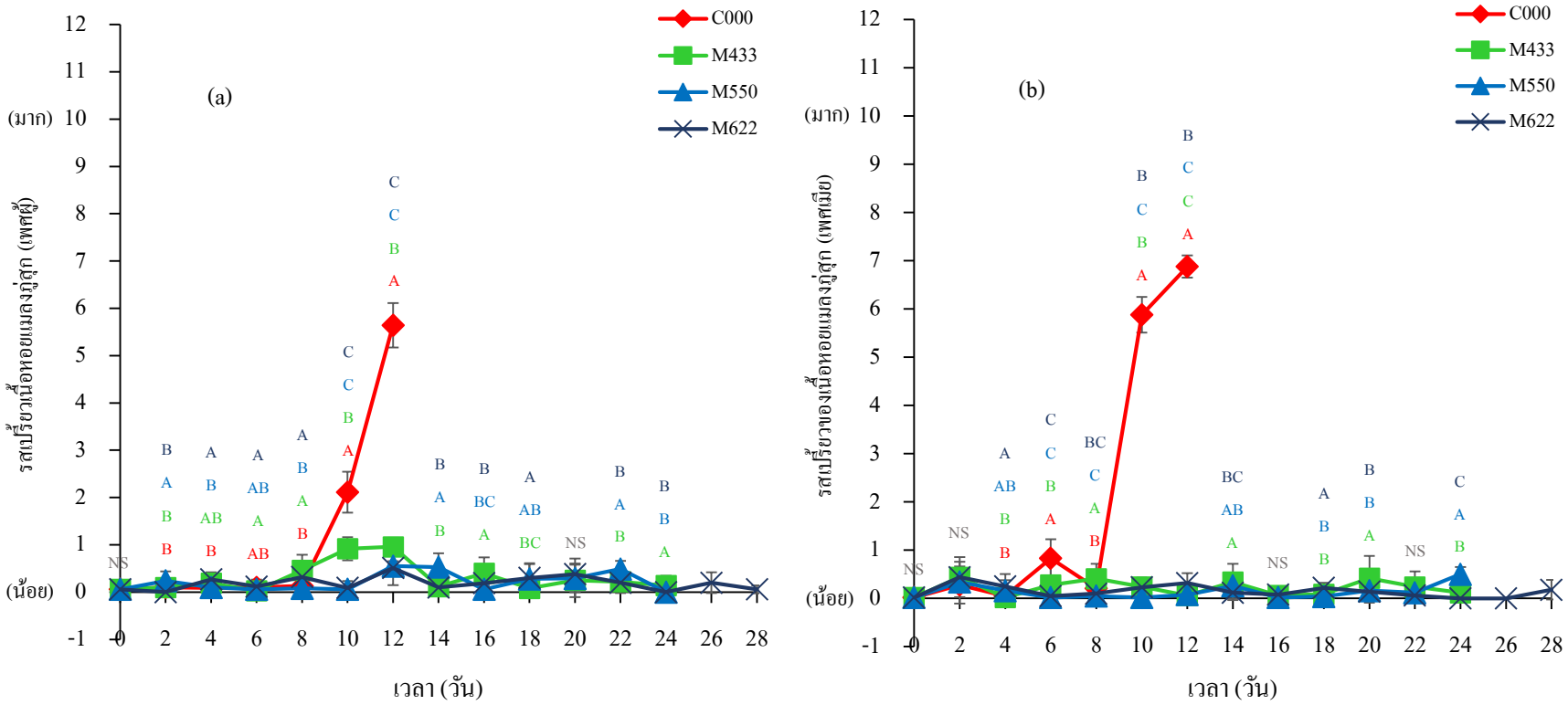
จากการศึกษารสเค็มของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน นาน 28 วัน พบว่าวันที่ 2 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ชุดการทดลอง C000, M433, M622 และวันที่ 2 - 4 ของ M550 มีรสเค็มมากขึ้น แต่วันที่ 2 - 28 ของการเก็บรักษา เนื้อหอยแมลงภู่สุกชุดการทดลอง C000, M433, M622 และวันที่ 4 - 28 ของการเก็บรักษา เนื้อหอยแมลงภู่สุกชุดการทดลอง M550 นั้นมีรสเค็มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยชุดการทดลอง M433, M550 และ M622 มีรสเค็มมากกว่า C000 ตั้งแต่วันที่ 10 - 24, 8 - 24 และ 6 - 28 ตามลำดับ ซึ่งรสเค็มของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ที่เก็บรักษาแบบปรับสภาพบรรยากาศทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของรสเค็มไม่ชัดเจนซึ่งแตกต่างจากการเปลี่ยนแปลงรสเค็มของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียที่วันที่ 2 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียชุดการทดลอง C000, M433, M550 และวันที่ 2 - 4 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียชุดการทดลอง M622 มีรสเค็มมากขึ้น แต่วันที่ 2 - 28 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียชุดการทดลอง C000, M433, M550 และวันที่ 4 - 28 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียชุดการทดลอง M622 มีรสเค็มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบปรับสภาพบรรยากาศ M433, M550 และ M622 มีรสเค็มมากกว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ C000 ระหว่างวันที่ 2 - 28 ของการเก็บรักษา ซึ่งเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียในชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุดมีรสเค็มมากกว่าชุดการทดลองอื่นวันที่ 6 - 28 และวันที่ 2 - 28 ตามลำดับ (ภาพที่ 4-24)

5.4.5 รสเปรี้ยว

รสเปรี้ยวที่เกิดขึ้นในอาหารที่เน่าเสียอาจมีผลมาจากการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแลคติกทำให้อาหารเหล่ามีรสเปรี้ยวมากขึ้น แต่จากการศึกษารสเปรี้ยวของหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน นาน 28 วัน พบว่าในวันที่ 2 - 8 ของการเก็บรักษา เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ทุกชุดการทดลองมีรสเปรี้ยวมากขึ้นแตกต่างกันเล็กน้อย แต่วันที่ 8 - 28 ของการเก็บรักษา เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ที่เก็บรักษาแบบบรรยากาศปกติในชุดการทดลอง C000 มีรสเปรี้ยวมากกว่าชุดการทดลองอื่น ($p \leq 0.05$) ซึ่งในหอยแมลงภู่เพศเมียพบการเปลี่ยนแปลงเหมือนเพศผู้ โดยวันที่ 0 - 2 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียในทุกชุดการทดลองมีรสเปรี้ยวไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่เริ่มมีรสเปรี้ยวแตกต่างกันในวันที่ 2 - 4 ของการเก็บรักษาและมีรสเปรี้ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 6 - 28 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียในชุดการทดลอง C000 มีรสเปรี้ยวมากที่สุด (ภาพที่ 4-25)



ภาพที่ 4-24 รสเค็มของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.13 - 0.49; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.12 - 0.64)



ภาพที่ 4-25 รสเปรี้ยวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.47; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.00 - 0.46)

จากผลการทดลองพบว่าการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศมีผลต่อรสอร่อย รสหวาน รสขม รสเค็ม และรสเปรี้ยวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกทั้งสองเพศไม่แตกต่างกัน โดยการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ M433, M550 และ M622 ทำให้เนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีรสอร่อยและรสหวานมากกว่าการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศปกติ C000 ตั้งแต่วันที่ 4 - 28 ของการเก็บรักษา รวมทั้งมีรสเค็มในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียมากกว่าชุดการทดลอง C000 ตั้งแต่วันที่ 6 - 28 และวันที่ 2 - 28 ของการเก็บรักษาตามลำดับ โดยในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีรสขมน้อยกว่าชุดการทดลอง C000 ตั้งแต่วันที่ 2 ส่วนเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียมีรสขมน้อยกว่าตั้งแต่วันที่ 6 ของการเก็บรักษา และในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีรสเปรี้ยวน้อยกว่าชุดการทดลอง C000 ตั้งแต่วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ส่วนเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียมีรสเปรี้ยวน้อยกว่าตั้งแต่วันที่ 6 ของการเก็บรักษา เนื่องจากกรดกลูตามิกที่ให้รสอร่อยและกรดอะมิโนอิสระ เช่น ไกลซีน และอาร์จินีนที่ให้รสหวานถูกทำลายด้วยกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์และเอนไซม์ภายในตัวของหอยแมลงภู่ทำให้รสชาติของเนื้อหอยแมลงภู่สุกในช่วงแรกเปลี่ยนแปลงไปเป็นรสเปรี้ยวที่เกิดจากกรดอะมิโนแอสพาร์ติก และรสขมเล็กน้อยจากกรดอะมิโนอาร์จินีน (สุแพรวพันธ์ โลหะลักษณาเดช และชุตินุช สุจริต, 2558; Aristoy & Toldrá, 2010; Fuentes et al., 2009) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Teerawut, Sangsriraung et al., (2016) ศึกษาเนื้อหอยนางรม (*Saccostrea cucullata*) รมควัน พบว่ารสชาติของเนื้อหอยนางรมรมควันที่มีเก็บรักษาแบบ MAP เกิดการเปลี่ยนแปลงลดลงช้ากว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ

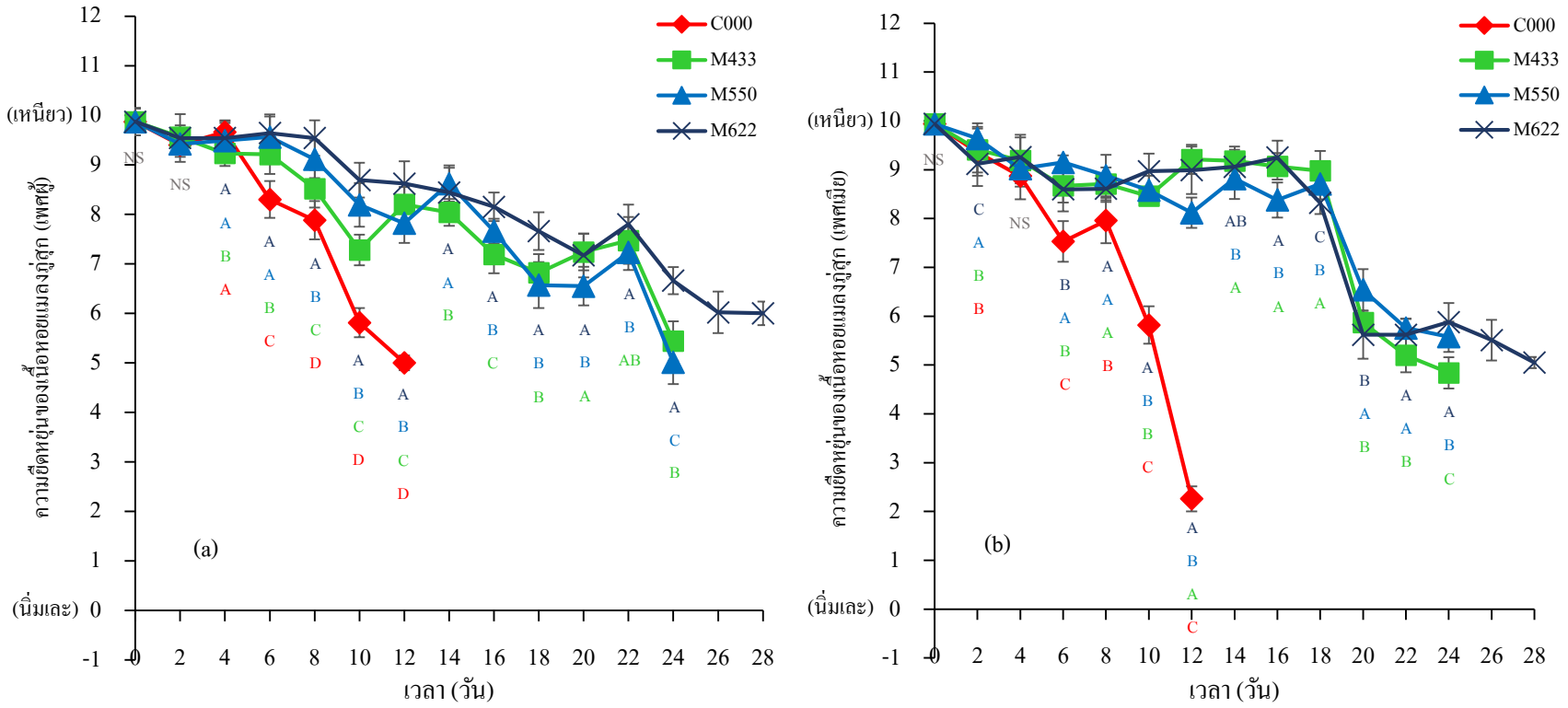
แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่แตกต่างกัน ได้แก่ M433, M550 และ M622 นั้น มีผลต่อรสอร่อย รสหวาน และรสเค็ม แต่ไม่มีผลต่อรสขมและรสเปรี้ยว โดยชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุด มีรสอร่อย รสหวาน และรสเค็มมากกว่า M433 และ M550 ในวันที่ 18 - 28 วันที่ 12 - 28 และวันที่ 6 - 28 ของการเก็บรักษา ตามลำดับ เนื่องจากสัดส่วนก๊าซ CO_2 ที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ M622 สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด โครงสร้างโปรตีนถูกทำลายช้ากว่าชุดการทดลองอื่น กรดอะมิโนจำเพาะที่ให้รสอร่อย รสหวาน และรสเค็มที่มักพบในในหอยแมลงภู่สุกคงอยู่ได้นาน ชุดการทดลอง M622 จึงมีรสอร่อย รสหวาน และรสเค็มมากกว่าชุดการทดลองอื่น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kostaki et al. (2009) ศึกษาการเก็บรักษาปลากะพง (*Dicentrarchus labrax*) สดภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ พบว่า M2 (60%CO_2: 30%N_2: 10%O_2) ที่มีปริมาณ CO_2 มากกว่า M1 (40%CO_2: 50%N_2: 10%O_2) สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงรสชาติได้ดีกว่า

5.5 เนื้อสัมผัส

5.5.1 ความยืดหยุ่น

ความยืดหยุ่นของเนื้อสัมผัสสามารถบ่งบอกได้ถึงการเน่าเสียที่เกิดขึ้นในสัตว์น้ำได้ ซึ่งเนื้อหอยแมลงภู่สุกที่มีคุณภาพดีมีเนื้อสัมผัสเหนียวกว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกที่เกิดการเน่าเสีย เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายจากเอนไซม์ภายในตัวของหอยแมลงภู่และกระบวนเน่าเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ส่งผลให้โครงสร้างโปรตีนที่ทำหน้าที่ในการยึดเหนี่ยวโมเลกุลของน้ำทำหน้าที่ได้น้อยลงและเกิดเป็นโมเลกุลของน้ำอิสระมากขึ้น ส่งผลให้เนื้อหอยแมลงภู่มีความแข็งแรงของโครงสร้างโปรตีนลดลง เนื้อหอยแมลงภู่สุกจึงมีลักษณะนิ่มเละขึ้น (จุฑา มุกดาสนิท และจีรวรรณ มณีโรจน์, 2558; สุมาลี เหลืองสกุล, 2554) จากผลการศึกษาความยืดหยุ่นของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน พบว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ทุกชุดการทดลองมีความเหนียวไม่แตกต่างกันในวันที่ 0 - 2 ของการเก็บรักษา แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้นตั้งแต่วันที่ 6 - 28 ของการเก็บรักษานั้น เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ในทุกชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ ได้แก่ M433, M550 และ M622 มีความเหนียวมากกว่าการบรรจุแบบบรรยากาศปกติในชุดการทดลอง C000 ส่วนความยืดหยุ่นของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียในทุกชุดการทดลองมีความเหนียวไม่แตกต่างกันในวันที่ 0 - 4 ของการเก็บรักษา แต่หลังจากวันที่ 4 เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียทุกชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ ทั้ง M433, M550 และ M622 มีความเหนียวมากกว่าชุดการทดลอง C000 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 4-26)

เมื่อเปรียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ พบว่าในชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วน CO_2 สูงที่สุดนั้น เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีความเหนียวมากกว่าชุดการทดลอง M433 และ M550 ตั้งแต่วันที่ 4 - 28 ส่วนเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียมีความเหนียวมากกว่าชุดการทดลอง M433 และ M550 ในวันที่ 10, 16 และ 24 - 28 ของการเก็บรักษา

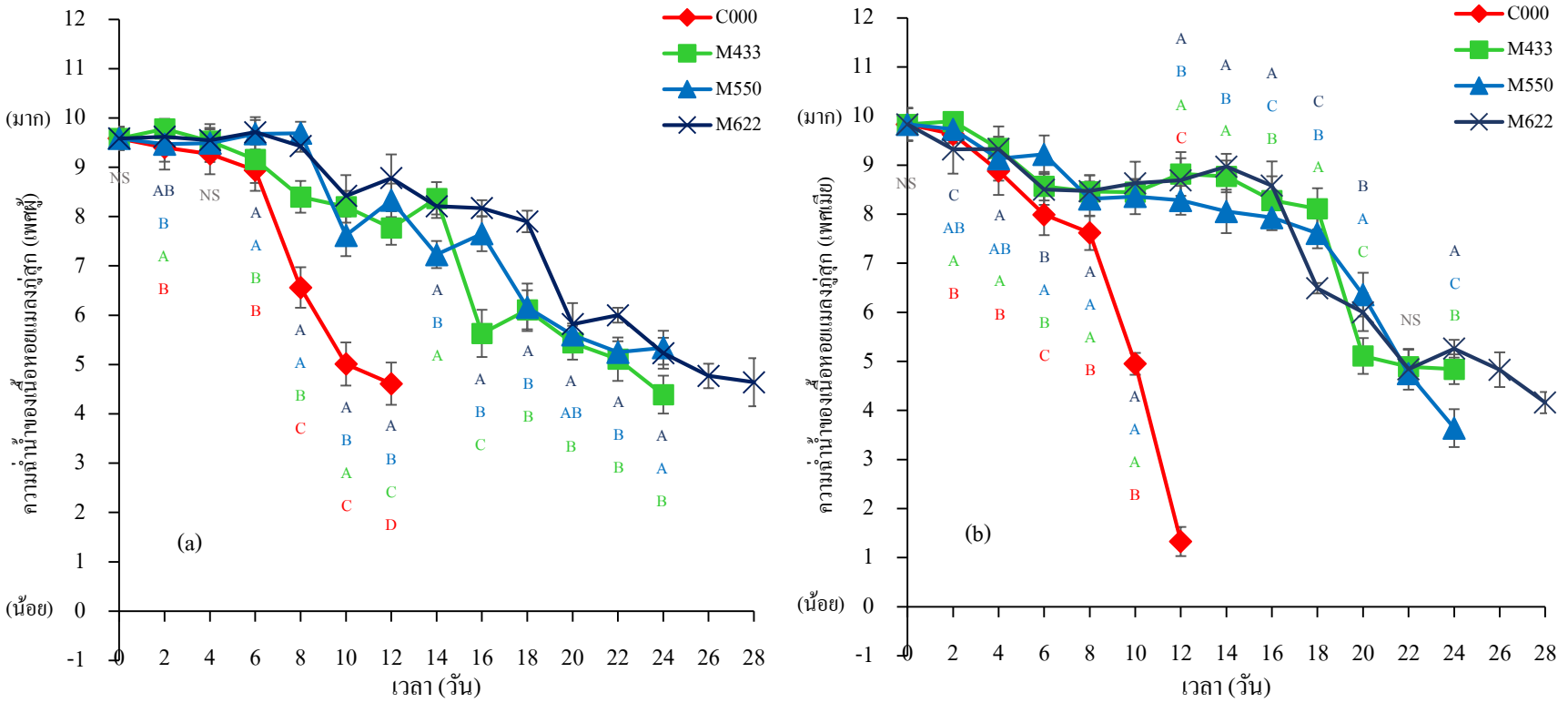


ภาพที่ 4-26 ความยืดหยุ่นของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.15 - 0.50; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.08 - 0.49)

5.5.2 ความฉ่ำน้ำ

ในสัตว์น้ำมีน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญ ซึ่งสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีปริมาณน้ำแตกต่างกันไป เมื่อเกิดการเน่าเสียกระบวนย่อยสลายจากเอนไซม์ภายในตัวของสัตว์น้ำและกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ จากจุลินทรีย์ส่งผลให้โครงสร้างโปรตีนอุ้มน้ำได้น้อยลงทำให้เนื้อสัตว์น้ำมีความฉ่ำน้ำลดลง (McMillin, 2008) จากการศึกษาความฉ่ำน้ำของหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน พบว่าในวันที่ 0 - 4 ของการเก็บรักษา เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ทุกชุดการทดลองมีความฉ่ำน้ำไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่วันที่ 4 - 28 ของการเก็บรักษา เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ทุกชุดการทดลองมีความฉ่ำน้ำแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ชุดการทดลอง C000 กับ M433 มีความฉ่ำน้ำไม่แตกต่างกันและในวันที่ 6 - 8 ของการเก็บรักษา ชุดการทดลอง M550 กับ M622 มีความฉ่ำน้ำไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่หลังจากวันที่ 8 จนถึงวันที่ 28 ที่เป็นวันสุดท้ายของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ในทุกชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ ได้แก่ M433, M550 และ M622 มีความฉ่ำน้ำมากกว่าการบรรจุแบบบรรยากาศปกติในชุดการทดลอง C000 ส่วนเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียทุกชุดการทดลองมีความฉ่ำน้ำไม่แตกต่างกันในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา โดยวันที่ 2 ของการเก็บรักษา เนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียชุดการทดลอง M622 มีความฉ่ำน้ำน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น แต่วันที่ 2 - 28 ของการเก็บรักษา ทุกชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ ได้แก่ M433, M550 และ M622 มีความฉ่ำน้ำมากกว่าการบรรจุแบบบรรยากาศปกติในชุดการทดลอง C000 เช่นเดียวกับเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (ภาพที่ 4-27)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ พบว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกในชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุด ในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีความฉ่ำน้ำมากกว่าชุดการทดลอง M433 และ M550 ตั้งแต่วันที่ 6 - 28 ของการเก็บรักษาและในเนื้อหอยแมลงภู่เพศเมียมีความฉ่ำน้ำมากกว่าชุดการทดลอง M433 และ M550 ในวันที่ 8 - 10, 14 - 16 และ 24 - 28 ของการเก็บรักษา



ภาพที่ 4-27 ความฉ่ำน้ำของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้ (a) และเพศเมีย (b) เคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน (C000; บรรยากาศปกติ, M433; 40%CO_2: 30%N_2: 30%O_2, M550; 50%CO_2: 50%N_2 และ M622; 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2) (SD เพศผู้ มีค่าระหว่าง 0.11 - 0.49; เพศเมีย มีค่าระหว่าง 0.11 - 0.50)

จากการศึกษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน พบว่าการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ ได้แก่ M433, M550 และ M622 มีผลต่อความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศ โดยวันที่ 6 - 28 ของการเก็บรักษานั้น เนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีความเหนียวมากกว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ C000 และวันที่ 4 - 28 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีความฉ่ำน้ำมากกว่า C000 เนื่องจากโปรตีนกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำมีแอกทินและไมโอซิน ทำหน้าที่ในการยืดหรือหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวและมีความสำคัญในการอุ้มน้ำ (จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, 2558) ในช่วงแรกที่เนื้อหอยแมลงภู่สุกยังไม่เกิดการเน่าเสียจากเอนไซม์ภายในตัวของหอยแมลงภู่และจุลินทรีย์ แอกทินและไมโอซินที่มีผลต่อความยืดหยุ่นยังไม่ถูกทำลาย เนื้อหอยแมลงภู่สุกจึงมีความเหนียวและความฉ่ำน้ำมาก แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น จุลินทรีย์จึงเริ่มปรับตัวให้เข้ากับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้เคลือบได้ดีขึ้น การเจริญเพิ่มจำนวนและผลิตเอนไซม์มาย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนมีมากขึ้น ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนเริ่มลดลง เนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่นจึงเริ่มมีลักษณะนิ่มเละ เป็นเมือก และมีความฉ่ำน้ำลดลง (สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, 2557) เช่นเดียวกับการศึกษากุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) สุกเคลือบน้ำมันออริกาโนของ Teerawut, Kwanon, et al. (2016) พบว่าการเก็บรักษากุ้งขาวสุกเคลือบน้ำมันออริกาโนภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสได้ดีกว่าบรรยากาศปกติ

ซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน พบว่าชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วน CO_2 สูงที่สุดนั้นมีความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มากกว่า M433 และ M550 ตั้งแต่วันที่ 6 - 28 ของการเก็บรักษา และมีผลต่อความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียมากกว่าชุดการทดลอง M433 และ M550 วันที่ 8 - 16 และ 22 - 28 ของการเก็บรักษา เนื่องจากสัดส่วนก๊าซ CO_2 ทำให้จุลินทรีย์บางกลุ่มไม่สามารถเจริญในบรรยากาศที่มี CO_2 สูงได้ (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550) การย่อยสลายของโครงสร้างโปรตีนด้วยเอนไซม์ที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้นจึงเกิดช้าลงตามไปด้วย การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสในชุดการทดลอง M622 จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงช้ากว่าชุดการทดลองอื่น เช่นเดียวกับงานวิจัยของสุแพรวพันธ์ โลหะลักษณาเดช และชุตินุช สุจริต (2558) ศึกษาเนื้อหอยตลับ (*Meretrix casta*) ลวกที่เก็บรักษาภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ พบว่าสภาวะ 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2 ภายในบรรจุภัณฑ์สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยตลับลวกได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

1. อภิปรายผล

1.1 คุณภาพทางจุลชีววิทยา

1.1.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

การศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกัน นาน 28 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเนื้อหอยแมลงภู่สุกทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน โดยจุลินทรีย์ทั่วไปที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียในสัตว์น้ำจำพวกหอย ได้แก่ กลุ่ม Pseudomonas, Achromobacter, Flavobacterium, Corynebacterium, Micrococcus (Fraser & Sumar, 1998)

อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง C000 กับชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP (M433, M550 และ M622) พบว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP ทุกชุดการทดลองมีจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า C000 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยชุดการทดลอง M622 มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยที่สุด เนื่องจาก M622 มีปริมาณ CO_2 สูงกว่าชุดการทดลองอื่น จุลินทรีย์ที่จำเป็นต้องใช้ O_2 ในการเจริญจึงไม่สามารถเจริญได้ ประกอบกับ CO_2 มีคุณสมบัติสามารถละลายน้ำและไขมันได้ดีจึงละลายและเปลี่ยนรูปเป็นกรดคาร์บอนิกทำให้ pH ภายในบรรจุภัณฑ์ลดลง จุลินทรีย์บางชนิดที่ไม่สามารถทนต่อสภาวะภายในบรรจุภัณฑ์ได้ถูกยับยั้ง เมื่อพิจารณาจากมาตรฐานคุณภาพด้านจุลินทรีย์สำหรับอาหารทะเลสุกที่จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่ควรมีค่าเกิน 6 log CFU/ g (อย., 2552) พบว่า M622 สามารถเก็บรักษาได้ไม่ต่ำกว่า 28 วัน รองลงมา คือ ชุดการทดลอง M550 และ M433 มีอายุการเก็บรักษา 24 วัน และชุดการทดลอง C000 ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ มีอายุการเก็บรักษาเพียง 22 วัน

1.1.2 จุลินทรีย์ก่อโรค

การศึกษาจุลินทรีย์ก่อโรค ได้แก่ *E. coli* และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย, *C. perfringens*, *S. aureus*, *Salmonella* spp. และ *B. cereus* วันที่ 0 ของการเก็บรักษา และ *V. parahaemolyticus* ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ผลการทดลอง คือ ไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์ดังกล่าวทั้งหมดในเนื้อหอยแมลงภู่สุกทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) เนื่องจากกระบวนการ

ต้มหอยใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ดังกล่าวได้ และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต ภาชนะบรรจุและการเก็บรักษาสะอาด ถูกสุขลักษณะทำให้ไม่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ดังกล่าวระหว่างกระบวนการผลิต

1.2 คุณภาพทางเคมี

1.2.1 ปริมาณด่างที่ระเหยได้ (TVB-N)

การศึกษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกันนาน 28 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื้อหอยแมลงภู่สุกทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) มีปริมาณ TVB-N เพิ่มขึ้น โดยชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP (M433, M550 และ M622) มีปริมาณ TVB-N น้อยกว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ (C000) เนื่องจากในสภาพบรรยากาศปกติมีปริมาณ O_2 ที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ กระบวนการย่อยสลายจากจุลินทรีย์จึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้โครงสร้างโปรตีนเสื่อมคุณภาพเกิดเป็นสารประกอบที่ระเหยได้มากขึ้น

อย่างไรก็ตามการเน่าเสียของอาหารส่วนใหญ่มักเกิดจากจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ O_2 ในการเจริญ ดังนั้นชุดการทดลอง M622 ที่มีปริมาณ CO_2 สูงที่สุดจึงสามารถยับยั้งจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้ดีที่สุด เมื่อการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มหลักถูกยับยั้งกระบวนการย่อยสลายโครงสร้างโปรตีน รวมทั้งสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนจึงเกิดขึ้นช้าตามไปด้วย ปริมาณ TVB-N ใน M622 จึงมีปริมาณต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ M550 และ M433 หากพิจารณาจากปริมาณ TVB-N ในสัตว์น้ำจำพวกหอยที่ควรมีปริมาณน้อยกว่า 35 mg/ 100g (EEC, 1995) ทำให้เนื้อหอยแมลงภู่สุกในชุดการทดลอง M622 มีอายุการเก็บรักษาไม่ต่ำกว่า 28 วัน รองลงมา คือ M550, M433 และ C000 โดยเก็บรักษาได้ 28, 26 และ 22 วัน ตามลำดับ

1.2.2 ปริมาณไตรเมทธิลเอมีน (TMA - N)

การศึกษาปริมาณ TMA-N ในของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกันนาน 28 วัน พบว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) มีปริมาณ TMA-N มากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาณ TVB-N ซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง C000 กับชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP (M433, M550 และ M622) พบว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP มีปริมาณ TMA-N ต่ำกว่าชุดการทดลอง C000 เนื่องจาก CO_2 มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ O_2ในการเจริญได้ดี เมื่อจุลินทรีย์ถูกยับยั้งอัตราการย่อยสลายสารประกอบ TMAO และเปลี่ยนรูปเป็น TMA-N ที่ทำให้เกิดกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเน่าจึงเกิดขึ้นช้าลงตามไปด้วย

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP พบว่าสัดส่วน CO_2 ในแต่ละชุดการทดลองที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณ TMA-N เนื่องจาก CO_2 มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ O_2 ได้ดีทำให้ชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุดสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด TMA-N ที่เกิดจากการสลายตัวของสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนโดยกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์จึงมีปริมาณน้อยลงตามไปด้วย

1.2.3 การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของโปรตีน

การศึกษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่แตกต่างกัน นาน 28 วัน พบว่าในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกทุกชุดการทดลองพบโปรตีน Myosin และ Actin มีปริมาณมากและลักษณะหนา แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจุลินทรีย์เข้าสู่ช่วง log phase สร้างเอนไซม์มาย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนเพื่อใช้ในการเจริญส่งผลให้โปรตีน Myosin ของทุกชุดการทดลองหายไปในวันที่ 2 - 28 ของการเก็บรักษา และโปรตีน Actin มีลักษณะบางลงและมีปริมาณน้อยลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา

อย่างไรก็ตามชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP (M433, M550 และ M622) มีโปรตีน Actin ที่หนากว่าชุดการทดลอง C000 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากการปรับสภาพบรรยากาศที่มีปริมาณ CO_2 ในบรรจุภัณฑ์สูงสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ O_2 ได้ เมื่อการเจริญของจุลินทรีย์ถูกยับยั้งกระบวนการย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนและการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของโปรตีนจึงถูกยับยั้งตามไปด้วย

1.3 คุณภาพทางกายภาพ

1.3.1 ค่าความเป็นกรดด่าง

การศึกษาค่าความเป็นกรดด่างของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกันนาน 28 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื้อหอยแมลงภู่สุกทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) มีค่าความเป็นกรดด่างเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากความเป็นกรดของกรดแอสคอร์บิกและประสิทธิภาพของสารประกอบโพลีฟีนอลที่เป็นองค์ประกอบหลักในสารสกัดจากชาเขียวเริ่มหมดไป จุลินทรีย์เริ่มเข้าสู่ช่วง log phase และย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนเพื่อใช้เป็นสารอาหารในการเจริญ สารประกอบไนโตรเจนต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง เช่น เอมีน TMA และแอมโมเนียมีมากขึ้นส่งผลให้ค่าความเป็นกรดด่างเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง C000 ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติกับชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP (M433, M550 และ M622) พบว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกในชุดการทดลอง C000 มีค่าความเป็นกรดด่างสูงกว่าชุดการทดลองที่มี

การเก็บรักษาแบบ MAP เนื่องจากกระบวน autolysis และสภาวะภายในบรรจุภัณฑ์เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์การเกิดสารประกอบที่มีคุณสมบัติเป็นด่างเพิ่มมากขึ้น

โดยเนื้อหอยแมลงภู่สุกในชุดการทดลอง M622 มีค่าความเป็นด่างน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น เนื่องจาก CO_2 สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ใช้ O_2 ได้ดี อีกทั้ง CO_2 ยังมีคุณสมบัติสามารถละลายน้ำและไขมันได้ดี เมื่อ CO_2 ละลายน้ำและเปลี่ยนรูปเป็นกรดคาร์บอนิก จุลินทรีย์ที่ไม่สามารถทนต่อสภาวะที่มี CO_2 และความเป็นกรดสูงจึงไม่สามารถเจริญได้ทำให้การย่อยสลายโปรตีนแล้วได้เป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติเป็นด่างเกิดขึ้นน้อยลง

1.3.2 ค่าสี (L*, a*, b*)

การศึกษาค่า L*, a* และ b* ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกันนาน 28 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่า L*, a* และ b* ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศในทุกชุดการทดลอง (C000, M433, M550 และ M622) มีค่าสีลดลง เนื่องจากกระบวนย่อยสลายจากเอนไซม์และกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์มีผลต่อการเสื่อมคุณภาพของโครงสร้างโปรตีนทำให้สารประกอบแคโรทีนอยด์ที่มีในผิวและกล้ามเนื้อของหอยแมลงภู่สุกเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อหอยแมลงภู่สุกจึงมีสีน้ำตาลเข้มและคล้ำขึ้น โดยชุดการทดลอง C000 มีค่า L*, a* และ b* น้อยกว่าชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียภายในผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มที่ใช้ O_2 ในการเจริญ ชุดการทดลอง C000 ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติจึงมีอัตราการเจริญและย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์สูงกว่าชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP

เมื่อเปรียบเทียบค่า L*, a* และ b* ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศในชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP (M433, M550 และ M622) พบว่าชุดการทดลอง M622 มีค่า L*, a* และ b* สูงที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจาก CO_2 ภายในบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ O_2 ทำให้การย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ถูกยับยั้งตามไปด้วย เมื่อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกยับยั้งกระบวนการเน่าเสียจากจุลินทรีย์จึงถูกยับยั้ง การเปลี่ยนแปลงค่า L*, a* และ b* จึงเกิดขึ้นช้าลงตามไปด้วย

1.3.3 ค่าแรงเฉือน

การศึกษาค่าแรงเฉือนของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกันนาน 28 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าแรงเฉือนของเนื้อหอยแมลงภู่ทั้งเพศผู้และเพศเมียมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าแรงเฉือนลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์บางกลุ่มที่ทนต่อสภาพแวดล้อมภายในบรรจุภัณฑ์ได้ เริ่มเจริญเข้าสู่ช่วง log phase ปลดปล่อยเอนไซม์มาย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนเพื่อนำไปใช้เป็นสารอาหารทำให้โครงสร้างโปรตีนเสื่อมคุณภาพ อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง C000 กับชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP พบว่าค่าแรงเฉือนของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศในชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP มีค่าแรงเฉือนสูงกว่าชุดการทดลอง C000 เพราะ CO_2 ภายในบรรจุภัณฑ์สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ O_2 ในเจริญได้ดี เมื่อจุลินทรีย์กลุ่มที่เป็นสาเหตุหลักในการเน่าเสียโดยกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ถูกยับยั้ง โครงสร้างต่าง ๆ ภายในตัวของสัตว์น้ำจึงถูกชะลอ เนื้อสัมผัสของหอยแมลงภู่สุกจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงช้าลง ทำให้ค่าแรงเฉือนที่ตรวจวัดได้เกิดการเปลี่ยนแปลงช้าลงตามไปด้วย โดย M622 มีค่าแรงเฉือนสูงที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา รองลงมา คือ M550 และ M433 ตามลำดับ เนื่องจาก M622 มีปริมาณ CO_2 สูงกว่าชุดการทดลองอื่น M633 จึงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด กล้ามเนื้อและโครงสร้างต่าง ๆ ของหอยแมลงภู่สุกจึงถูกย่อยสลายช้าลง ส่งผลให้ M622 มีค่าแรงเฉือนสูงที่สุด

1.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

1.4.1 ลักษณะปรากฏ

การศึกษาลักษณะปรากฏของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และเพศเมียเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่างกัน นาน 28 วัน พบว่าเนื้อหอยแมลงภู่มีสีคล้ำมากขึ้นและมีความเป็นเมือกมากขึ้น แต่มีความมันเงาและความอวบของลักษณะผิวภายนอกน้อยลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากจุลินทรีย์บางกลุ่มที่สามารถทนต่อสภาวะความเข้มข้นของสารละลายสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ใช้เคลือบได้นั้น ผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายเนื้อหอยแมลงภู่สุกและนำสารอาหารที่ได้มาใช้ในการเจริญทำให้โครงสร้างโปรตีนเสื่อมสภาพ รงควัตถุที่จับอยู่กับโครงสร้างโปรตีนถูกทำลายทำให้สีขาวครีมของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้และสีส้มของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียมีสีน้ำตาลคล้ำ เกิดเมือก

ที่ผิวมากขึ้น และมีความมันเงาที่ผิวลดลง อีกทั้งยังมีลักษณะผิวภายนอกเหี่ยวลง เนื่องจากโครงสร้างโปรตีนเสื่อมสภาพจากกระบวนการเน่าเสียด้วยเอนไซม์ภายในตัวของหอยแมลงภู่เอง และกระบวนการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ทำให้โครงสร้างโปรตีนยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของน้ำได้น้อยลง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลดลง ลักษณะผิวภายนอกจึงเหี่ยวลงตามไปด้วย (จุฑา มุกดาสนิท และจีรวรรณ มณีโรจน์, 2558)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง C000 กับชุดการทดลองที่การเก็บรักษาแบบ MAP พบว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกในชุดการทดลองที่มีการเก็บรักษาแบบ MAP (M433, M550 และ M622) มีสีคล้ำและมีเมือกช้า รวมทั้งมีความมันเงามากกว่าชุดการทดลอง C000 และชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุดมีผลช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ (สี ความมันเงา ความเป็นเมือก และลักษณะผิวภายนอก) ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกได้ดีที่สุด ($p \leq 0.05$) เนื่องจากก๊าซ CO_2 มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่จำเป็นต้องใช้ O_2 ในการเจริญได้ กระบวนการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ในชุดการทดลอง M622 จึงเกิดช้ากว่าชุดการทดลองอื่น

1.4.2 กลิ่น

การศึกษากลิ่นของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน นาน 28 วัน พบว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นหอยต้ม กลิ่นชาเขียว กลิ่นน้ำทะเล และกลิ่นเหม็นเปรี้ยวของเนื้อหอยไม่แตกต่างกัน โดยมีกลิ่นหอยต้มและกลิ่นน้ำทะเลจางลง มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเข้มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา และมีกลิ่นชาเขียวเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเนื้อหอยมีคุณภาพดีต้องมีกลิ่นหอยต้มและกลิ่นน้ำทะเลเข้มตามธรรมชาติที่เกิดจากสารประกอบในกลุ่ม Methyl esters เป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะในสัตว์น้ำจำพวกหอย (Yasuhara, 1987) แต่เมื่อเกิดการเน่าเสียโครงสร้างโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนถูกย่อยสลายจากกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ เนื้อหอยเกิดสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด เช่น แอมโมเนีย เอมีน ไตรเมทิลเอมีน และไดเมทิลเอมีน (นิรชา วงษ์จินดา, 2547; สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, 2557) ทำให้มีกลิ่นหอยต้มและกลิ่นน้ำทะเลจางลงซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ปริมาณ TVB-N ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกที่ตรวจวัด พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นปริมาณ TVB-N มีปริมาณมากขึ้นส่งผลให้เนื้อหอยมีกลิ่นไม่พึงประสงค์มากขึ้นตามไปด้วย

ส่วนกลิ่นเหม็นเปรี้ยวที่เข้มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาเกิดจากจุลินทรีย์ที่เจริญได้บางชนิดสามารถเจริญสร้างกรดแลคติกขึ้น (Francoise, 2010) อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง C000 กับชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP (M433, M550 และ M622) พบว่าชุดการเก็บรักษาแบบ MAP มีกลิ่นหอยต้มและกลิ่นน้ำทะเลคงอยู่นานกว่า C000 และไม่มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเกิดขึ้น

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน พบว่าชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุดมีผลทำให้กลิ่นหอยต้มคงอยู่ได้นานกว่าชุดการทดลอง M433 และ M550 ($p \leq 0.05$) แต่การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศทั้ง 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ M433, M550 และ M622 มีกลิ่นน้ำทะเล กลิ่นชาเขียว และกลิ่นเหม็นเปรี้ยวไม่แตกต่างกันมากนัก เพราะปริมาณ CO_2 ในช่วง 40 - 60 % เป็นปริมาณที่ควรใช้ในการเก็บรักษาสัตว์น้ำจำพวกหอย (Soccol & Oetterer, 2003) การใช้ปริมาณ CO_2 ในช่วงดังกล่าวจึงสามารถชะลอการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์และกลิ่นเหม็นเปรี้ยวได้

1.4.3 กลิ่นรส

การศึกษากลิ่นรสของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน นาน 28 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสหอมหวานไม่แตกต่างกัน โดยมีกลิ่นรสหอมหวานน้อยลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น ซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง C000 กับชุดการทดลองที่เก็บรักษาแบบ MAP (M433, M550 และ M622) พบว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกในชุดการทดลอง C000 มีกลิ่นรสหอมหวานจางลงเร็วกว่าชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบ MAP (M433, M550 และ M622) เนื่องจากชุดการทดลอง C000 ไม่มีการปรับสัดส่วนก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ จุลินทรีย์ที่ทนต่อสภาวะความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้เคลือบได้จึงเจริญและผลิตเอนไซม์มาย่อยโครงสร้างโปรตีนได้มากกว่าชุดการทดลองอื่น

อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบ MAP ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศ พบว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกในชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุดมีกลิ่นรสหอมหวานมากกว่า M433 และ M550 ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก CO_2 เป็นก๊าซที่มีผลโดยตรงต่อจุลินทรีย์แบบเลือกเฉพาะ อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเปลี่ยนรูปเป็นกรดคาร์บอนิกได้เมื่อซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ส่งผลให้กระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์หยุดทำงาน การเจริญของจุลินทรีย์จึงถูกยับยั้งและมีช่วง lag phase นานขึ้น (สวามินี ธีระวุฒิ และคณะ, 2557)

เมื่อการเจริญของจุลินทรีย์ในชุดการทดลอง M622 ช้ากว่าชุดการทดลองอื่นจึงมีผลให้การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสหอมหวานเกิดช้าลงตามไปด้วย

1.4.4 รสชาติ

การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศมีผลต่อรสอร่อย รสหวาน รสขม รสเค็ม และรสเปรี้ยวของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบสารละลายสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก ทั้งสองเพศไม่แตกต่างกัน โดยการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ M433, M550 และ M622 เนื้อหอยแมลงภู่สุกมีรสอร่อยและรสหวานมากกว่า C000 ในวันที่ 4 - 28 ของการเก็บรักษา มีรสเค็มรวมถึงรสเปรี้ยวน้อยกว่าชุดการทดลอง C000 และโดยในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีรสขมน้อยกว่าชุดการทดลอง C000 ในวันที่ 2 - 28 ส่วนเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียมีรสขมน้อยกว่าในวันที่ 6 - 28 และในเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศผู้มีรสเปรี้ยวน้อยกว่าชุดการทดลอง C000 ในวันที่ 10 - 28 ส่วนเนื้อหอยแมลงภู่สุกเพศเมียมีรสเปรี้ยวน้อยกว่าในวันที่ 6 - 28 ของการเก็บรักษา เนื่องจากกรดกลูตามิกที่ให้รสอร่อย และกรดอะมิโนอิสระ เช่น ไกลซีน และอาร์จินีนที่ให้รสหวานถูกเอนไซม์จากจุลินทรีย์และเอนไซม์ภายในตัวของหอยแมลงภู่ทำให้รสชาติของเนื้อหอยแมลงภู่สุกในช่วงแรกเปลี่ยนแปลงไปเป็นรสเปรี้ยวที่เกิดจากกรดอะมิโนแอสพาร์ติก และรสขมเล็กน้อยจากกรดอะมิโนอาร์จินีน (สุแพรวพันธ์ โลหะลักษณาเดช และชุตินุช สุจริต, 2558; Aristoy & Toldrá, 2010; Fuentes et al., 2009)

แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศที่แตกต่างกันใน M433, M550 และ M622 มีผลต่อรสอร่อย รสหวาน และรสเค็ม แต่ไม่มีผลต่อรสขมและรสเปรี้ยว โดยในชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วนก๊าซ CO_2 สูงที่สุด มีรสอร่อย รสหวาน และรสเค็มมากกว่า M433 และ M550 ในวันที่ 18 - 28 วันที่ 12 - 28 และวันที่ 6 - 28 ของการเก็บรักษา ตามลำดับ เนื่องจากสัดส่วนก๊าซ CO_2 ที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ M622 สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด โครงสร้างโปรตีนจึงถูกกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทำลายได้ช้ากว่าชุดการทดลองอื่น กรดอะมิโนจำเพาะที่ให้รสอร่อย รสหวาน และรสเค็มที่มักพบในหอยแมลงภู่สุกคงอยู่ได้นาน ชุดการทดลอง M622 จึงมีรสอร่อย รสหวาน และรสเค็มมากกว่าชุดการทดลองอื่น

1.4.5 เนื้อสัมผัส

การศึกษาเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกภายใต้การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศแตกต่างกัน นาน 28 วัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ ได้แก่ M433, M550 และ M622 มีผลต่อความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกัน คือ ความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำลดลง

ตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง C000 กับชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบ MAP พบว่าเนื้อหอยแมลงภู่สุกในชุดการทดลองที่มีการบรรจุแบบ MAP มีความเหนียวและความฉ่ำน้ำมากกว่าชุดการทดลอง C000 เนื่องจากสภาพบรรยากาศภายใน C000 ส่งเสริมให้จุลินทรีย์บางชนิดที่ปรับตัวเข้ากับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้เคลือบได้สามารถเจริญเข้าสู่ช่วง log phase และผลิตเอนไซม์มาย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนลดลง เนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่นน้อยลง มีลักษณะนิ่มเละมากขึ้น เกิดเมือกที่ผิว และมีความฉ่ำน้ำลดลง โดยเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งเพศผู้และเพศเมียของชุดการทดลอง M622 ที่มีสัดส่วน CO_2 สูงที่สุดนั้น มีความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำมากกว่าชุดการทดลอง M433 และ M550 เนื่องจากสัดส่วนก๊าซ CO_2 มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์แบบเลือกเฉพาะทำให้จุลินทรีย์บางกลุ่มไม่สามารถเจริญในบรรยากาศที่มี CO_2 สูงได้ (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550) เมื่อจุลินทรีย์บางกลุ่มถูกยับยั้งการย่อยสลายของโครงสร้างโปรตีนด้วยเอนไซม์ที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้นจึงเกิดช้าลงตามไปด้วย ความยืดหยุ่นและความฉ่ำน้ำของเนื้อหอยในชุดการทดลอง M622 จึงมีมากกว่าชุดการทดลองอื่น

2. สรุปผล

การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศสามารถยืดอายุการเก็บรักษาและชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยา (จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด) คุณภาพทางเคมี (TVB-N, TMA-N และการเปลี่ยนแปลงโมลเลกุลโปรตีน) คุณภาพทางกายภาพ (pH, สี L* a* b* และแรงเฉือน) และคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ลักษณะปรากฏ, กลิ่น, กลิ่นรส, รสชาติ และเนื้อสัมผัส) ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกทั้งสองเพศได้ รวมทั้งประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกนั้นมีมากขึ้นตามปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยชุดการทดลองที่บรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2 มีประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของเนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด เมื่อพิจารณาจากมาตรฐานคุณภาพด้านจุลินทรีย์สำหรับอาหารทะเลสุกจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่ควรมีค่าเกิน 6 log CFU/ g (อย., 2552) มาตรฐานของปริมาณ TVB-N ในสัตว์น้ำจำพวกหอยที่ควรมีปริมาณน้อยกว่า 35 mg/ 100g (EEC, 1995) และการยอมรับของผู้บริโภคในลักษณะด้านกลิ่นนั้น การบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ 60%CO_2: 20%N_2: 20%O_2 ทำให้เนื้อหอยแมลงภู่สุกเคลือบด้วยสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิกเก็บได้ไม่ต่ำกว่า 28 วัน

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ควรเพิ่มชุดการทดลองที่ไม่มีการเคลือบและเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติเพื่อเปรียบเทียบระหว่างหอยแมลงภู่สุกกับประสิทธิภาพของสารสกัดจากสารสกัดจากชาเขียวและกรดแอสคอร์บิก

3.2 ควรเพิ่มการวัดปริมาณก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ของแต่ละชุดการทดลองเพื่อสังเกตปริมาณคงเหลือของก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการชะลอการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3.3 ควรเพิ่มการทดสอบด้านการยอมรับของผู้บริโภคในการวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นข้อมูลร่วมในการตัดสินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

บรรณานุกรม

กรมประมง. (2536). *คู่มือการเลี้ยงหอยแมลงภู่*. กรุงเทพฯ: กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง.

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2553). *เกณฑ์คุณภาพของจุลชีววิทยาของอาหาร และภาชนะบรรจุ-อาหาร*. เข้าถึงได้จาก http://dmsc2.dmsc.moph.go.th/webroot/BQSF/File/VARITY/dmscguide1.pdf

กองโภชนาการ. (2544). *ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการอาหารไทย*. กรมอนามัย นนทบุรี: องค์การทหารผ่านศึก.

คเชนทร เฉลิมวัฒน์. (2544). *การเพาะเลี้ยงหอย*. กรุงเทพฯ: รั้วเขียว.

งามทิพย์ ภู่วโรดม. (2550). *การบรรจุอาหาร*. กรุงเทพฯ: เอส.พี.เอ็ม.

จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร. (2558). องค์ประกอบของสัตว์น้ำ: โปรตีน. ใน ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บรรณาธิการ), *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง* (หน้า 25-39). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุฑา มุกดาสนิท และจีรวรรณ มณีโรจน์. (2558). องค์ประกอบของสัตว์น้ำ: น้ำ. ใน ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บรรณาธิการ), *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง* (หน้า 17-24). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

ชาตรี เอี้ยพิณ และภาราได แจ่มจำรูญ. (2550). ผลอุณหภูมิและเวลาต่อสมบัติการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของหัวหอมใหญ่อบแห้ง. *Agricultural Science Journal*, *38*(6), 139-142.

ณัฐวัฒน์ เอกธีรเศรษฐ์. (2550). *DHA EPA*. เข้าถึงได้จาก http://www.zegrain.com/view-topic.asp?ID=1579

เดลินิวส์. (2560). *คอเลสเตอรอล*. เข้าถึงได้จาก https://www.dailynews.co.th/article/279992

นิชนันท์ เธียรพัฒนะวงศ์ พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ และมณฑิรา นพรัตน์. (2551). การยืดอายุการเก็บหอยแครง (*Anadara granosa*) ลวกโดยใช้สภาพบรรยากาศดัดแปร. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46 : สาขาอุตสาหกรรมเกษตร* (หน้า 414-421). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

นิสากร ศรีธัญรัตน์ และสุภวรรณ ถาวรชินสมบัติ. (2554). สมบัติของเอนไซม์โปรตีเนสในเนื้อปลาโมงบด. ใน *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 12* (หน้า 500-507). ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เนตรนรินทร์ ขุนสูงเนิน. (2546). *การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อปลานิลซึ่งเก็บรักษาภายใต้การปรับเปลี่ยนบรรยากาศ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยี-อาหาร, สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

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

บุษกร อุตรภิชาติ. (2555). *จุลชีววิทยาทางอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 5). สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ.

เปรมศิริ โรจน์สัจจะกุล. (2560). *Browning Reactions*. เข้าถึงได้จาก http://kaelearning.mahidol.ac.th/moodledata_/19/browning_reactions.pdf

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

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2553 ข). *หอยแมลงภู่*. เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1397/greenmussel%E0%B8%AB%E0%B8%AD%E0%B8%A2%E0%B9%81%E0%B8%A1%E0%B8%A5%E0%B8%87%E0%B8%A0%E0%B8%B9%E0%B9%88

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2556). *โครงสร้างของกาเฟอีน*. เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4088/caffeine%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B9%81%E0%B8%9F%E0%B8%AD%E0%B8%B5%E0%B8%99

ไพโรจน์ วิริยจารี. (2545). *การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)*. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพรวัลย์ วงศ์ดี. (2555). *องค์ประกอบของอากาศ*. เข้าถึงได้จาก https://www.gotoknow.org/posts/436848

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2547). *อนุกรมวิธานของหอยแมลงภู่*. เข้าถึงได้จาก http://www.ku.ac.th/e-magazine/april47/agri/shell.html

ราณี สุรกาญจน์กุล. (2554). *การวิเคราะห์อาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัย-รามคำแหง.

วราวุฒิ วันริโก. (2555). *ความพึงพอใจของเกษตรกรผู้เลี้ยงหอยแมลงภู่ต่อการปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดีสำหรับฟาร์มเลี้ยงหอยแมลงภู่ในจังหวัดชลบุรี*. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

วิชชญา นะราแก้ว. (2548). *การยืดอายุการเก็บหอยเป๋าฮื้อ Haliotis asinina Linnaeus โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วีรานุช หลาง. (2555). *คู่มือตรวจวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาทางอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

ศูนย์สารสนเทศกรมประมง. (2557). *สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2555*. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สถาบันอาหาร. (2542). *ข้อบังคับทางด้านเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร*. เข้าถึงได้จาก https://www.facebook.com/ajax/messaging/attachment.php?attach_id=35ebb1a107510dd3ed7bb1456cddbfa2&mid=mid.1378390150589%3Aa180ce8a0c7bae3721&hash=AQByyCSzymIUyCAf

สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน. (2555). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์หอยนางรมรมควัน: การปรับสภาวะบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์*. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยทุนอุดหนุนงบประมาณแผ่นดิน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2555. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา

สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน. (2557). *การยืดอายุการเก็บรักษาหอยแมลงภู่สุกด้วยการเคลือบอัลจิเนต ผสมสารกันหืนร่วมกับการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ: ผลของสารละลายอัลจิเนตผสมสารกันหืน*. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยทุนอุดหนุนงบประมาณแผ่นดิน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2557. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา

สวามินี ธีระวุฒิ, ปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน และรัชดาภรณ์ อาจพงษ์. (2559). ชาเขียวและวิตามินซีกับการชะลอการเสื่อมคุณภาพของเนื้อหอยแมลงภู่สุก: คุณภาพทางเคมีและจุลชีววิทยา. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, *21*(2), 1-16.

สวามินี ธีระวุฒิ, ปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน, อรัชพร บุญสัน และพรพิพัฒน์ เล็กสิงโต. (2560). ผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่อลักษณะทางกายภาพและจุลชีววิทยาของกุ้งขาวสุกเคลือบสารละลายชาเขียวและโซเดียมแอสคอร์เบต. *แก่นเกษตร*, *45*(พิเศษ1), 921-928.

สวามินี ธีระวุฒิ, รัตนาภรณ์ พิมพ์แน่น และโสภาวดี เมืองฮาม. (2557). ผลของการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศต่อคุณภาพทางกายภาพและจุลชีววิทยาของหอยนางรมสดแกะเปลือก. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, *42*(3), 551-556.

สุแพรวพันธ์ โลหะลักษณาเดช และชุตินุช สุจริต. (2558). การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อหอยตลับลวกที่เก็บรักษาใน สภาวะดัดแปรบรรยากาศ. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา "การวิจัยเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน"* (หน้า 1287-1293). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

สุมณฑา วัฒนสินธุ์. (2545). *จุลชีววิทยาทางอาหาร*. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

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

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

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.). (2552). *คู่มือปฏิบัติตามประกาศ กระทรวงสาธารณสุข. มาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค*. เข้าถึงได้จาก http://newsser.fda.moph.go.th/food/file/BenefitTrader/BenefitLaw/Manual_Of_Law03P313%28Update_Oct9_2009%29.pdf

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2550). *หอยแมลงภู่*. เข้าถึงได้จาก http://www.acfs.go.th/standard/download/std_sea_mussel.pdf

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

เอิร์ล มินเดลล์. (2554). *วิตามินไบเบิล* (ธิดากานต์ รัตนบรรณางกูร, แปล). กรุงเทพฯ: อมรินทร์สุขภาพ.

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.

Aristoy, M. C., & Toldrá, F. (2010). Chapter 14: Essential Amino Acids In L.M.L. Nollet, & F. Toldrá (Eds.), *Handbook of seafood and seafood products analysis* (pp. 287- 307). Boca Raton, Florida, USA: Taylor & Francis Group.

Arvanitoyannis, I. S., Vasiliki, K., Bouletis, A. D., & Papaloucas, C. (2011). Study of changes in physicochemical and microbiological characteristics of shrimps (*Melicertus kerathurus*) stored under modified atmosphere packaging. *Anaerobe*, *17*, 292-294.

Bank, H., Neckelson, R., & Fine, G. (1980). Shelf - life studies on CO_2 packaged fin fish from the gulf of Mexico. *J.Food Sci.*, *45*, 157-162.

Caglak, E., Cakli, S., & Kilnic, B. (2008). Microbiological, chemical and sensory assessment of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) stored under modified atmosphere packaging. *European Food Research and Technology*, *226*, 1293-1299.

Chamanara, V., Shabanpour, B., Gorgin, S., & Khomeiri, M. (2012). An investigation on characteristics of rainbow trout coated using chitosan assisted with thyme essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, *50*, 540–544.

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.

EEC. (1995). Total volatile basic nitrogen (TVB-N) limit values for certain categories of fishery products and specifying the analysis methods to be used. *Official Journal of the European Communities L*, *97*, 84-87.

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

Eymard, S., Baron, C. P., & 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.

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

Fagan, J. D., Gormley, T. R., & Mhuircheartaigh, M. M. U. (2004). Effect of modified atmosphere packaging with freeze-chilling on some quality parameters of raw whiting, mackerel and salmon portions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *5*, 205-214.

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

Francoise, L. (2010). Occurrence and role of lactic acid bacteria in seafood products. *Food Microbiology, 27*(6), 698-709. doi:10.1016/j.fm.2010.05.016

Fraser, O. P., & Sumar, S. (1998). Compositon changes and spoilage fish (part II) microbiological induced deterioration. *Nutrition & Food Science*, *6*(3), 325-329.

Fuentes, A., Fernández-Segovia, I., Escriche, I., & Serra, J. A. (2009). Comparison of physico-chemical parameters and composition of mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk.) from different Spanish origins. *Food Chemistry, 112*(2), 295-302. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.05.064

Goulas, A. E., & Kontominas, M. G. (2007). Combined effect of light salting, modified atmosphere packaging and oregano essential oil on the shelf - life of sea bream (*Sparus aurata*): Biochemical and sensory attributes. *Journal of Food Chemistry, 100*(1), 287-296.

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

He, Y., Huang, H., Li, L., Yang, X., Hao, S., Chen, S., & Deng, J. (2018). The effects of modified atmosphere packaging and enzyme inhibitors on protein oxidation of tilapia muscle during iced storage. *LWT - Food Science and Technology*, *87*, 186-193.

Juneja, V. K., & Majka, W. M. (1995). Outgrowth of *Clostridium perfringens* spores in cook-in-bag beef products. *Journal of food safety*, *15*(1), 21-34.

Juneja, V. K., Snyder, O. P., & Cygnarawicz, M. (1994). Influence of cooling rate on outgrowth of *Clostridium perfringens* spores in cooked ground beef. *Journal of Food Protection*, *57*(12), 1063-1067. doi:org/10.4315/0362-028X-57.12.1063

Juneja, V. K., Valenzuela-Melendres, M., Heperkan, D., Bautista, D., Anderson, D., Hwang, C., AidaPeña-Ramos, A., Camou, J. P., & Torrentera-Olivera, N. (2016). Development of a predictive model for *Salmonella* spp. reduction in meat jerky product with temperature, potassium sorbate, pH, and water activity as controlling factors. *International Journal of Food Microbiology*, *236*, 1-8.

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.

Konica Minolta. (2016). *Color differences*. Retrieved from http://sensing.konicaminolta.us/2014/04/identifying-color-differences-using-l-a-b-or-l-c-h-coordinates/

Kostaki, M., Giatrakou, V., Savvaidis, I. N., & Kontominas, M. G. (2009). Combined effect of MAP and thyme essential oil on the microbiological, chemical and sensory attributes of organically aquacultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets. *Food Microbiology*, *26*, 475-482.

Li, T., Hu, W., Li, J., Zhang, X., Zhu, J., & Li, X. (2012). 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.

McMillin, K. W. (2008). Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Science*, *80*(1), 43-65.

Niamnuy, C., Devahastin, S., & Soponronnarit, S. (2007). Quality changes of shrimp during boiling in salt solution. *Journal of food science*, *72*, 289-297.

Nirmal, N. P., & Benjakul, S. (2011 a). 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.

Nirmal, N. P., & Benjakul, S. (2011 b). 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.

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.

Orangeinnovation. (2015). *Modified Atmosphere Packaging (MAP) การบรรจุแบบปรับบรรยากาศ*. Retrieved from http://www.orangeth.com/GasArticles/Modified-Atmosphere-Packaging.html

Paik, H. D., Kim, H. J., Nam, K. J., Kim, C. J., Lee, S. E., & Lee, S. D. (2006). Effect of nisin on the storage of sous vide processed Korean seasoned beef. *Food Control*, *17*, 994-1000.

Pangborn, R. M. (1967). Use and misuse of sensory measurement. *Food Quality*, *15*, 7-12.

Qian, Y. F., Xie, J., Yang, S. P., & Wu, W. H. (2013). Study of the quality changes and myofibrillar proteins of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under modified atmosphere packaging with varying CO_2 levels. *European Food Research and Technology*, *236*(4), 629-635.

Qian, Y. F., Xie, J., Yang, S. P., Huang, S., Wu, W. H., & Li, L. (2015). Inhibitory effect of a quercetin-based soaking formulation and modified atmospheric packaging (MAP) on muscle degradation of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *LWT - Food Science and Technology*, *63*, 1339-1346.

Scheinberg, J. A, Svoboda, A. L., & Cutter, C. N. (2014). High-pressure processing and boiling water treatments for reducing *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp., and *Staphylococcus aureus* during beef jerky processing. *Food Control*, *39*, 105-110.

Soccal, M. C. H., & Oetterer, M. (2003). Use of modified atmosphere in seafood preservation. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *46*(4), 569-580.

Stone, H., & Sidel, J. L. (1978). Computing exact probabilities in sensory discrimination tests. *Food Sci*, *43*, 1028-1029.

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.

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.

Teerawut, S., Kwanon, P., Boonma, N., & Pasripat, N. (2016). Effect of modified atmosphere packaging on physical and sensory properties of cooked white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) coated with alginate-based oregano essential oil. In *Proceedings of the Burapha University International Conference 2016* (pp. 251-258). Chonburi: Burapha University.

Teerawut, S., Sangsriraung, K., & Kwan-on, P. (2016). Effect of modified atmosphere packaging on the physical and sensory properties of smoked oyster (*Saccostrea cucullata*) during refrigerated storage. *NU. International Journal of Science*, *13*(1), 26-36.

Weber, K., & Osborn, M. (1969) The reliability of molecular weight determinations by dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. *The Journal of Biological Chemistry*, *244*(16), 4406-4412.

Xie, J., Sun, X. H., Pan, Y. J., & Zhao, Y. (2012). Physicochemical properties and bactericidal activities of acidic electrolyzed water used or stored at different temperatures on shrimp. *Food Research International*, *47*, 331-336.

Yasuhara, A. (1987). Comparison of volatile components between fresh and rotten mussels by gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography*, *409*, 251–258. doi: 10.1016/S0021-9673(01)86801-1

Young, H., Anang D. M., & Tiwari, B. K. (2014). Shelf life and textural properties of cooked-chilled black tiger prawns (*Penaeus monodon*) stored in vacuum pack or modified atmospheric packaging at 4 or 20 °C. *Food Packaging and Shelf Life*, *2*, 59-64.

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.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบสอบถามเพื่อกำหนดคำศัพท์

รหัสผู้ทดสอบ.....**วันที่**.....

<u>คำชี้แจง</u> : ให้ผู้ทดสอบกำหนดคำศัพท์เพื่อแสดงถึงคุณภาพลักษณะต่าง ๆ ของเนื้อหอยแมลงภู่สุกดังต่อไปนี้

ลักษณะด้านต่าง ๆ	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 4	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 10
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....	.....	.....
กลิ่น	.....	.....	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาสำหรับหอยแมลงภู่เพศผู้

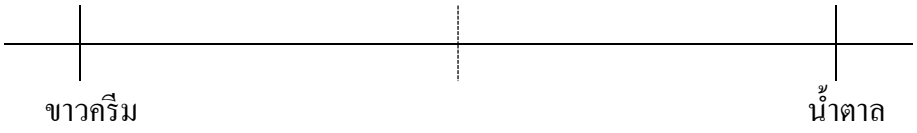
รหัสผู้ทดสอบ.....**วันที่**.....

คำชี้แจง : ให้ผู้ทดสอบประเมินคุณลักษณะของตัวอย่างที่ได้รับ โดยทำเครื่องหมาย │ ลงบนสเกลแนวนอนที่กำหนดให้ (พร้อมระบุรหัสตัวอย่างไว้บนเครื่องหมาย │) เพื่อแสดงถึงตำแหน่งความเข้มที่ท่านคิดว่าเหมาะสมที่สุดสำหรับคุณลักษณะต่าง ๆ ของแต่ละตัวอย่าง

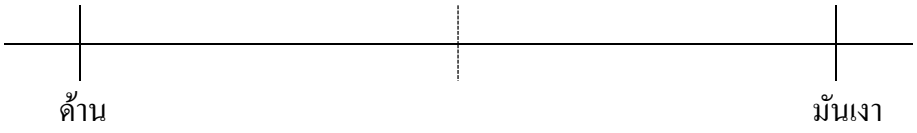
ตัวอย่าง : หอยแมลงภู่สุกเพศผู้ ♂

1. ลักษณะปรากฏ (Appearance)

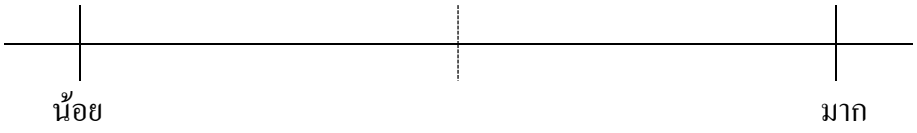
1.1 สีบนตัวหอย



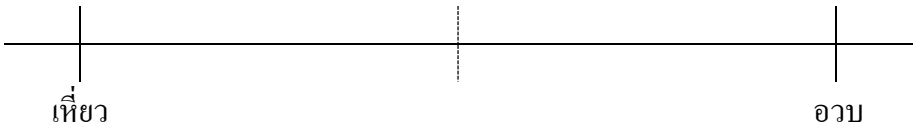
1.2 ความมันเงาของผิว



1.3 ความเป็นเมือกที่ผิว

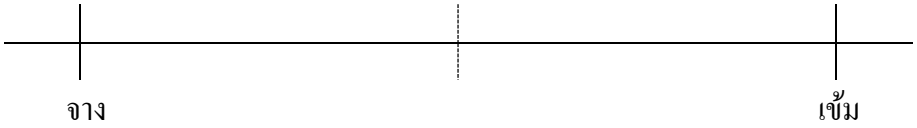


1.4 ลักษณะผิวภายนอก

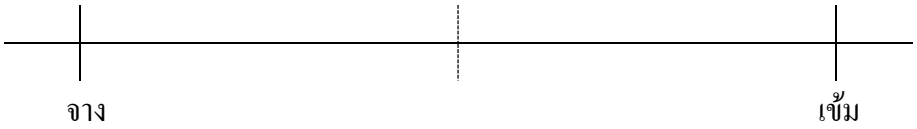


2. กลิ่น (Odor)

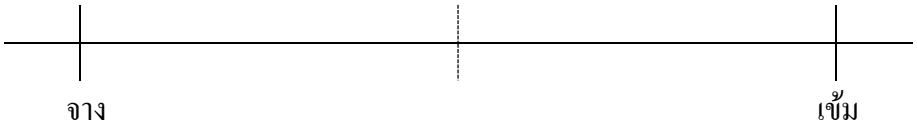
2.1 กลิ่นหอยต้ม



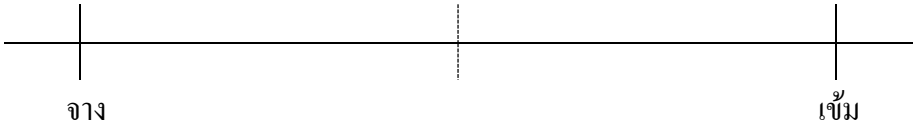
2.2 กลิ่นชาเขียว



2.3 กลิ่นทะเล

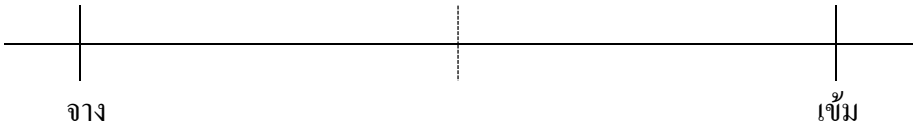


2.4 กลิ่นเปรี้ยว



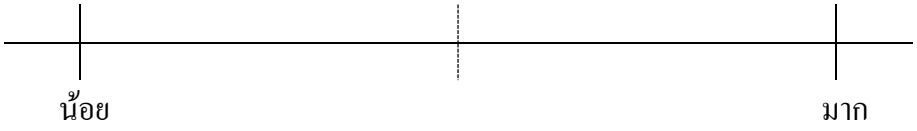
3. กลิ่นรส (Flavor)

3.1 กลิ่นหอมหวาน

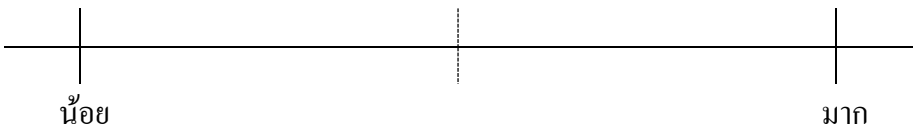


4. รสชาติ (Taste)

4.1 รสอร่อย



4.2 รสหวาน



4.3 รสขม

4.4 รสเค็ม

4.5 รสเปรี้ยว

5. เนื้อสัมผัส (Texture)

5.1 ความยืดหยุ่น

5.2 ความฉ่ำน้ำ

ภาคผนวก ค

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาสำหรับหอยแมลงภู่เพศเมีย

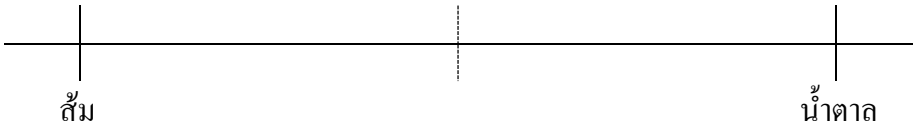
รหัสผู้ทดสอบ.....**วันที่**.....

คำชี้แจง : ให้ผู้ทดสอบประเมินคุณลักษณะของตัวอย่างที่ได้รับ โดยทำเครื่องหมาย │ ลงบนสเกลแนวนอนที่กำหนดให้ (พร้อมระบุรหัสตัวอย่างไว้บนเครื่องหมาย │) เพื่อแสดงถึงตำแหน่งความเข้มที่ท่านคิดว่าเหมาะสมที่สุดสำหรับคุณลักษณะต่าง ๆ ของแต่ละตัวอย่าง

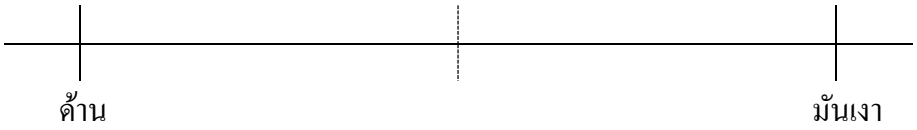
ตัวอย่าง : หอยแมลงภู่สุกเพศเมีย

1. ลักษณะปรากฏ (Appearance)

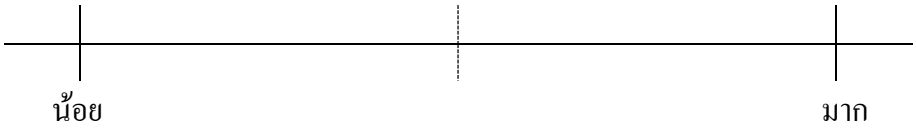
1.1 สีบนตัวหอย



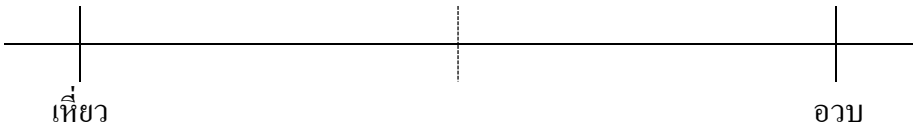
1.2 ความมันเงาของผิว



1.3 ความเป็นเมือกที่ผิว

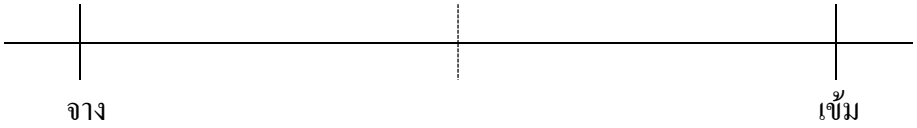


1.4 ลักษณะผิวภายนอก

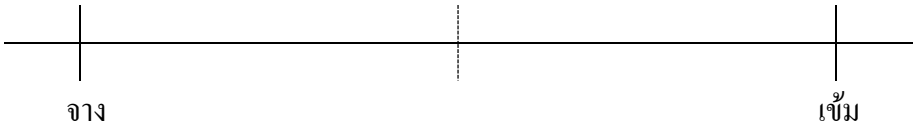


2. กลิ่น (Odor)

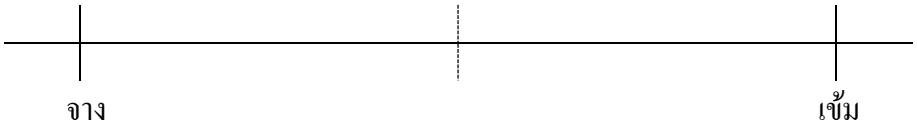
2.1 กลิ่นหอยต้ม



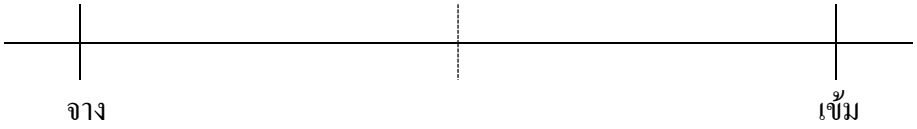
2.2 กลิ่นชาเขียว



2.3 กลิ่นทะเล

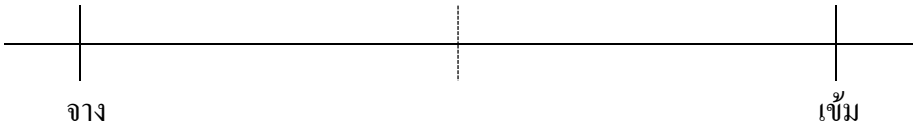


2.4 กลิ่นเปรี้ยว



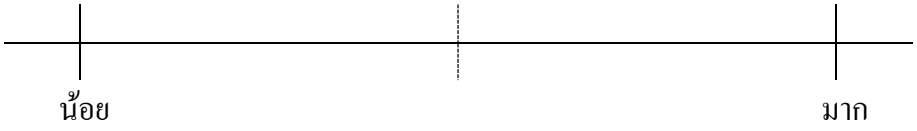
3. กลิ่นรส (Flavor)

3.1 กลิ่นหอมหวาน

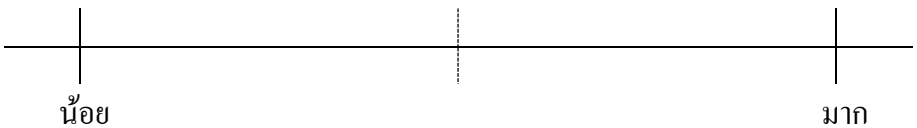


4. รสชาติ (Taste)

4.1 รสอร่อย



4.2 รสหวาน



4.3 รสขม

4.4 รสเค็ม

4.5 รสเปรี้ยว

5. เนื้อสัมผัส (Texture)

5.1 ความยืดหยุ่น

5.2 ความฉ่ำน้ำ