ผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกุ้งแช่เย็น

นางสาวนาฏกาญจน์ ชิณศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2555

ผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกุ้งแช่เย็น

นางสาวนาฏกาญจน์ ชิณศรี วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2555

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์
(ผศ. ดร.พรทิพย์ ศิริสุนทราลักษณ์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รศ. ดร.พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม)
(ดร.พัชทรา มณีสินธุ์)

..... กรรมการ
(ผศ. ดร.ศิววรรณ พูลพันธุ์)

..... กรรมการ
(ผศ. ดร.มณฑิรา นพรัตน์)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกุ้งแช่เย็น
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นางสาวนาฏกาญจน์ ชิณศรี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์
	ดร. พัชทรา มณีสินธุ์
หลักสูตร	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	จุลชีววิทยาประยุกต์
ภาควิชา	จุลชีววิทยา
คณะ	คณะวิทยาศาสตร์
พ.ศ.	2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการใช้น้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทย ซึ่งได้แก่ กระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2) ในการยืดอายุการเก็บรักษาของกุ้งแช่เย็น ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8$\pm$2 °C โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอน คือขั้นตอนแรกเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งจุลินทรีย์ โดยศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันหอมระเหยที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ถึง 99.9% (MBC) ขั้นตอนที่สองเป็นการศึกษาผลการใช้น้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกุ้งแช่เย็น ส่วนขั้นตอนสุดท้ายเป็นการศึกษาผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* ในกุ้งแช่เย็นที่ถูกสร้างการปนเปื้อนด้วย *E. coli* จำนวน 10^3 cfu/mL

ผลการทดลองในขั้นตอนแรกพบว่า น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (MIC) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันหอมระเหยที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ถึง 99.9% (MBC) ของ *Escherichia coli, Staphylcoccus aureus, Salmonella* Typhimurium, *Vibrio parahaemolyticus* และ *Shewanella putrefaciens* เท่ากับ 5/15, 2.5/5, 5/10, 2.5/10 และ 5/10 mg/mL ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีค่า MIC/MBC ของ *E.coli, S. aureus, S.* Typhimurium, *V. parahaemolyticus* และ *S. putrefaciens* เท่ากับ 10/20, 5/15, 10/20,

5/15 และ 10/20 mg/mL ตามลำดับ ส่วนน้ำมันหอมระเหยกะเพรามีค่า MIC/MBC ของ *E.coli, S. aureus, S.* Typhimurium, *V. parahaemolyticus* และ *S. putrefaciens* เท่ากับ 10/25, 5/20, 5/25, 5/20 และ 10/25 mg/mL ตามลำดับ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดดีที่สุด สำหรับผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำมันหอมระเหยพบว่าน้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีค่า D อยู่ในช่วง 0.58 - 1.75 ชั่วโมง และมีค่า Z อยู่ในช่วง 5.88 - 7.57 mg/mL ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีค่า D อยู่ในช่วง 1.35 - 3.43 ชั่วโมง และมีค่า Z อยู่ในช่วง 8.84 - 10.41 mg/mL ส่วนน้ำมันหอมระเหยกะเพรามีค่า D อยู่ในช่วง 0.97 - 3.79 ชั่วโมง และมีค่า Z อยู่ในช่วง 12.41 - 15.75 mg/mL

ขั้นตอนที่สองเป็นการศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2) ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกุ้งแช่เย็นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C ผลการทดลองพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นกุ้งทุกตัวอย่างมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณไตรเมทิลเอมีน (TMA) ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) และค่า pH เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยการใช้น้ำมันหอมระเหยและสภาวะบรรยากาศดัดแปรมีผลต่อพารามิเตอร์ที่ทดสอบอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งในส่วนของน้ำมันหอมระเหยพบว่า กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหย ซึ่งพบว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีอายุการเก็บรักษานานกว่ากุ้งที่เก็บรักษาที่ 40% CO_2+60% N_2 และสภาวะบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) จากผลการทดลองยังพบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 สามารถชะลอการเสื่อมเสียของตัวอย่างได้ดีที่สุด โดยพบว่าจุลินทรีย์มีค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (maximum specific growth rate; μ_{max}) ต่ำที่สุดและมีช่วงเวลาการเกิด lag phase (L) นานที่สุด เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาที่สภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.23 log CFU/g.วัน และ 6.71 วัน ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ด้านจุลินทรีย์และด้านประสาทสัมผัสแล้วพบว่า กุ้งแช่เย็นมีอายุการเก็บรักษา 18 วัน ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2) ต่อการเจริญของ *E. coli* ในกุ้งแช่เย็นที่ถูกสร้างการปนเปื้อน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C ผลการทดลองพบว่าชนิดและสภาวะการเก็บรักษามีผลต่อค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด และช่วงเวลาการเกิด lag phase อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยน้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด

และยืดช่วงเวลาการเกิด lag phase ของ *E. coli* โดยมีค่าเท่ากับ 0.26 log CFU/g.วัน และ 0.62 วัน ตามลำดับ ในขณะที่ค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดและค่าช่วงเวลาการเกิด lag phase ของ *E. coli* ในกุ้งแช่เย็นที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และกะเพรามีค่าใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 0.29 - 0.31 log CFU/g.วัน และ 1.10 - 1.33 วัน ตามลำดับ สำหรับในส่วนของการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปร พบว่า *E. coli* ในกุ้งแช่เย็นที่เก็บภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดอยู่ในช่วง 0.19 - 0.24 log CFU/g.วัน โดยมีค่าช่วงเวลาการเกิด lag phase อยู่ในช่วง 1.81 - 2.59 วัน ซึ่งมีค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดต่ำกว่า *E. coli* ในกุ้งแช่เย็นที่เก็บภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 โดยมีค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดและช่วงเวลาการเกิด lag phase อยู่ในช่วง 0.23 - 0.31 log CFU/g.วัน และ 1.44 - 2.03 วัน ตามลำดับ ผลการทดลองยังพบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรในช่วงที่ศึกษามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* กล่าวคือไม่พบการเจริญของ *E. coli* ในกุ้งแช่เย็นตลอดช่วงอายุการเก็บรักษา

คำสำคัญ: น้ำมันหอมระเหย/ กระเทียม/ ตะไคร้/ กะเพรา/ บรรยากาศดัดแปร/ กุ้ง

Thesis Title	Effects of Essential oil and Modified Atmosphere Packaging on Quality and Shelf Life of Chilled Shrimp
Thesis Credits	12
Candidate	Miss Nattakan Chinnasri
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Punchira Vongsawasdi
	Dr. Pattra Maneesin
Program	Master of Science
Field of Study	Applied Microbiology
Department	Microbiology
Faculty	Science
B.E.	2555

Abstract

This study aimed to test the effectiveness of essential oils from Thai medicinal plants, including garlic, lemongrass and holy basil combined with modified atmosphere packaging (40% CO_2+60% N_2 and 60% CO_2+40% N_2) on shelf life extension of chilled shrimp stored at 8±2 °C. The research was divided into three steps. In the first step, the inhibition efficiency of essential oils from garlic, lemongrass and holy basil was tested by determination of the minimum inhibitory concentration (MIC) and the minimal bactericidal concentration (MBC). In the second step, essential oils from garlic, lemongrass and holy basil in combination with modified atmosphere packaging (MAP) was studied on quality and shelf life of chilled shrimp. Finally, a challenge test by spiking *E. coli* (10^3cfu/mL) on chilled shrimps treated with essential oils from garlic, lemongrass and holy basil and combined with MAP conditions was conducted and numbers of *E. coli* were monitored during chilled storage.

The results of the first step indicated that the minimum inhibitory concentration and minimum bactericidal concentrations (MIC/MBC) of garlic oil for *Escherichia coli, Staphylococcus aureus*, *Salmonella* Typhimurium, *Vibrio parahaemolyticus* and *Shewanella putrefaciens* were 5/15, 2.5/5, 5/10, 2.5/10 and 5/10 mg/mL, respectively. The MIC/MBC of lemongrass oil for *E. coli, S. aureus*, *S.* Typhimurium, *V. parahaemolyticus* and *S. putrefaciens* were 10/20, 5/15, 10/20, 5/15 and 10/20 mg/mL, respectively, while the MIC/MBC of holy basil oil for *E. coli, S. aureus*,

S. Typhimurium, *V. parahaemolyticus* and *S. putrefaciens* were 10/25, 5/20, 5/25, 5/20 and 10/25 mg/mL, respectively. The experimental results showed that garlic oil gave the best inhibition effect against five types of microorganisms used in this research. The kinetics of inhibition by three essential oils showed that D and Z values of garlic oil ranged between 0.58 - 1.05 hours and 5.88 - 7.57 mg/mL, respectively. D and Z values of lemongrass oil ranged between 1.35 - 3.43 hours and 8.84 - 10.41 mg/ml, respectively while D and Z values of holy basil oil ranged between 0.97 - 3.79 hours and 12.41 - 15.75 mg/mL, respectively.

In the second part, the effect of essential oils from garlic, lemongrass and holy basil in combination with modified atmosphere (40% CO_2+60% N_2 and 60% CO_2+40% N_2) conditions on quality and shelf life of chilled shrimp stored at 8$\pm$2 °C was studied. The results showed that the number of total viable counts, TMA, TVB-N and pH values significantly increased with a storage time ($p\leq0.05$). Essential oils and modified atmosphere packaging significantly affected parameters tested. The number of total viable counts of shrimps treated with essential oils from garlic, lemongrass and holy basil were significantly ($p\leq0.05$) lower than that of shrimps untreated with essential oils. However, the modified atmosphere packaging significantly ($p\leq0.05$) provided higher efficiency than essential oil. The results showed that 60% CO_2+40% N_2 condition prolonged the shelf life of shrimp as compared with shrimp packed under 40% CO_2+60% N_2 and normal (air) conditions. Garlic oil incorporation with 60% CO_2+40% N_2 condition was the most effective treatment to reduce the spoilage of shrimp. The maximum specific growth rate (μ_{max}) for total viable counts of shrimps treated with garlic oil incorporation with 60% CO_2+40% N_2 condition was 0.23 log CFU/g.day and the lag phase duration value (L) was 6.71 days. The microbiological and sensory evaluation results indicated that the shelf life of chilled shrimp was 18 days at the storage temperature of 8$\pm$2 ^{o}C.

In the final step, a challenge test by spiking *E. coli* on chilled shrimps treated with essential oils from garlic, lemongrass and holy basil and combined with modified atmosphere (40% CO_2+60% N_2 and 60% CO_2+40% N_2) conditions was conducted and stored at 8$\pm$2 °C. The results showed that type of essential oils and modified atmosphere packaging significantly affected the maximum specific growth rate and lag phase duration values ($p\leq0.05$). Garlic oil was the most effective essential oil to reduce the maximum specific growth rate and extend lag phase duration of *E. coli* with μ_{max} and L values of 0.26 log CFU/g.day and 0.62 day, respectively. μ_{max} and L values for

E. coli of shrimp treated with lemongrass and holy basil oil ranged between 0.29 - 0.31 log CFU/g.day and 1.10 - 1.33 day, respectively while μ_{max} and L values for *E. coli* of shrimp packed under 60% CO_2+40% N_2 condition ranged between 0.19 - 0.24 log CFU/g.day and 1.81 - 2.59 days, respectively. μ_{max} and L values for *E. coli* of shrimp packed under 40% CO_2+60% N_2 condition ranged between 0.23 - 0.31 log CFU/g.day and 1.44 - 2.03 days, respectively. No growth of *E. coli* on shrimps treated with each essential oil incorporation with each MAP condition during the storage was observed.

Keywords: Essential Oil/ Garlic/ Lemongrass/ Holy basil/ Modified Atmosphere /Shrimp

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยความกรุณาช่วยเหลือจาก รศ.ดร.พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. พัชทรา มณีสินธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษา ตลอดจนสละเวลาให้ความรู้ ข้อแนะนำต่างๆ และแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำโครงการวิจัย รวมถึงประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พรทิพย์ ศิริสุนทราลักษณ์ จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ศิววรรณ พูลพันธุ์ และ ผศ.ดร.มณฑิรา นพรัตน์ ที่ให้ความกรุณาให้แนวคิด คำแนะนำ ตลอดจนการตรวจสอบและแก้ไขปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้ ขอขอบพระคุณอาจารย์นิพร เดชสุข ในการชี้แนะแนวทางและเทคนิคในการดำเนินงานเสมอมา อาจารย์องอาจ วัฒนชัยยิ่งยง ในการให้คำปรึกษาเรื่องของการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาจุลชีววิทยาทุกท่าน คุณสุนทรี สุขเกษมที่ช่วยเหลือให้โครงงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณ คุณกัลย์สุดา วังชนะชัย นักทดลองวิทยาศาสตร์วิจัย ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย ที่ให้คำปรึกษาตลอดจนอำนวยความสะดวกในด้านสถานที่ และอุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้ นอกจากนี้ขอขอบพระคุณโครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ผนวท.) สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สป.วท.) ที่ให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยงานบรรจุภัณฑ์ปรับอากาศสำหรับอาหารสด และโครงการสร้างภาคีบัณฑิตระดับโท-เอก ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้ทุนสนับสนุนวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ตลอดจนรุ่นพี่ เพื่อนและรุ่นน้องในภาควิชาจุลชีววิทยาที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนจนจบการศึกษานี้ ประโยชน์อันใดอันเกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ย่อมเป็นผลจากความกรุณาของทุกท่านดังที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ซ
สารบัญ		ฌ
รายการตาราง		ฐ
รายการรูปประกอบ		ฒ
บทที่		
1	**บทนำ**	**1**
	1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
	1.2 วัตถุประสงค์	3
	1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2	**ตรวจเอกสาร**	**4**
	2.1 กุ้ง	4
	2.1.1 กุ้งขาว	4
	2.1.2 คุณภาพของกุ้ง	5
	2.1.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้ง	5
	2.2 น้ำมันหอมระเหย	6
	2.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย	7
	2.2.2 ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งจุลินทรีย์	8
	2.2.3 น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรไทย	10
	2.3 การบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (Modified Atmosphere Packaging)	14
	2.3.1 ชนิดของก๊าซที่ใช้ในการปรับสภาวะบรรยากาศ	14
	2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการทดลอง 18

3.1 วัตถุดิบ 18

3.1.1 กุ้ง 18

3.1.2 น้ำมันหอมระเหย 18

3.1.3 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง 19

3.2 วัสดุ 19

3.3 อุปกรณ์ 19

3.4 สารเคมี 20

3.5 อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ 20

3.6 วิธีการทดลอง 20

3.6.1 การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์ 20

3.6.2 ศึกษาชนิดและความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ 21

3.6.3 ศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษากุ้งสด 23

3.6.4 ศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ต่อการเจริญของ *E. coli* ที่ถูกสร้างการปนเปื้อนในกุ้ง 25

3.6.5 การวิเคราะห์คุณภาพกุ้ง 28

3.6.6 การวิเคราะห์ *E. coli* 32

3.6.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ 33

4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 34

4.1 การศึกษาชนิดและความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ 34

4.1.1 การหาความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Minimum inhibitory concentration; MIC) และการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันหอมระเหยที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ถึง 99.9% (Minimum bactericidal concentration; MBC) 35

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
4.1.2	การศึกษาจลนพลศาสตร์ของความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยและระยะเวลาในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์	38
4.2	การศึกษาผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกุ้งสด	41
4.2.1	ผลการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพของกุ้งสด	42
4.2.2	ผลการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษากุ้งสด	68
4.2.3	ผลการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพของกุ้งสด	94
4.2.4	การเปรียบเทียบคุณภาพของกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิด	120
4.3	ศึกษาผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* ที่ถูกสร้างการปนเปื้อนในกุ้ง	140
4.3.1	ผลการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli*	140
4.3.2	ผลการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli*	144
4.3.3	ผลการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli*	147
4.3.4	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดในการยับยั้งการเจริญ *E. coli*	150
5	**สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ**	**153**
5.1	สรุปผลการทดลอง	153
5.2	ข้อเสนอแนะ	154

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง **155**

ภาคผนวก

ก การเตรียมความเข้มข้น 171

ข แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส 177

ค ผลการทดลอง 180

ง ตารางวิเคราะห์อิทธิพล 207

ประวัติผู้วิจัย **225**

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

4.1 ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อของน้ำมันหอมระเหยชนิดต่างๆ 35

4.2 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหย 3 ชนิดต่อค่า D ของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ 38

4.3 ค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของจุลินทรีย์ที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะการเก็บแบบต่างๆ 45

4.4 การเปรียบเทียบสีของกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียม 60

4.5 ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมในกุ้งที่บรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C โดยใช้แบบทดสอบ 5-scale scoring และ 5-scale hedonic 63

4.6 ลักษณะของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 64

4.7 ค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของจุลินทรีย์ที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะการเก็บแบบต่างๆ 71

4.8 การเปรียบเทียบสีของกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ 86

4.9 ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ในกุ้งที่บรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C โดยใช้แบบทดสอบ 5-scale scoring และ 5-scale hedonic 89

4.10 ลักษณะของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 91

4.11 ค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของจุลินทรีย์ที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะการเก็บแบบต่างๆ 97

4.12 การเปรียบเทียบสีของกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรา 112

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

4.13 ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพรา ในกุ้งที่บรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C โดยใช้แบบทดสอบ 5-scale scoring และ 5-scale hedonic 115

4.14 ลักษณะของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรา และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 116

4.15 การเปรียบเทียบค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของจุลินทรีย์ที่ตรวจวิเคราะห์ ได้จากกุ้งในแต่ละชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 ^{O}C 122

4.16 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อจำนวนจุลินทรีย์ของกุ้งสด ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 ^{O}C 122

4.17 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อค่า TMA ของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 ^{O}C 124

4.18 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อค่า TVB-N ของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 ^{O}C 125

4.19 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อค่า pH ของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 ^{O}C 127

4.20 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 ^{O}C 129

4.21 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อการสูญเสียน้ำหนักของกุ้งสด ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 ^{O}C 130

4.22 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อ a_w ของกุ้งสด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 ^{O}C 131

4.23 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อค่าแรงตัดขาดของกุ้งสด ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 ^{O}C 133

4.24 การเปรียบเทียบสีของกุ้งแต่ละชุดการทดลอง 134

4.25 ชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 ^{O}C 139

4.26 การใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ต่ออัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของ *E. coli* 142

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

4.27 การใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ต่ออัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของ *E. coli* 146

4.28 การใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ต่ออัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของ *E. coli* 149

4.29 การเปรียบเทียบค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของ *E. coli* ที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากกุ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 ^{O}C 152

4.30 ชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อการเจริญของ *E. coli* ที่ถูกปนเปื้อนในกุ้ง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 ^{O}C 152

ค.1 ผลของจำนวนจุลินทรีย์ของกุ้ง ของการใช้น้ำมันหอมระเหย ในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 183

ค.2 ผลของค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหย กระเทียมในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 184

ค.3 ผลของค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหย ตะไคร้ในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 186

ค.4 ผลของค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหย กะเพราในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 188

ค.5 ผลปริมาณก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้ง ในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกระเทียมในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 189

ค.6 ผลปริมาณก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้ง ในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 191

ค.7 ผลปริมาณก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้ง ในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกะเพราในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 192

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

ค.8 ผลของการสูญเสียน้ำหนัก, ค่า a_w และค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้ง ในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกระเทียมในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 194

ค.9 ผลของการสูญเสียน้ำหนัก, ค่า a_w และค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้ง ในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 195

ค.10 ผลของการสูญเสียน้ำหนัก, ค่า a_w และค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้ง ในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกะเพราในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 197

ค.11 ผลของค่าสีของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกระเทียม ในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 199

ค.12 ผลของค่าสีของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ ในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 200

ค.13 ผลของค่าสีของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกะเพรา ในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 202

ค.14 ผลปริมาณเชื้อ *E. coli* ของการใช้น้ำมันหอมระเหยในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะบรรยากาศดัดแปร ต่อกุ้งที่ถูกสร้างการปนเปื้อน *E. coli* ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 203

ง.1 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งสด 207

ง.2 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งสด 207

ง.3 อิทธิพลของระยะเวลาต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งสด 207

ง.4 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด 208

ง.5 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด 208

ง.6 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด 208

ง.7 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด 209

ง.8 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด 209

ง.9 อิทธิพลของระยะเวลาต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด 209

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

ง.10 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด 210

ง.11 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด 210

ง.12 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด 210

ง.13 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่าสีของกุ้งสด 211

ง.14 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่าสีของกุ้งสด 211

ง.15 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่าสีของกุ้งสด 211

ง.16 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด 212

ง.17 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด 212

ง.18 อิทธิพลของระยะเวลาต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด 212

ง.19 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งสด 213

ง.20 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งสด 213

ง.21 อิทธิพลของระยะเวลาต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งสด 213

ง.22 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด 214

ง.23 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด 214

ง.24 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด 214

ง.25 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด 215

ง.26 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด 215

ง.27 อิทธิพลของระยะเวลาต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด 215

ง.28 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด 216

ง.29 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด 216

ง.30 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด 216

ง.31 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่าสีของกุ้งสด 217

ง.32 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่าสีของกุ้งสด 217

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

ง.33 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่าสีของกุ้งสด 217
ง.34 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด 218
ง.35 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด 218
ง.36 อิทธิพลของระยะเวลาต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด 218
ง.37 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งสด 219
ง.38 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งสด 219
ง.39 อิทธิพลของระยะเวลาต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งสด 219
ง.40 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด 220
ง.41 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด 220
ง.42 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด 220
ง.43 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด 221
ง.44 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด 221
ง.45 อิทธิพลของระยะเวลาต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด 221
ง.46 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด 222
ง.47 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด 222
ง.48 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด 222
ง.49 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่าสีของกุ้งสด 223
ง.50 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่าสีของกุ้งสด 223
ง.51 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่าสีของกุ้งสด 223
ง.52 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด 224
ง.53 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด 224
ง.54 อิทธิพลของระยะเวลาต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด 224

รายการรูปประกอบ

รูป **หน้า**

2.1 ลักษณะทั่วไปของกุ้งขาว 4

2.2 ลักษณะของกระเทียม 10

2.3 ลักษณะของตะไคร้ 11

2.4 ลักษณะของกะเพรา 12

3.1 กุ้งขาว 18

3.2 น้ำมันหอมระเหยกระเทียม ตะไคร้ และ กระเพรา 18

3.3 ตัวอย่างกุ้งในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรและสภาวะบรรยากาศปกติ 23

3.4 ตัวอย่างกุ้งที่ถูกแช่ในน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดที่สภาวะบรรยากาศปกติ 24

3.5 แผนผังการทดลองการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกุ้งสด 25

3.6 ตัวอย่างกุ้งที่ถูกสร้างการปนเปื้อนในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรและสภาวะบรรยากาศปกติ 26

3.7 ตัวอย่างกุ้งที่ปลอดเชื้อและถูกแช่ในน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิด ที่สภาวะบรรยากาศปกติ 27

3.8 แผนผังการทดลองการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* ที่ถูกสร้างการปนเปื้อนในกุ้ง 27

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยและเวลาที่มีผลทำให้จุลินทรีย์มีจำนวนลดลง 90%; ก: น้ำมันหอมระเหยกระเทียม, ข: น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ และ ค: น้ำมันหอมระเหยกะเพรา 40

4.2 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 42

4.3 ค่าไตรเมทิลเอมีน (TMA) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 47

4.4 ค่าสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมัน หอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2°C 49

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

4.5 ค่า pH ของของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียม และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 51

4.6 ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C 53

4.7 การสูญเสียน้ำหนักของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียม และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 55

4.8 ค่า a_w ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียม และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 56

4.9 ค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียม และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 57

4.10 ค่าสีของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียม และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C; ก: ค่าความสว่าง (L*) ข: ค่าความเป็นสีแดง (a*) และ ค: ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) 59

4.11 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 69

4.12 ค่าไตรเมทิลเอมีน (TMA) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 73

4.13 ค่าสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 75

4.14 ค่า pH ของของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 77

4.15 ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 79

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

4.16 การสูญเสียน้ำหนักของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ 81
และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

4.17 ค่า a_w ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ 82
และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

4.18 ค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ 84
และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

4.19 ค่าสีของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ 85
และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C;
ก: ค่าความสว่าง (L*) ข: ค่าความเป็นสีแดง (a*) และ ค: ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

4.20 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรา 95
และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

4.21 ค่าไตรเมทิลเอมีน (TMA) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรา 99
และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

4.22 ค่าสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) 101
ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษา
ภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

4.23 ค่า pH ของของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรา 103
และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

4.24 ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ 105
ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษา
ภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

4.25 การสูญเสียน้ำหนักของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรา 107
และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

4.26 ค่า a_w ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรา 108
และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

4.27 ค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรา และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 109

4.28 ค่าสีของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรา และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C; ก: ค่าความสว่าง (L*) ข: ค่าความเป็นสีแดง (a*) และ ค: ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) 111

4.29 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย และเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 121

4.30 ค่าไตรเมทิลเอมีน (TMA) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย และเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 123

4.31 ค่าสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 124

4.32 ค่า pH ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 126

4.33 ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 128

4.34 การสูญเสียน้ำหนักของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 130

4.35 ค่า a_w ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+ 40% N_2 ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 131

4.36 ค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ที่อุณหภูมิ 8±2 °C 133

4.37 ค่าสีของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ที่อุณหภูมิ 8±2 °C; ก: ค่าความสว่าง (L*) ข: ค่าสีแดง (a*) และ ค: ค่าสีเหลือง (b*) 135

4.38 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย และเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2ที่อุณหภูมิ 8±2 °C; ก: ด้านกลิ่น, ข: ด้านสี, ค: รสชาติ, ง: เนื้อสัมผัส และ จ: ความชอบรวม 138

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

4.39 การเจริญของเชื้อ *E. coli* ของการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียม 141
ภายใต้และสภาวะบรรยากาศดัดแปรในกุ้ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

4.40 การเจริญของเชื้อ *E. coli* ของการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ 144
ภายใต้และสภาวะบรรยากาศดัดแปรในกุ้ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

4.41 การเจริญของเชื้อ *E. coli* ของการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพรา 148
ภายใต้และสภาวะบรรยากาศดัดแปรในกุ้ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

4.42 จำนวน *E. coli* ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและนำมาสร้างการปนเปื้อน 152
เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

ค.1 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยกระเทียมต่อการเจริญของ 180
จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ●:0 mg/mL ■ :5 mg/mL ▲:10 mg/mL ✕:15 mg/mL

ค.2 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ต่อการเจริญของ 181
จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ●:0 mg/mL ■ :10 mg/mL ▲:15 mg/mL ✕:20mg/mL

ค.3 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยกะเพราต่อการเจริญของ 182
จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ●:0 mg/mL ■ :15 mg/mL ▲:20 mg/mL ✕:25 mg/mL

ค.4 การเจริญของเชื้อ *E. coli* ในกุ้งโดยมีจำนวน *E. coli* เริ่มต้นเท่ากับ *E. coli* เริ่มต้น 205
ของตัวอย่างที่บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติเพื่อเปรียบเทียบอัตราการเจริญ
ในแต่ละสภาวะ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

กุ้งเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเมื่อเทียบกับสัตว์น้ำชนิดอื่น ปัจจุบันมีการส่งออกกุ้งขาวแทนกุ้งกุลาดำ เนื่องจากกุ้งขาวโตไวและให้ผลผลิตสูง นอกจากนี้กุ้งกุลาดำยังมีต้นทุนการเลี้ยงที่สูงกว่ากุ้งขาวมาก ด้วยเหตุนี้เกษตรกรส่วนใหญ่จึงหันไปเลี้ยงกุ้งขาวแทน (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และ พรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547) ในปี 2552 ประเทศไทยมีการส่งออกกุ้งสูงถึง 87% ของการผลิตทั้งหมดคิดเป็นปริมาณ 382,147.28 ตัน และมูลค่า 107,277.21 ล้านบาท ซึ่งลักษณะการจัดจำหน่ายเป็นแบบกุ้งแช่เย็นและแช่แข็ง 57.21% กุ้งแปรรูป 41.28% และกุ้งกระป๋อง 1.51% ของปริมาณการส่งออกกุ้ง (กรภัทร์ อคะรินทร์, 2552) ปัจจุบันกุ้งพร้อมปรุงได้รับความนิยมจากผู้บริโภค เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่นำกุ้งดิบมาตัดแต่ง เช่น เด็ดหัว ปอกเปลือก และผ่าหลังเพื่อเอาไส้ออก ซึ่งเป็นการลดขั้นตอนในการเตรียมอาหาร อย่างไรก็ตามการตัดแต่งอาจก็ให้เกิดการปนเปื้อนข้าม (Cross contamination) ส่งผลให้มีอายุการจำหน่ายสั้น ดังนั้นในการจัดจำหน่ายจึงนำผลิตภัณฑ์มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเนื่องจากสามารถยืดระยะเวลาการเสื่อมเสียได้ โดยกุ้งพร้อมปรุงมีอายุการเก็บประมาณ 6 วันเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 5-6 ^{o}C (Cadun et al., 2008)

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีหลายวิธีที่สามารถทำให้อาหารประเภทเนื้อสัตว์มีอายุการเก็บนานขึ้น เช่นการใช้ความร้อน ซึ่งเป็นวิธีที่ทำลายจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด แต่ความร้อนที่ใช้จะมีผลต่อลักษณะปรากฏและคุณค่าทางอาหาร (Song et al., 2003) หรือการลดอุณหภูมิในการเก็บรักษา ซึ่งจะช่วยรักษาคุณภาพของอาหารได้ แต่การลดอุณหภูมิให้อยู่ในระดับแช่เย็น (Chilling) เป็นเพียงการชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ ส่งผลให้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้ไม่นาน ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่แข็งจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Martinez et al., 2010) นอกจากนี้การใช้วัตถุกันเสียเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมแต่การใช้วัตถุกันเสียอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค ประกอบกับในปัจจุบันผู้บริโภคตระหนักถึงอันตรายของการใช้สารเคมีในอาหารมากขึ้น ดังนั้นการใช้น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรซึ่งเป็นสารสกัดจากธรรมชาติจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนวัตถุกันเสีย เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยมีองค์ประกอบที่มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (Burt, 2004 และ Holley และ Patel, 2005) เช่น ยูจีนอล (Eugenol) ในกานพลู (Ayoola et al., 2008) สามารถยับยั้ง *Escherichia coli, Salmonella* spp. และ *Staphylococcus aureus* หรืออะลิซิล (Allicin) ในกระเทียม (Ankri และ Mirelman, 1999)

สามารถยับยั้ง *E. coli* และ *Bacillus* spp. นอกจากนี้ไธม์มอล (Thymol) ในใบไธม์ (Singh et al., 2003) สามารถยับยั้ง *Listeria monocytogenes* ได้เป็นต้น จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงได้มีการนำน้ำมันหอมระเหยต่างๆมาใช้ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร โดยในปี 2001 Vrinda Menon และ Garg พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากกานพลู สามารถลดปริมาณ *L. monocytogenes* ในเนื้อแกะได้ 1 - 3 log CFU/g เมื่อเทียบกับสภาวะควบคุม ในขณะที่ Krisch และคณะ (2001) พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมที่ความเข้มข้น 1% (โดยปริมาตร) ในเนื้อหมูบด เก็บรักษาที่ 5 ^{o}C สามารถลดปริมาณ *E. coli* ได้ 1 log cycle ภายในเวลา 24 ชั่วโมง นอกจากนี้ในปี 2010 Giatrakou และคณะ ได้ศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยจากไธม์ (Thyme) ในผลิตภัณฑ์ไก่ ผลการทดลองพบว่าปริมาณเชื้อ *Pseudomonas* spp. ลดลง 1.5 log cycle เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยหลายชนิดมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ เช่น น้ำมันหอมระเหยกะเพรามีองค์ประกอบของยูจินอลสามารถยับยั้งการเจริญของ *Salmonella* Typhimurium (Goel et al., 2010) หรือซิตรัล (Citral) จากน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้สามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* และ *S.* Typhimurium ได้ดี (Akin-Osanaiye et al., 2007) นอกจากนี้น้ำมันหอมระเหยจากสะระแหน่มีองค์ประกอบของ 1,8-cineole สามารถยับยั้งการเจริญของ *Vibrio parahaemolyticus* ได้ (Yano et al., 2006) เป็นต้น

นอกจากนี้การบรรจุอาหารในสภาวะสุญญากาศ (Vacuum packaging) และภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (Modified atmosphere packaging; MAP) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจ โดยการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร คือ การบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้บรรยากาศที่มีอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่าง ๆ แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2538) มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ช่วยประหยัดพลังงาน และลดต้นทุนในการผลิต (Stiles, 1991) วิธีนี้นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น Mejlholm และคณะ (2005) พบว่าการบรรจุกุ้งภายใต้สภาวะ 50% CO_2+20% O_2+30% N_2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 ^{o}C สามารถยับยั้งการเจริญของ *L. monocytogenes* โดยมีอายุการเก็บรักษา 20 - 21 วัน นอกจากนี้ในปี 2006 Torrieri และคณะ พบว่าการเก็บรักษาปลากะพงภายใต้สภาวะ 50% CO_2+30% O_2+20% N_2 มีอายุการเก็บรักษา 7 - 9 วัน ในขณะที่การใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับเทคนิคการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้นโดย Kostaki และคณะ (2009) ศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยจากไธม์ร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+10% O_2+30% N_2) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาปลากะพง พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยจากไธม์ร่วมกับการเก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+10% O_2+30% N_2 สามารถยืดอายุการเก็บได้นาน 17 วัน เมื่อเทียบกับปลากะพงที่เก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+ 10% O_2+30% N_2 เพียงอย่างเดียวซึ่งมีอายุการเก็บเพียง 6 วัน

จากงานวิจัยข้างต้นจึงนำไปสู่แนวคิดการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในกุ้ง รวมทั้งนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้ร่วมกับเทคนิคการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรในกุ้งแช่เย็น เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้บริโภคต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยที่เหมาะสมในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่พบในกุ้ง
2. เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษากุ้งแช่เย็น
3. เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ถูกสร้างการปนเปื้อนในกุ้งแช่เย็น

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ใช้น้ำมันหอมระเหย 3 ชนิดคือ กระเทียม ตะไคร้และ กะเพรา
2. ใช้จุลินทรีย์ 5 ชนิด ได้แก่ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* Typhimurium, *Shewanella putrifacience* และ *Vibrio parahaemolyticus*
3. ใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรในการบรรจุกุ้งโดยแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ในการบรรจุเป็น 2 ระดับคือ 40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลด้านประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่พบในกุ้ง
2. สามารถยืดอายุการเก็บรักษากุ้งแช่เย็นโดยใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับเทคนิคการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร
3. เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการยืดอายุการเก็บรักษากุ้งแช่เย็นให้มีอายุนานขึ้นโดยยังคงคุณภาพและลักษณะปรากฏที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

บทที่ 2 ตรวจเอกสาร

2.1 กุ้ง

2.1.1 กุ้งขาว

กุ้งขาว หรือ กุ้งแวนนาไม มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Litopenaeus vannamei* หรือ *Penaeus vannamei* และมีชื่อสามัญคือ Pacific white shrimp สายพันธุ์นี้เมื่อโตสมบูรณ์เต็มที่มีขนาดเล็กกว่ากุ้งกุลาดำโดยมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 120 กรัม มีรูปร่างเพรียวกว่ากุ้งกุลาดำเล็กน้อย มีสีค่อนข้างเสมอกันทั้งตัวโดยพบว่ามีจุดเล็กๆ บนเปลือก และมีเปลือกใสกว่ากุ้งกุลาดำ (รูปที่ 2.1) ปัจจุบันมีการเลี้ยงกุ้งขาวกันอย่างแพร่หลายในประเทศแถบเอเชีย เนื่องจากกุ้งท้องถิ่นมีการเจริญช้าและติดเชื้อง่าย แต่กุ้งขาวเป็นกุ้งที่เลี้ยงง่าย มีการเจริญอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้กุ้งขาวยังถูกพัฒนาสายพันธุ์มาเป็นเวลานาน จึงเป็นกุ้งอีกชนิดหนึ่งที่มีความพร้อมในการนำมาพัฒนาในระบบการผลิตกุ้งเพื่อการส่งออกของประเทศไทย (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และ พรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547) โดยกุ้งขาวเป็นสัตว์น้ำที่เป็นแหล่งของกรดอะมิโนเปปไทด์ โปรตีน และสารชีวเคมีที่มีประโยชน์อื่น ๆ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้กุ้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เน่าเสียง่ายและมีอายุการเก็บจำกัด (Gram และ Dalgaard, 2002)

รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของกุ้งขาว

ที่มา: http://www.hhdelivery.com/images/prawn2.JPG

2.1.2 คุณภาพของกุ้ง

การนำสัตว์น้ำมาบริโภคหรือแปรรูป ความสดคือสิ่งสำคัญโดยความสดของสัตว์น้ำภายหลังการตายจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์

2.1.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพของสัตว์น้ำ ได้แก่ รูปร่าง สี และกลิ่น กุ้งขาวที่สดจะมีรูปร่างปกติและมีอวัยวะครบ มีสีตามธรรมชาติ ส่วนหัวและลำตัวติดแน่น เปลือกสดใส ลื่น เป็นเงามันตามธรรมชาติปราศจากรอยตำหนิ เนื้อแน่นใสติดกับเปลือก มีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสด เมื่อทำให้สุกควรมีกลิ่นหอมเฉพาะของกุ้ง ไม่พบกลิ่นไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นคาวจัด กลิ่นเปรี้ยว (มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2550)

2.1.2.2 ลักษณะทางเคมี

ลักษณะทางเคมี เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสัตว์น้ำ ส่งผลให้คุณค่าทางอาหารและความสดลดลง โดยผลิตภัณฑ์จากกุ้งถูกกำหนดให้มีสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ไม่เกิน 30 mg N/100 g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529) และปริมาณไตรเมทิล-เอมีน (TMA) ไม่เกิน 5 mgTMA-N/100g (ปัทมกร พรหมจรรย์, 2546)

2.1.2.3 ลักษณะทางจุลินทรีย์

ลักษณะทางจุลินทรีย์ถูกกำหนดให้มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 10^7 cfu/g ปริมาณ *E. coli* และ *S. aureus* ไม่เกิน 3 MPN/g และ 100 MPN/g ตามลำดับ และต้องไม่พบ *Salmonella* spp., *Vibrio* spp. และจุลินทรีย์ก่อโรคในกุ้ง (มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2549)

2.1.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้ง

องค์ประกอบทางเคมีของกุ้งโดยทั่วไปประกอบด้วยโปรตีน 18 - 20% ไขมัน 1% และความชื้น 75 - 80% (FAO, 2001) โดยโปรตีนของกุ้งประกอบด้วยกรดอะมิโนอิสระหลายชนิด ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้กุ้งเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย สาเหตุที่ทำให้กุ้งมีคุณภาพลดลงเกิดจากปัจจัย 2 ประการ คือ กระบวนการย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ในตัวกุ้ง (Autolysis) และกิจกรรมของแบคทีเรีย

2.1.3.1 การย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ในตัวกุ้ง

ภายหลังกุ้งตาย จะเกิดการสลายตัวของโปรตีนเป็นกรดอะมิโนโดยเอนไซม์ นอกจากนี้ในเนื้อสัตว์ทะเลยังมีกรดนิวคลีอิค ซึ่งถูกย่อยสลายได้นิวคลีโอไทด์หลายชนิด โดยนิวคลีโอไทด์ที่เกิดขึ้นอาจถูกเปลี่ยนเป็นสารอื่นด้วยเอนไซม์ทันทีหลังจากสัตว์น้ำตาย เช่น อะดริโนซีน ไตรฟอสเฟท (Adrenosine triphosphate; ATP) เปลี่ยนเป็นไอโนซีน โมโนฟอสเฟท (Inosine monophosphate; IMP) และไฮโปแซนทิน (Hypoxanthin; Hx) ทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสของปลาสดที่เป็นที่ต้องการ (Sotelo และ Rehbein, 2000)

2.1.3.2 กิจกรรมของแบคทีเรีย

การสลายตัวของสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนแล้วเกิดสารระเหยที่ก่อให้เกิดกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเน่าของสัตว์น้ำ คือ การเปลี่ยนไตรเมทธิลเอมีนออกไซด์ (TMAO) เป็น ไตรเมทธิลเอมีน (TMA) ด้วยเอนไซม์ไตรเมธิลเอมีนออกซิเดส (Trimethylamine oxidase) จากปฏิกิริยารีดักชันของแบคทีเรีย เช่น *Shewanella putrifaciens* ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนแบคทีเรีย คุณภาพทางประสาทสัมผัสและความสดของสัตว์น้ำ นอกจากนี้ยังเกิดไดเมทิลเอมีน (Dimethylamine : DMA) และสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ (Total volatile basic nitrogen; TVB-N) เป็นต้น ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจน (Ashie et al., 1996 และ Boskou และ Debevere, 1997)

2.2 น้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหย (Volatile oils หรือ Essential oils) เป็นสารอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้นเองตามธรรมชาติ มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี หรือมีสีอ่อนๆ มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว ระเหยได้ง่าย ไม่ละลายในน้ำ น้ำมันหอมระเหยทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันตนเองของพืช รักษาแผลหรือป้องกันการระเหยของน้ำ รวมทั้งใช้ไล่แมลงที่เป็นศัตรูและล่อแมลงเพื่อช่วยในการผสมพันธุ์ (Burt, 2004) น้ำมันหอมระเหยจากพืชแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและสัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันหอมระเหย (เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา และคณะ, 2543) ในปัจจุบันมีการใช้น้ำมันหอมระเหยหลายชนิดเพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียในอาหาร เช่นในปี 1998 Direkbusarakom และคณะ พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากกะเพรา สามารถลดปริมาณ *Vibio parahaemoiyticus* ที่พบในกุ้งได้ 1 - 3 log CFU/g เมื่อเทียบกับสภาวะควบคุม ในขณะที่ Aiemsaard และคณะ (2011) พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้สามารถยับยั้ง *B. cereus, S. aureus* และ *E. coli* ได้ นอกจากนี้ในปี 2011 Dobre และคณะ ศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยจากอบเชย

กระเทียม หอมหัวใหญ่ ไธม์ ออริกาโน กะเพรา และกานพลูในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค *B. cereus, S. aureus, Salmonella enteritidis* และ *E. coli* ผลการทดลองพบว่าน้ำมันหอมระเหยทั้ง 7 ชนิด สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดได้

2.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย

วิธีสกัดน้ำมันหอมระเหยทำได้หลายวิธี เช่นวิธีการกลั่นโดยใช้ไอน้ำ หรือการสกัดโดยใช้สารละลายเฮกเซน โดยน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากพืชแต่ละชนิดมีองค์ประกอบแตกต่างกัน ซึ่งการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยทำได้โดยใช้ Gas Chromatography และ Mass Spectrometry (Burt, 2004) องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยแบ่งเป็น 8 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ แอลกอฮอล์ (Alcohol), อัลดีไฮด์ (Aldehyde), เอสเทอร์ (Ester), คีโตน (Ketone), ออกไซด์ (Oxide), ฟีนอล (Phenol), ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) และฟีนอลิก อีเทอร์ (Phenolic ether) (Fisher และ Phillips, 2006 และ Burt, 2004)

2.2.1.1 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบหลัก (Alcohol volatile oil) น้ำมันหอมระเหยที่สำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่ น้ำมันจากสะระแหน่ น้ำมันจากลูกกระวาน ดอกส้ม และดอกกุหลาบ แอลกอฮอล์ที่พบบ่อย ๆ ได้แก่ เจอรานิออล (Geraniol), ซิโตรนีลลอล (Citronellol) ซึ่งเป็นอะไซคลิกแอลกอฮอล์ (Acyclic alcohol) ส่วนเมนทอล (Mentol) และแอลฟาเทอร์พีไนอัล (Alpha-terpiniol) เป็นมอโนไซคลิกแอลกอฮอล์ (Monocyclic alcohol) เป็นต้น

2.2.1.2 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกอัลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบหลัก (Aldehyde volatile oil) น้ำมันหอมระเหยที่สำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่ น้ำมันอบเชย น้ำมันจากส้ม มะนาว และตะไคร้หอม ตัวอย่างอัลดีไฮด์ที่พบ ได้แก่ ซิโตรนีลแลล (Citronellal), เบนซอลดีไฮด์ (Benzaldehyde), ซิตรัล (Citral), ซินนามอลดีไฮด์ (Cinnamaldehyde) และวานิลลิน (Vanillin)

2.2.1.3 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกเอสเทอร์เป็นองค์ประกอบหลัก (Ester volatile oil) น้ำมันในกลุ่มนี้ ได้แก่ น้ำมันมัสตาร์ด ซึ่งพบแอลลิลไอโซไธโอไซยาเนต (Allyl-isothiocyanate) และน้ำมันจากต้นเชคคอเบอรี (Wintergreen oil) ซึ่งพบเมธิลซาลิไซเลต (Methyl salicylate)

2.2.1.4 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกคีโตนเป็นองค์ประกอบหลัก (Ketone volatile oil)
น้ำมันในกลุ่มนี้ได้แก่ การบูร โดยคีโตนที่พบ ได้แก่ เมนโตน (Mentone), คาร์โวนไปเปอริโตน (Cavone piperitone) และพูลีโกน (Pulegone) ซึ่งเป็นมอโนไซคลิกเทอร์พีนคีโตน(Monocyclic terpene-ketone) นอกจากนี้ยังพบไดไซคลิกคีโตน เช่น แคมเฟอร์ (Camphor) เฟนโชน (Fenchone) และทูโจน (Thujone)

2.2.1.5 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก (Oxide volatile oil)
น้ำมันในกลุ่มนี้ ได้แก่ น้ำมันยูคาลิปตัส ซึ่งพบซีนีออล (Cineole)

2.2.1.6 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกฟีนอลเป็นองค์ประกอบหลัก (Phenol volatile oil)
ฟีนอลที่พบ ได้แก่ ยูจีนอล ไทมอล และคาวาครอล (Cavacrol) น้ำมันในกลุ่มนี้ ได้แก่ กานพลู ไธม์ คลีโอโซต (Creosote) น้ำมันสน (Pine oil) และน้ำมันสนจำพวกจูนีเปอร์ (Juniper oil)

2.2.1.7 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก (Hydrocarbon volatile oil)
น้ำมันในกลุ่มนี้ ได้แก่ Limonene ซึ่งพบได้ในน้ำมันจากส้ม กระวาน และ p-cymene ซึ่งพบในน้ำมันจากลูกผักชี

2.2.1.8 น้ำมันหอมระเหยที่มีสารพวกฟีนอลิกอีเทอร์เป็นองค์ประกอบหลัก (Phenolic ether volatile oil)
น้ำมันหอมระเหยในกลุ่มนี้ ได้แก่ น้ำมันโป๊ยกั๊ก ซึ่งพบอะนีโธล (Anethole), น้ำมันจันทน์เทศ และน้ำมันแซสซาฟรัส (Sassafras) พบซาโฟล (Safrole)

2.2.2 ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งจุลินทรีย์

ปัจจุบันมีการศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยเป็นสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ โดยน้ำมันแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากมีองค์ประกอบต่างกัน (Burt, 2004) จากคุณสมบัตินี้เอง จึงมีการประยุกต์ใช้น้ำมันหอมระเหยในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อทดแทนการใช้วัตถุกันเสียในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารและเป็นการเพิ่มคุณภาพการเก็บรักษาของอาหารด้วย

บัญญัติ สุขศรีงาม (2518) ได้ทดลองใช้เครื่องเทศ 26 ชนิด ได้แก่ กระชาย ขิงแก่ ขิงอ่อน ข่า ขมิ้นขาว ขมิ้นเหลือง ตะไคร้ กะเพรา มะกรูด แมงลัก สะระแหน่ โหระพา พริกขี้หนูผลยาว พริกขี้หนูผลสั้น พริกชี้ฟ้า หอมแดง กระเทียม กานพลู ดอกจันทน์ พริกไทย ไพล ลูกกระวาน ลูกจันทน์ ผักชี ยี่หร่า และอบเชย กับแบคทีเรีย 33 ชนิด พบว่าน้ำมันหอมระเหยในเครื่องเทศสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าเครื่องเทศที่ไม่สกัดน้ำมัน โดยน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 20% ขึ้นไปมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด

Pradhan และคณะ (1999) ศึกษาการยับยั้งจุลินทรีย์ของพริกเขียว พบว่ามี 2 องค์ประกอบหลักที่อยู่ในกลุ่มฟีนอลคือ 3,4-dihyroxyphenyl ethanol glucoside และ 3,4-dihydroxy-6-(N-ethylamino) Benzamide สามารถยับยั้ง *E.coli , S. aureus* และ *B. cereus* ได้

Tassou และคณะ (2000) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของใบสะระแหน่ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากใบสะระแหน่ที่ความเข้มข้น 0 - 1.2%โดยปริมาตร สามารถยับยั้ง *Salmonella* spp. และ *S. aureus* ได้

Singh และคณะ (2003) ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้ง *L. monocytogenes* โดยใช้น้ำมันหอมระเหยจากไธม์ (Thyme) กานพลู (Clove) พิเมนโต (Pimento) โรสแมรี (Rosemary) และสาเก ผลการทดลองพบว่าไธม์และกานพลูสามารถยับยั้ง *L. monocytogenes* ได้ดีที่สุดโดยมีค่า MIC เท่ากับ 1 ml/l จากนั้นจึงนำน้ำมันหอมระเหยจากไธม์และกานพลูมาทดสอบกับฮอทดอก ซึ่งกานพลูมีประสิทธิภาพในการยับยั้ง *L. monocytogenes* ในฮอทดอกได้ดีกว่าไธม์ นอกจากนี้ยังพบว่าในฮอทดอกที่มีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ไธม์และกานพลูมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียลดลง เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยส่วนใหญ่เกิดอันตรกิริยา (Interaction) กับไขมันในอาหาร จึงทำปฏิกิริยากับแบคทีเรียได้ลดลง

Nguefack และคณะ (2004) ได้ประเมินความสามารถของน้ำมันหอมระเหยจากพืช 5 ชนิดต่อการควบคุมการเน่าเสียของอาหารและการผลิตสารพิษจากเชื้อรา 5 ชนิดด้วยวิธี agar dilution method พบว่าสารสกัดที่ได้จากขิงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราโดยมีค่า MIC ระหว่าง 800 - 2500 ppm และยังพบว่าสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 5 ชนิดได้แก่ *B. cereus*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *E. coli* และ *Samonella infantis* โดยมีค่า MIC ระหว่าง 165 - 650 มิลลิกรัมต่อลิตร

Thongson และคณะ (2005) ศึกษาประสิทธิภาพของสมุนไพรไทยในการยับยั้ง *Salmonella* spp. และ *L. monocytogenes* โดยใช้วิธี agar dilution method ผลการทดลองพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากขิง กระชาย และขมิ้น มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง *Salmonella* spp. และ *L. monocytogenes* โดยน้ำมัน

หอมระเหยจากกระชายมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญได้ดีที่สุด ซึ่งมีค่า MIC เท่ากับ 0.4% โดยปริมาตร ในส่วนของน้ำมันหอมระเหยจากขิงและขมิ้น มีค่า MIC เท่ากับ 0.6 และ 10% โดยปริมาตร ตามลำดับ

Vuddhakul และคณะ (2007) ศึกษาการใช้สมุนไพรไทยในการยับยั้งการเจริญของ *Vibrio parahaemolyticus* โดยใช้วิธี disc diffusion method พบว่ากระเทียม ข่า และมะนาว มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเชื้อชนิดนี้

2.2.3 น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรไทย

คนไทยใช้สมุนไพรและเครื่องเทศมาเป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อเพิ่มรสชาติและกลิ่นรสของอาหาร ซึ่งสมุนไพรแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันออกไป เช่น ยูจินอล (Eugenol) จากโหระพา หรือซินนามาลดีไฮด์ (Cinnamaldehyde) จากขมิ้น เป็นต้น (Burt, 2004) มีหลายงานวิจัยที่ใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรไทยในการเพิ่มความปลอดภัยของอาหาร เพื่อใช้ยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ หรือในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา

2.2.3.1 กระเทียม (Garlic)

รูปที่ 2.2 ลักษณะของกระเทียม

ที่มา : http://www.thaifoodtoworld.com/home/ingredientdetail.php?ingredient_id=1

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กระเทียมมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Allium sativum* Linn. ชื่อสามัญคือ Garlic จัดอยู่ในวงศ์ ALLIACEAE ชื่ออื่นๆ ได้แก่ หอมเทียม (ภาคเหนือ) เทียน หัวเทียน (ภาคใต้) กระเทียม (ภาคกลาง) ลักษณะทั่วไปเป็นพืชล้มลุกที่มีลำต้นใต้ดิน เรียกว่าหัว หัวมีกลีบย่อยหลายกลีบติดกันแน่น เนื้อสีขาว มีกลิ่นฉุนเฉพาะบางครั้งในหัวมีกลีบเดียว เรียกว่า กระเทียมโทน หัวค่อนข้างกลม ใบยาวแบน ปลาย

แหลม ภายในกลวง ดอกรวมกันเป็นกระจุกที่ปลายก้านช่อ ดอกสีขาวเหลืองอมชมพูม่วงผลมีขนาดเล็ก (วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม, 2542)

องค์ประกอบทางเคมี

กระเทียมมีน้ำมันหอมระเหยอยู่บริเวณส่วนกลีบประมาณ 1 - 3% น้ำมันหอมระเหยจากกระเทียมมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ อัลลิอิน (Alliin) (-S-allyl-L-cysteine-sulfoxide) ซึ่งเป็นสารประกอบซัลเฟอร์ที่มีกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบ เมื่อเซลล์กระเทียมแตกออก เอนไซม์ซี-เอสไลเอส (C-S lyase) หรือ อัลลินเอส (Allinase) จะเปลี่ยน อัลลิอิน เป็น อัลลิซิน (Allicin) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ (Holub et al., 2002) โดยสารนี้จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจหรือการเจริญของเซลล์จึงเป็นผลให้จุลินทรีย์ถูกทำลาย Willis (1956) พบว่าการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เกิดจากหมู่ซัลฟ์ไฮดริล (Sulfhydryl; SH) ของเอนไซม์ มารวมกับหมู่ -S-O-S- ในโครงสร้างของอัลลิซิน ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ จากงานวิจัยของ Elsom และคณะ (2000) พบว่าสารสกัดจากกระเทียมมีคุณสมบัติในการยับยั้ง *E. coli*, และ *S. aureus* โดยมีค่า MIC เท่ากับ 32 และ 25.6 µg/mL ตามลำดับ นอกจากนี้ Sallam และคณะ (2004) ประยุกต์ใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมในไส้กรอกไก่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ^{o}C พบว่าสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศในการเจริญ (Aerobic plate count) ได้ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาไส้กรอกได้ 21 วัน ในขณะที่ Rattanachaikunsopon และ Phumkhachorn (2009) พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากกระเทียมสามารถยับยั้งการเจริญของ *Vibrio cholera*e และเมื่อนำไปประยุกต์ในแหนมพบว่าน้ำมันหอมระเหยกระเทียมที่ระดับความเข้มข้น 1500 ppm ไม่พบการเจริญของ *V. cholera*e ตลอดอายุการเก็บรักษา

2.2.3.2 ตะไคร้ (Lemongrass)

รูปที่ 2.3 ลักษณะของตะไคร้

ที่มา : http://www.thai-food-online.co.uk/images/products/fresh_herbs/lemongrass.jpg

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ตะไคร้มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cymbopogon citratus* ชื่อสามัญคือ Lemongrass จัดอยู่ในวงศ์ GRAMINEAE ชื่ออื่นๆ ได้แก่จะไค (Cha-khai) จะไค้ (Cha-khai) ไคร (Khrai) และซีเร (Sere) เป็นต้น ลักษณะทั่วไปเป็นพืชล้มลุกที่มีอายุได้หลายปี ชอบดินร่วนซุย ปลูกได้ตลอดปี ใบสีเขียวยาว แหลม ดอกฟูสีขาว หัวโตขึ้นจากดินเป็นกอๆ กลิ่นหอมฉุนค่อนข้างร้อน (วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม, 2542)

องค์ประกอบทางเคมี

ใบและลำต้นของตะไคร้ประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยประมาณ 0.2 - 0.4% ประกอบด้วยสารสำคัญ ได้แก่ citral, myrcene, geraniol, citronellal, caryophyllene, 6-methyl hept-5-en-3-one, linalool, cis-β-ocimene, trans-β-ocimene และ limonene (Kasali และคณะ, 2001) โดย citral เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ (65 - 80%) (Saddiq และ Khayyat, 2010) จากงานวิจัยของ Adegoke และ Odesola (1996) ศึกษาการยับยั้งจุลินทรีย์ โดยใช้การทดสอบด้วยวิธี disc diffusion method พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli*, *Pseudomonas fluorescens* และ *S. aureus* ได้ โดยวัดจากโซนการยับยั้งได้ 36$\pm$0.2, 35$\pm$0.3 และ 30$\pm$0.1 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ Cimanga และคณะ (2002) พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ เมื่อนำมาทดสอบด้วยวิธี disc diffusion methodสามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli*, *B. subtilis*, *P. aeruginosa* และ *S.* Typhimurium ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ก่อโรคในอาหารได้ นอกจากนี้ Tzortzakis และ Economakis (2007) พบว่าน้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum coccodes, Botrytis cinerea, Cladosporium herbarum, Rhizopus stolonifer* และ *Aspergillus niger*

2.2.3.3 กะเพรา (Holy Basil)

รูปที่ 2.4 ลักษณะของกะเพรา

ที่มา : http://thailand-an-field.blogspot.com/2009/11/ocimum-sanctum-labiatae-4-5-3-5.html

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กะเพรามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ocimum sanctum,* Linn. ชื่อสามัญคือ Sacred Basil, Holy Basil จัดอยู่ในวงศ์ LABRATAE ชื่ออื่นๆ ได้แก่กอมก้อ กอมก้อดง (เชียงใหม่) ห่อกวอซู ห่อตูปลู (กะเหรี่ยงแม่ฮ่องสอน) อิ่มคิมหลำ (เงี้ยว แม่ฮ่องสอน) กะเพราขน กะเพราขาว กะเพราแดง (กลาง) และ อีตู่ไทย (ตะวันออกเฉียงเหนือ) ลักษณะทั่วไปเป็นไม้ล้มลุก แตกกิ่งก้านสาขา สูง 30 - 60 ซม. ลำต้นค่อนข้างแข็ง ตามลำต้นมีขน ใบเป็นใบเดี่ยว การเกาะติดของใบบนกิ่งแบบตรงข้ามสลับตั้งฉาก เรียงตรงข้ามรูปรี กว้าง 1 - 3 ซม. ยาว 2.5 - 5 ซม. ใบปลายแหลมหรือมน โคนแหลม ขอบจักฟันเลื่อยและเป็นคลื่น แผ่นใบมีขน ดอกเป็นแบบช่อฉัตร ออกบริเวณปลายยอดและปลายกิ่ง ยาว 8-10 ซม. ดอกย่อยมีขนาดเล็ก รูปคล้ายระฆัง กลีบดอกมีทั้งชนิดสีขาวลายม่วงแดงและสีขาว โคนกลีบเชื่อมติดกันเป็นกรวย ส่วนปลายแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนบนแยกเป็น 4 กลีบปลายแหลมเรียว ส่วนล่างมีกลีบเดียวค่อนข้างกลม ผิวกลีบด้านในเกลี้ยง ด้านนอกมีขนตามโคนกลีบ กลีบเลี้ยงสีแดงน้ำตาลแกมม่วง และสีเขียว เนื้อกลีบแข็ง ส่วนโคนเชื่อมติดกันเป็นกรวย ส่วนปลายแยกเป็นกลีบปลายแหลมแบบหนามก้านดอกย่อยสีเขียว ยาวประมาณ 0.2 - 0.3 ซม. ผลแห้งแล้วแตกออก เมล็ดเล็ก รูปไข่ สีน้ำตาล มีจุดสีเข้ม เมื่อนำไปแช่น้ำเปลือกหุ้มเมล็ดพองออกเป็นเมือก (วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม, 2542)

องค์ประกอบทางเคมี

ใบกะเพราประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยประมาณ 0.5-0.8% เมื่อนำน้ำมันมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง GC พบว่า มีองค์ประกอบหลักเป็น eugenol (13.21%) องค์ประกอบอื่นๆ คือ cisocimene (7.47%), germacrene-D (4.25%), transcaryophyllene (1.69 %) และ β-pinene (1.1%) (Matasyoh et.al, 2007) โดย eugenol มีคุณสมบัติเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ ซึ่งองค์ประกอบนี้สามารถรวมตัวกับชั้นไขมันของแบคทีเรีย ทำให้ผนังเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดเป็นช่องว่าง ทำให้สารต่างๆ ภายในเซลล์ไหลออกมานอกเซลล์ โดยในปี 2550 ปทุม อรุณวัชรินทร์และคณะ ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการเป็นสารต้านจุลินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหยจากกระเพราพบว่า น้ำมันหอมระเหยจากกระเพรามีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* และ *S.* Typhimurium, *Lactobacillus plantarum* และ *L. cellobiosus* (MIC อยู่ในช่วง 0.1 - 0.2%โดยปริมาตร) และยับยั้งการเจริญของรา 4 ชนิด คือ *Aspergillus flavus*, *A. niger, A. parasiticus* และ *Fusarium oxysporum* โดยมีค่า MIC อยู่ในช่วง 0.1 - 0.3%โดยปริมาตร ในขณะที่ดวงฤดี หวั้นหนู และคณะ (2553) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการเป็นสารต้านจุลินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหยจากกระเพรา โดยวิธี disc diffusion method ผลการทดลองพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากกระเพรามีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของ *B. cereus*, *Leuconostoc mesenteroid*, *L. plantarum* และ *S. aureus* ได้ดี โดยมีค่า MIC เท่ากับ 2000 ppm และให้ค่าเฉลี่ย zone of inhibition เท่ากับ 21.1, 16.43, 16.13 และ 12 มิลลิเมตร ตามลำดับ

2.3 การบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (Modified Atmosphere Packaging)

การบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (Modified Atmosphere Packaging; MAP) หมายถึง การปรับองค์ประกอบบรรยากาศรอบ ๆ ผลิตภัณฑ์ให้แตกต่างจากองค์ประกอบของบรรยากาศปกติ โดยปรับองค์ประกอบของบรรยากาศเฉพาะตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษาเท่านั้น (Wolfe, 1980) โดยทั่วไปนิยมใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซออกซิเจน (O_2) ซึ่งอาจใช้เพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร (Blakistone, 1998)

2.3.1 ชนิดของก๊าซที่ใช้ในการปรับสภาวะบรรยากาศ

ก๊าซที่ใช้ในการปรับสภาพบรรยากาศได้แก่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซออกซิเจน (O_2) รวมถึงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) นอกจากนี้ยังมีการใช้ก๊าซอื่น ๆ บ้าง เช่น ไนตรัส (N_2O) ไนตริกออกไซด์ (NO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เอทิลีน (C_2H_4) คลอรีน (Cl_2) โอโซน (O_3) และโพรพิลีนออกไซด์ (PO) ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้แต่ต้องพิจารณาถึงชนิดของผลิตภัณฑ์ ความปลอดภัย ราคาในการลงทุน และกฎหมายเป็นสำคัญ (US Food and Drug Administration, 2001) ซึ่งอาจใช้ก๊าซเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดร่วมกันขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ชนิดและจำนวนจุลินทรีย์ในอาหาร

ก๊าซออกซิเจน (O_2)

ในอากาศปกติจะมีก๊าซออกซิเจนประมาณ 20.9% ปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของอาหารที่มีออกซิเจนเกี่ยวข้องได้แก่ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation) และปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning reaction) โดยก๊าซออกซิเจนที่ความเข้มข้นมากกว่า 60% ขึ้นไป สามารถรักษาสีแดงสดและกลิ่นของเนื้อให้นานขึ้น (Stiles, 1991) ซึ่ง MAP ที่ใช้กับเนื้อต้องมีก๊าซออกซิเจนที่ความเข้มข้นสูงๆ เนื่องจากก๊าซส่วนหนึ่งจะถูกแบคทีเรียนำไปใช้ ส่วนที่เหลือต้องมีปริมาณมากพอเพื่อรักษาเม็ดสีให้อยู่ในรูปออกซิไมโอโกลบิน แต่มีข้อระวังคืออาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและทำให้แบคทีเรียเจริญได้มากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เนื้อมีกลิ่นผิดปกติเร็วขึ้น แต่ถ้าใช้ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำกว่า 20% ก็ไม่เพียงพอที่จะรักษาสีแดงสดของเนื้อไว้ได้และอายุการเก็บรักษาจะเท่ากับการบรรจุภายใต้อากาศปกติ ซึ่งสอดคล้องกับ Martinez และคณะ (2010) พบว่าก๊าซผสมที่มีออกซิเจนต่ำกว่า 20% ไม่สามารถรักษาสีแดงของเนื้อหมูที่เก็บที่อุณหภูมิ 2 ± 1 ^{o}C ได้ ในส่วนของอาหารที่ไม่ต้อง

คำนึงถึงเรื่องการรักษาสีแดงของผลิตภัณฑ์ ควรมีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน 10 - 15% เพื่อยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคที่สามารถเจริญภายใต้สภาวะที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูง เช่น *Clostridium botulinum* (Church, 1994) อย่างไรก็ตามพบว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 ^{o}C พบว่า *C. botulinum* จะผลิตสารพิษหลังจากผลิตภัณฑ์เน่าเสีย โดย Reddy (1997) ศึกษาการผลิตสารพิษของ *C. botulinum* Type E ในปลาดุก เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปร 75% CO_2+25% N_2 ที่อุณหภูมิ 8 ^{o}C พบว่าปลาดุกมีอายุการเก็บรักษา 6 วัน และตรวจพบสารพิษได้ในการเก็บรักษาวันที่ 9

ก๊าซไนโตรเจน (N_2)

ในอากาศปกติมีก๊าซไนโตรเจนประมาณร้อยละ 79 การใช้ก๊าซไนโตรเจนภายใต้การบรรจุแบบ MAP มีวัตถุประสงค์เพื่อแทนที่ก๊าซออกซิเจนและรักษาความดันภายในภาชนะบรรจุมิให้ลดต่ำเกินไป เนื่องจากก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนจะสูญหายไประหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้นิยมใช้ก๊าซไนโตรเจนเพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ด้วย Coventry และคณะ (1998) พบว่าเนื้อวัวที่บรรจุภายใต้สภาวะ 80% O_2+20% CO_2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -1 ^{o}C มีปริมาณ TBA เท่ากับ 24 μg malonaldehyde/g ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าการบรรจุเนื้อวัวภายใต้สภาวะ 80% N_2+20% CO_2 (3 μg malonaldehyde/g) เมื่ออายุการเก็บรักษา 42 วัน

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ในอากาศปกติจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงร้อยละ 0.03 ในการบรรจุเนื้อภายใต้ MAP มีจุดประสงค์เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะยืดระยะ lag phase และลดอัตราการเจริญ (Growth rate) โดยคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายในน้ำและไขมันที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์และเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก เมื่อเข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์แล้วจะเกิดการแตกตัวได้เป็นไบคาร์บอเนตไอออนและไฮโดรเจนอิออน จากปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้ค่า pH ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ลดลง ซึ่งประสิทธิภาพของคาร์บอนไดออกไซด์ในการยับยั้งหรือชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ขึ้นกับความเข้มข้นของก๊าซ ปริมาณน้ำและไขมันที่มีอยู่ภายในตัวอาหาร (Gill และ Tan, 1980 และ McMillin, 2008)

ข้อดี และข้อเสียของการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (MAP)

ในปัจจุบันพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ถูกบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้มากขึ้น เนื่องจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค MAP นั้นก่อให้เกิดผลดีทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค Farber (1990) และ เนตรนรินทร์ ขุนสูงเนิน (2546) ได้ระบุข้อดีและข้อเสียของการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ได้แก่

1. เพิ่มอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็น 2 - 3 เท่า
2. รักษาความสดและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา เช่น การรักษาสีแดง สดในเนื้อ
3. สร้างภาพลักษณ์ของสินค้าให้เป็นที่สะดุดตาของผู้บริโภค เนื่องจากสามารถเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ (Package) ได้หลายรูปแบบ
4. ลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่เน่าเสีย เพิ่มพื้นที่การจำหน่าย ประหยัดค่าขนส่ง เนื่องจากลดความถี่ในการส่งสินค้า
5. ไม่ต้องใช้หรือใช้สารเคมีในการถนอมอาหาร (Chemical preservative) เพียงเล็กน้อย

ข้อเสียของการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (MAP) มีดังนี้ คือ

1. ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เนื่องจากต้องใช้เครื่องมือสำหรับการบรรจุและการปิดผนึก
2. จำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา
3. อัตราส่วนของก๊าซแต่ละชนิดไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์
4. จำเป็นต้องควบคุมและพิจารณาการเจริญและผลิตสารพิษ (Toxin) จากจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogenic microorganism) ที่สามารถเจริญภายใต้สภาวะที่มี CO_2 เช่น *C. botulinum*

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Boskou และ Debevere (1997) พบว่า MAP สามารถยับยั้งการเจริญของ *S. putrefaciens* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียจำเพาะ (Specific spoilage microorganism) ในสัตว์น้ำ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 จะสามารถยับยั้งการเจริญของ *S. putrefaciens* โดยที่สภาวะ 60% CO_2+30% O_2+ 10% N_2 สามารถยับยั้งการเจริญของ *S. putrefaciens* ดีที่สุด

Mejlholm และ Dalgaard (2002) พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนสามารถยับยั้งเชื้อ *Photobacterium phosphoreum* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียและเมื่อใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนร่วมกับการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปรที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาปลาคอดได้เป็น 21 - 26 วันที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2 °C เมื่อเทียบกับสภาวะควบคุมที่มีอายุการเก็บรักษา 11 - 12 วัน

Goulas และ Kontominas (2007) พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร 40% CO_2+30% O_2+30% N_2 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาปลากะพงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±5 ^{o}C ได้นานถึง 2 เท่าเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการบรรจุแบบบรรยากาศเพียงอย่างเดียว

พายัพ มาศนิยม และคณะ (2552) ศึกษาผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของหอยแมลงภู่ พบว่า การใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ (0.25%โดยปริมาตร) ร่วมกับการเก็บรักษาที่สภาวะ 80% CO_2+20% N_2 สามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะควบคุมที่บรรยากาศปกติ นอกจากนี้ยังสามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในหอยแมลงภู่ได้อีกด้วย

Chouliara และคณะ (2007) ศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนร่วมกับสภาวะบรรยากาศดัดแปรในเนื้อไก่ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโน 0.1%โดยปริมาตรส่งผลให้เนื้อไก่มีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 9 วันเมื่อเทียบกับสภาวะบรรยากาศปกติที่มีอายุการเก็บรักษาเพียง 6 วัน ในขณะที่การใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (70% CO_2+30% N_2) ร่วมกับน้ำมันหอมระเหยออริกาโนสามารถยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อไก่ได้ 12 วัน

Cadun และคณะ (2008) ศึกษาการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากสารสกัดจากโรสแมรีในผลิตภัณฑ์กุ้ง ที่อุณหภูมิ 1±0.5 ^{o}C ผลการทดลองพบว่าสารสกัดจากโรสแมรี มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมด แบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ (Psychrotrophic bacteria) ยีสต์รา และแบคทีเรียแลคติก ส่งผลให้กุ้งมีอายุการเก็บรักษา 75 วัน โดยมีค่า TVB-N ซึ่งเป็นดัชนีการเสื่อมเสียของกุ้งมีค่าเท่ากับ 5.6 mg N/100 g เมื่อเทียบกับสภาวะปกติซึ่งมีค่า TVB-N เท่ากับ 7.5 mg N/100 g

Nirmal และ Benjakul (2011) พบว่าการใช้สารสกัดชาเขียว (1 g/L) ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (50% CO_2+30% O_2+30% N_2) ในกุ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C ส่งผลต่อการลดจำนวนลงของแบคทีเรียชนิด Psychrotrophic, Enterobacteriaceae และปริมาณ H_2S อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาได้ 10 วัน เมื่อเทียบกับกุ้งที่สภาวะควบคุม

Mastromatteo และคณะ (2010) พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยจากออริกาโนที่ระดับความเข้มข้น 1000 ppm ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร 5% O_2+95% CO_2 ในกุ้ง มีผลต่อจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิปานกลาง (Mesophile) ลดลง 2 log cycle และส่งผลให้กุ้งมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 14 วันเมื่อเทียบกับสภาวะบรรยากาศปกติที่มีอายุการเก็บรักษา 5 วัน

บทที่ 3 อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 กุ้ง

กุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) ซึ่งเด็ดหัวและแกะเปลือกออก ขนาด 100 - 110 ตัว/กก. บรรจุตัวอย่างในถุงพลาสติก PE และบรรจุทับด้วยน้ำแข็งในกล่องโฟมขณะขนส่งมาห้องปฏิบัติการ

รูปที่ 3.1 กุ้งขาว

3.1.2 น้ำมันหอมระเหย

- น้ำมันหอมระเหยกระเทียม (อุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีน, กรุงเทพ)
- น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ (อุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีน, กรุงเทพ)
- น้ำมันหอมระเหยกะเพรา (อุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีน, กรุงเทพ)

รูปที่ 3.2 น้ำมันหอมระเหยกระเทียม ตะไคร้ และ กะเพรา

3.1.3 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

- *Escherichia coli* (ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มจธ.)
- *Staphylococcus aureus* (ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มจธ.)
- *Salmonella* Typhimurium (ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มจธ.)
- *Vibrio parahaemolyticus* (ฝ่ายวิทยาศาสตร์ชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.))
- *Shewanella putrefaciens* (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข)

3.2 วัสดุ

- ฟิล์มพลาสติกชนิดไนลอน/พอลีเอทิลีน (nylon/polyethylene; nylon/PE) ขนาด 15 x 31 เซนติเมตร หนา 106 ไมโครเมตร ซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2TR) เท่ากับ 140 cm^3/m^2.24hr.atm (23 °C, 0% RH) อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (OTR) เท่ากับ 46.195 cm^3/m^2.24hr.atm (23 °C, 0% RH) และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) เท่ากับ 3.889 g/m^2.24hr (38 °C, 90% RH)
- ฟิล์มพลาสติกชนิดพอลีเอทิลีน (polyethylene, PE) ขนาด 15 x 31 เซนติเมตร หนา 54 ไมโครเมตร ซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2TR) เท่ากับ 8310 cm^3/m^2.24hr.atm (23 °C, 0% RH) อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (OTR) เท่ากับ 3804.952 cm^3/m^2.24hr.atm (23 °C, 0% RH) และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) เท่ากับ 6.375 g/m^2.24hr (38 °C, 90% RH)
- ถาดพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเทอร์ฟะทาเลต (Polyethylene terephthalate, PET) ที่มีขนาด 10.3 x 16.0 x 2.0 เซนติเมตร

3.3 อุปกรณ์

- เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius, Model BA210, Germany)
- Conway's dish (Sibata, Model 6031-02A, Japan)
- เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (Metrohm, Model 713, Switzerland)
- เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (Pharmacia Biotech, Model Navaspec II, USA)
- เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (AND, Model HF- 2000, Japan)
- เครื่อง Color spectrophotometer (Hunterlab, Model Ultrascan XE/IX7, USA)

- เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Stable micro system, Model TA-XT2i, England)
- เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) (NOVASINA, model TH 500, Switzerland)
- เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Oxybaby®V O_2/CO_2, WITT-Gasetchnik, Germany)
- ตู้บ่มเพาะเชื้อจุลินทรีย์ (SHEL LAB, Model 1535, Thailand)
- หม้อนึ่งฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ (Astell, Model ANA 204S, England)
- ตู้ปลอดเชื้อจุลินทรีย์ (Access Bio Science, Model HF safe 1500, Germany)

3.4 สารเคมี

- 95% ethanol (Merck, Germany)
- Tween 80 (Rankem, India)
- boric acid (Merck, Germany)
- potassium carbonate (Ajax Finechem, Australia)
- sodium hydroxide (BDH Laboratory, England)
- trichloroacetic acid (Fisher Scientific, UK)
- formaldehyde (Carlo Erba, Italy)

3.5 อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

- Nutrient broth (HIMEDIA, India)
- Standard plate count agar, PCA) (Oxoid, UK)
- MacConkey Agar (Merck, USA)

3.6 วิธีการทดลอง

3.6.1 การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์

เตรียมเชื้อ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* Typhimurium, *Vibrio parahaemolyticus* และ *Shewanella putrefaciens* โดยนำเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดมาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ nutrient broth ที่เติม Tween 80 (ความเข้มข้นสุดท้าย 1%โดยปริมาตร) แล้วนำไปเพาะเลี้ยงที่

อุณหภูมิ 35±2 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเชื้อที่ได้มาปรับความขุ่นใน nutrient broth ที่ปราศจากเชื้อจนมีความขุ่นเท่ากับสารละลายมาตรฐาน McFarland tube number 0.5 (ภาคผนวก ก) โดยใช้เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm. (OD_{600}) ซึ่งจะได้เชื้อจุลินทรีย์ประมาณ $1.5x10^8$ cfu/mL จากนั้นนำมาเจือจาง 100 เท่าด้วย nutrient broth จะได้จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ $1.5x10^6$ cfu/mL ตรวจสอบจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่แท้จริงโดยนำเชื้อของจุลินทรีย์แต่ละชนิดมาเจือจาง 10^3 - 10^6 เท่า โดยใช้ 0.85% normal saline จากนั้นนำมาเลี้ยงบนอาหาร nutrient agar และบ่มที่อุณหภูมิ 35±2 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.6.2 ศึกษาชนิดและความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

3.6.2.1 การเตรียมน้ำมันหอมระเหย

- น้ำมันหอมระเหยกระเทียม

เตรียม stock solution โดยนำน้ำมันหอมระเหยกระเทียม ปริมาตร 1,826 ไมโครลิตร (ความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหยเท่ากับ 1.0954 กรัมต่อมิลลิลิตร) มาปรับปริมาตรด้วย nutrient broth (ซึ่งเติม Tween 80 ที่ความเข้มข้น 1%v/v) ให้มีปริมาตรทั้งหมด 10 มิลลิลิตร จะได้น้ำมันหอมระเหยที่มีความเข้มข้น 200 mg/mL (ภาคผนวก ก)

- น้ำมันหอมระเหยกะเพรา

เตรียม stock solution โดยนำน้ำมันหอมระเหยกะเพรา ปริมาตร 4,133 ไมโครลิตร (ความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหยเท่ากับ 0.9678 กรัมต่อมิลลิลิตร) มาปรับปริมาตรด้วย nutrient broth (ซึ่งเติม Tween 80 ที่ความเข้มข้น1% v/v) ให้มีปริมาตรทั้งหมด 10 มิลลิลิตร จะได้น้ำมันหอมระเหยที่มีความเข้มข้น 400 mg/mL (ภาคผนวก ก)

- น้ำมันหอมระเหยตะไคร้

เตรียม stock solution โดยนำน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ ปริมาตร 2,851 ไมโครลิตร (ความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหยเท่ากับ 0.8768 กรัมต่อมิลลิลิตร) มาปรับปริมาตร nutrient broth (ซึ่งเติม Tween 80 ที่ความเข้มข้น 1%v/v) ให้มีปริมาตรทั้งหมด 10 มิลลิลิตร จะได้น้ำมันหอมระเหยที่มีความเข้มข้น 250 mg/mL (ภาคผนวก ก)

3.6.2.2 การหาความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Minimum inhibitory concentration; MIC) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันหอมระเหยที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ถึง 99.9% (Minimum bactericidal concentration; MBC)

การหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Minimum inhibitory concentration; MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ถึง 99.9% (Minimum bactericidal concentration; MBC) ใช้วิธี broth dilution ซึ่งดัดแปลงจากวิธีการของ Hussain และคณะ (2008) โดยนำน้ำมันหอมระเหยที่เตรียมได้จากข้อ 3.6.2.1 ที่แต่ละความเข้มข้นมา 0.4 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ nutrient broth (เติม Tween 80 ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร) ปริมาณ 3.2 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้น $1.5x10^{6}$cfu/mL จากการเตรียมในข้อ 3.6.1 ใส่ลงไปหลอดละ 0.4 มิลลิลิตร และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35$\pm$2 ^{o}C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค่า MIC รายงานจากความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยต่ำสุดของสารละลายมีลักษณะไม่ขุ่น ในส่วนของค่า MBC ทำโดยนำหลอดทดสอบที่อาหารเลี้ยงเชื้อมีลักษณะใสทุกหลอดมาเลี้ยงในอาหาร nutrient agar โดยใช้วิธี spread plate โดยค่า MBC สังเกตจากจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่พบการเจริญเมื่อนำมาเลี้ยงในอาหาร nutrient agar

3.6.2.3 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยและระยะเวลาในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

นำน้ำมันหอมระเหยที่มีความเข้มข้นเท่ากับค่า MBC ที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.6.2.2 มา 0.4 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ nutrient broth (เติม Tween 80 ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร) ปริมาณ 3.2 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตเชื้อจุลินทรีย์จากการเตรียมในข้อ 3.6.1 ใส่ลงไป 0.4 มิลลิลิตร โดยมีหลอดที่ไม่ใส่น้ำมันหอมระเหยเป็นหลอดควบคุม ซึ่ง nutrient broth (เติม Tween 80 ความเข้มข้น 1%โดยปริมาตร) ปริมาตร 3.6 มิลลิลิตร และเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้น $1.5x10^{6}$cfu/mL ที่เตรียมในข้อ 3.6.1 ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร นำหลอดทดลองทั้งหมดไปบ่มที่อุณหภูมิ 35$\pm$2 ^{o}C ทำการตรวจสอบปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธีการ spread plate ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ nutrient agar ทุก 2 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง

3.6.3 ศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษากุ้งสด

3.6.3.1 ผลของการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษากุ้งสด

นำตัวอย่างกุ้งขาวสดที่ปอกเปลือก เด็ดหัวและล้างทำความสะอาดจำนวน 100±5 กรัม วางบนถาดพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเทอร์ฟะทาเลต (Polyethylene terephthalate; PET) ก่อนบรรจุในถุงพลาสติกชนิด nylon/PE ภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ซึ่งแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ 2 ระดับคือ 40% CO_2+60% N_2 (รูปที่ 3.3 ก) และ 60% CO_2+40% N_2 (รูปที่ 3.3 ข) สำหรับตัวอย่างควบคุมจะทำโดยนำตัวอย่างกุ้ง 100±5 กรัม บรรจุลงถาดพลาสติก PET ก่อนบรรจุในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) ภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (รูปที่ 3.3 ค) นำตัวอย่างทั้งหมดมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C และสุ่มตัวอย่างวันที่ 0, 4, 7, 11, 14, 18 และ 21 มาวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ เคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส ดังหัวข้อที่ 3.6.5

(ก) กุ้งในบรรจุภัณฑ์ nylon/ PE ที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2

(ข) กุ้งในบรรจุภัณฑ์ nylon/ PE ที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2

(ค) กุ้งในบรรจุภัณฑ์ PE ที่สภาวะบรรยากาศปกติ

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างกุ้งในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรและสภาวะบรรยากาศปกติ

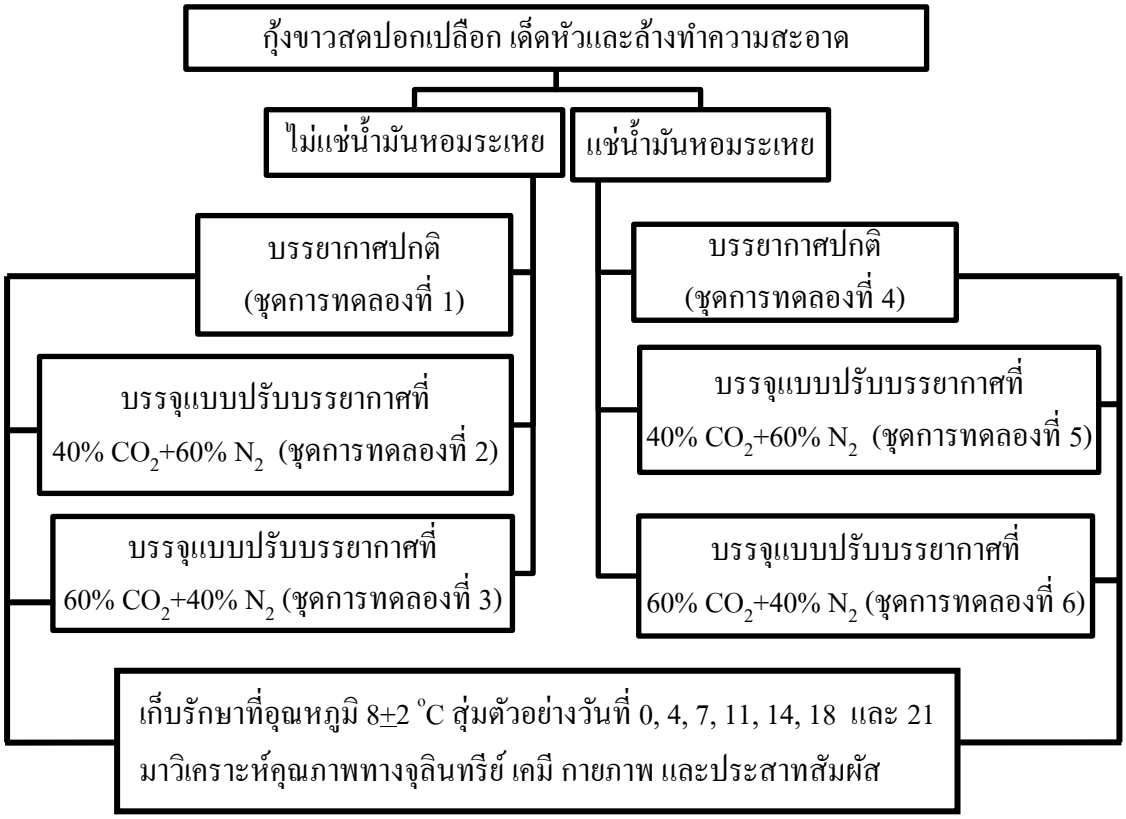
3.6.3.2 ผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษากุ้งสด

นำกุ้งขาวสดที่ปอกเปลือก เด็ดหัวและล้างทำความสะอาดแช่ในน้ำมันหอมระเหยกระเทียม น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ และน้ำมันหอมระเหยกะเพราที่มีความเข้มข้นเท่ากับค่า MBC ของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดตามข้อ 3.6.2 นาน 15 นาที โดยใช้อัตราส่วนของกุ้งสดต่อน้ำมันหอมระเหยเป็น 1:2 ซึ่งลักษณะของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3.4 หลังจากนั้นบรรจุกุ้ง 100±5 กรัม บนถาดพลาสติก PET ก่อนใส่ลงในถุงพลาสติก nylon/PE ภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ซึ่งแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ 2 ระดับคือ 40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2 สำหรับตัวอย่างควบคุมจะทำโดยนำตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยแล้วมาใส่ถุงพลาสติก PE นำตัวอย่างทั้งหมดมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C สุ่มตัวอย่างวันที่ 0, 4, 7, 11, 14, 18 และ 21 มาวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ เคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส ดังหัวข้อที่ 3.6.5

น้ำมันหอมระเหยกระเทียม น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ น้ำมันหอมระเหยกะเพรา

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างกุ้งที่ถูกแช่ในน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดที่สภาวะบรรยากาศปกติ

สำหรับแผนการทดลองทั้งหมดในหัวข้อ 3.6.3 แสดงไว้ดังแผนผังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนผังการทดลองการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกุ้งสด

3.6.4 ศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* ที่ถูกสร้างการปนเปื้อนในกุ้ง

3.6.4.1 ผลของการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* ที่ถูกสร้างการปนเปื้อนในกุ้ง

นำตัวอย่างกุ้งขาวสดปอกเปลือก เด็ดหัวและล้างทำความสะอาด มาทำให้ปลอดเชื้อที่ความดัน 15 lb/in^2 (อุณหภูมิ 121°C) เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำกุ้งมาสร้างการปนเปื้อนโดยนำกุ้งแช่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ nutrient broth ที่มี *E. coli* จำนวน 10^3 cfu/mL (ความเข้มข้นสุดท้ายของเชื้อจุลินทรีย์ประมาณ 10^2 cfu/g) โดยกุ้งที่ถูกสร้างการปนเปื้อน 50±2 กรัม วางลงบนถาดพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเทอร์ฟะทาเลต (Polyethylene terephthalate; PET) ก่อนบรรจุในถุงพลาสติกชนิด nylon/PE ภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ซึ่งแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ 2 ระดับคือ 40% CO_2+60% N_2 (รูปที่ 3.6 ก) และ 60% CO_2+40% N_2 (รูปที่ 3.6 ข) สำหรับตัวอย่างควบคุมจะทำโดยนำตัวอย่างกุ้งที่ถูกสร้างการ

ปนเปื้อน 50±2 กรัม บรรจุลงบนถาดพลาสติก PET ก่อนบรรจุในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) ภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (รูปที่ 3.6 ค) นำตัวอย่างทั้งหมดมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C และสุ่มตัวอย่างทุก 1 วัน มาวิเคราะห์หาการเจริญของ *E. coli* และคำนวณหาอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดและช่วงเวลาที่เกิด lag phase ดังหัวข้อที่ 3.6.6

(ก) กุ้งในบรรจุภัณฑ์ nylon/ PE ที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2

(ข) กุ้งในบรรจุภัณฑ์ nylon/ PE ที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2

(ค) กุ้งในบรรจุภัณฑ์ PE ที่สภาวะบรรยากาศปกติ

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างกุ้งที่ถูกสร้างการปนเปื้อนในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรและสภาวะบรรยากาศปกติ

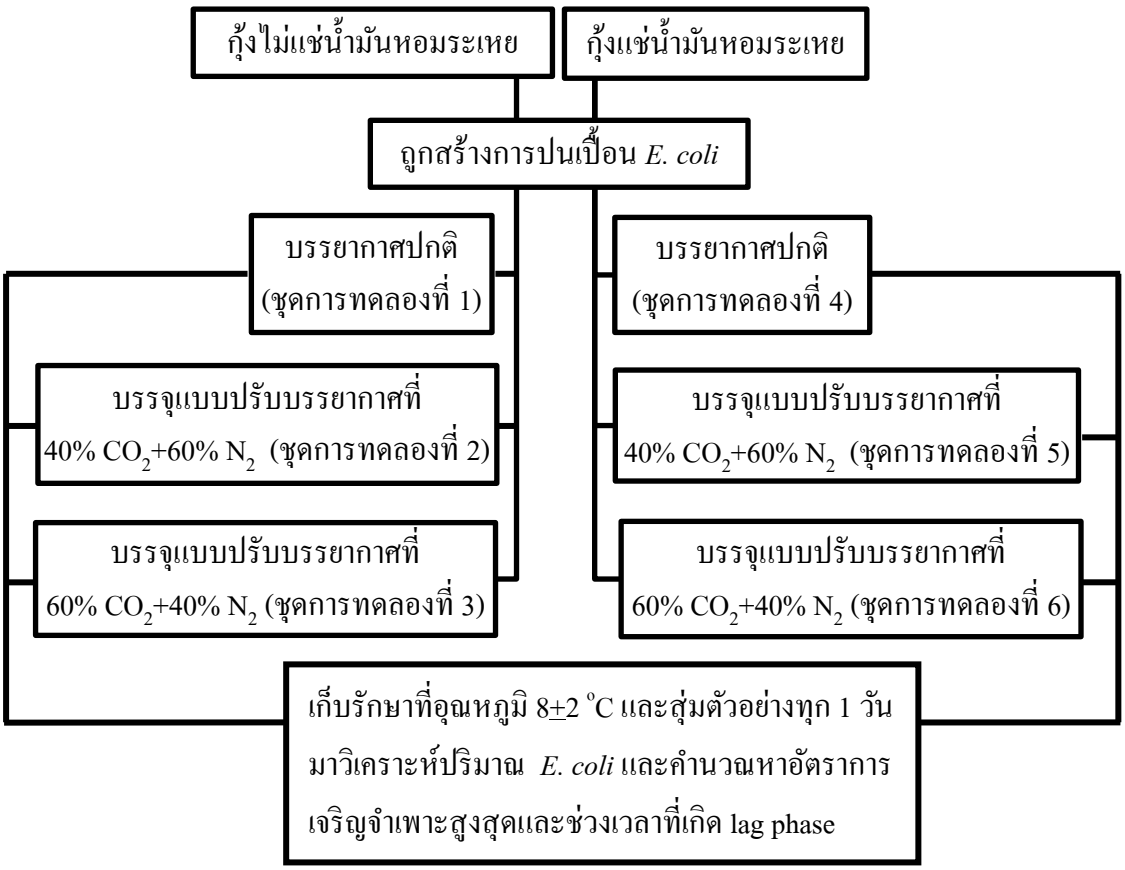
3.6.4.2 ผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* ที่ถูกสร้างการปนเปื้อนในกุ้ง

นำตัวอย่างกุ้งขาวที่ปลอดเชื้อแช่ในน้ำมันหอมระเหยกระเทียม น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ และน้ำมันหอมระเหยกะเพรา ที่มีความเข้มข้นเท่ากับค่า MBC ของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดตามข้อ 3.6.2 เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้อัตราส่วนของตัวอย่างต่อน้ำมันหอมระเหยเป็น 1:2 ซึ่งลักษณะของกุ้งที่ปลอดเชื้อและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3.7 หลังจากนั้นสร้างการปนเปื้อนโดยนำกุ้งแช่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ nutrient broth ที่มี *E. coli* จำนวน 10^3 cfu/mL (ความเข้มข้นสุดท้ายของเชื้อจุลินทรีย์ประมาณ 10^2 cfu/g) บรรจุกุ้ง 50±2 กรัม บนถาดพลาสติก PET ก่อนบรรจุลงในถุงพลาสติกชนิด nylon/PE ภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ซึ่งแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ 2 ระดับคือ 40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2 สำหรับตัวอย่างควบคุมจะทำโดยนำตัวอย่างกุ้งที่ถูกสร้างการปนเปื้อนโดยผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยแล้วมาใส่ถุงพลาสติก PE นำตัวอย่างทั้งหมดมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C และสุ่มตัวอย่างทุก 1 วันมาวิเคราะห์ปริมาณ *E. coli* และคำนวณหาอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดและช่วงเวลาที่เกิด lag phase ดังหัวข้อที่ 3.6.6

น้ำมันหอมระเหยกระเทียม น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ น้ำมันหอมระเหยกะเพรา

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างกุ้งที่ปลอดเชื้อและถูกแช่ในน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิด ที่สภาวะบรรยากาศปกติ

สำหรับแผนการทดลองทั้งหมดในหัวข้อ 3.6.5 แสดงไว้ดังแผนผังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผนผังการทดลองการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* ที่ถูกสร้างการปนเปื้อนในกุ้ง

3.6.5 การวิเคราะห์คุณภาพกุ้ง

3.6.5.1 คุณสมบัติทางจุลินทรีย์

ก. วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามวิธีของ Bacteriological Analytical Manual (BAM, 2001) โดยชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ด้วยวิธีการปลอดเชื้อ ทำการเจือจางโดยปั่นผสมกับ 0.1% peptone 225 มิลลิลิตร จะได้ตัวอย่างที่มีความเจือจางที่ระดับ 10 เท่า ทำการเจือจางเป็นลำดับ (serial dilution) ตามความเหมาะสม เพื่อให้จำนวนโคโลนีที่มีอยู่ในเพาะเชื้อมีจำนวนอยู่ในช่วงระหว่าง 30 - 300 โคโลนี จากนั้นปิเปตตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร เกลี่ยลงในจานเพาะเชื้อ (spread plate) ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) ทำการทดลองระดับความเจือจางละ 3 ซ้ำ นำตัวอย่างบ่มที่อุณหภูมิ 37$\pm$2 °C นาน 24 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นจำนวนโคโลนีต่อกรัมอาหาร (CFU/g) โดยคำนวณจากสมการที่ 3.1

$$\text{ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)} = \text{จำนวนโคโลนีที่นับได้} \times \text{dilution factor} \qquad (3.1)$$

ข. การคำนวณหาอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดและช่วงเวลาที่เกิด lag phase

นำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและระยะเวลาในการเก็บรักษามา fit กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Gompertz (Zwietering et al., 1990) (สมการที่ 3.2) จากนั้นนำมาหาค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (Maximum specific growth rate: μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด lag phase (Lag phase duration: L) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

$$\log N = \log N_0 + a \exp\{-\exp[-b(t-m)]\} \qquad (3.2)$$

โดย N คือ จำนวนจุลินทรีย์ ณ เวลาหนึ่ง (log CFU/g)

N_0 คือ จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น (log CFU/g)

a คือ จำนวนจุลินทรีย์ที่เจริญเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (log CFU/g)

m คือ เวลาที่จุลินทรีย์เจริญสูงสุด (วัน)

b คือ อัตราการเจริญสัมพัทธ์ ณ เวลาที่จุลินทรีย์เจริญสูงสุด (วัน$^{-1}$)

t คือ เวลาการเก็บรักษา (วัน)

$$\mu_{max} = (b.a)/e \quad (3.3)$$

เมื่อ μ_{max} คือ อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (Maximum specific growth rate) (log CFU/g.วัน)
e คือ 2.7182

$$L = m - (1/b) \quad (3.4)$$

เมื่อ L คือ ช่วงเวลาที่เกิด lag phase (Lag phase duration) (วัน)

3.6.5.2 คุณสมบัติทางเคมี

ก. วิเคราะห์ปริมาณไตรเมทิลเอมีน (Trimethyamine; TMA)

นำตัวอย่างกุ้งมาวิเคราะห์ปริมาณไตรเมทิลเอมีน (TMA) โดยวิธี Conway's micro diffusion method (Conway, 1962) ซึ่งเตรียมตัวอย่างโดยนำมาบดที่อุณหภูมิ 4±2 °C จากนั้นนำตัวอย่าง 2 กรัม มาเติมสารละลายไตรคลอโรอะซิติก 4% (w/v) ลงไป 8 มิลลิลิตร บดให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่ 25±2 °C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 ในขั้นตอนการสกัดจะทำโดยเติมสารละลายกรดบอริก 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในวงแหวนด้านในของ Conway's dish ทา Grease ที่ฝา เติมสารที่สกัดได้จากตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรใส่ลงในวงแหวนด้านนอกของ Conway's dish แล้วใส่ neutrilized 10%formaldehyde 1 มิลลิลิตร ลงไปผสมกับตัวอย่าง เติมสารละลายโปแตสเซียมคาร์บอเนตอิ่มตัว 1 มิลลิลิตรใส่ลงในวงแหวนด้านนอกของ Conway's dish ปิดฝาให้สนิทนำ Conway's dish ไปบ่มที่อุณหภูมิ 37±2 °C นาน 60 นาที หลังจากนั้นปิเปตสารละลายกรดบอริคในวงแหวนด้านในของ Conway's dish ไปไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.02 N จนกระทั่งถึงจุดยุติคือสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู นำค่าปริมาตรของสารละลายกรดที่ใช้ในการไตเตรตมาคำนวณค่า TMA ดังสมการที่ 3.5

$$\text{TMA (mg TMA/100g ตัวอย่าง)} = \frac{NV \times 14\,(A-B)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100 \quad (3.5)$$

เมื่อ N = Normality ของกรดไฮโดรคลอริก
A = ปริมาตรของกรดที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
B = ปริมาตรของกรดที่ใช้ในการไตเตรท Blank (มิลลิลิตร)
V = ปริมาณของกรดไตรคลอโรอะซิติกที่ใช้ในการสกัดตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

ข. วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile basic nitrogen; TVB-N)

นำตัวอย่างกุ้งมาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) โดยวิธี Conway's micro diffusion method (Conway, 1962) ทำการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ TMA ในส่วนของขั้นตอนการสกัดจะทำโดยเติมสารละลายกรดบอริก 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในวงแหวนด้านในของ Conway's dish ทา Grease ที่ฝา เติมสารที่สกัดได้จากตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรใส่ลงในวงแหวนด้านนอกของ Conway's dish เติมสารละลายโปแตสเซียมคาร์บอเนตอิ่มตัว 1 มิลลิลิตรใส่ลงในวงแหวนด้านนอกของ Conway's dish ปิดฝาให้สนิทนำ Conway's dish ไปบ่มที่อุณหภูมิ 37$\pm$2 °C นาน 60 นาที หลังจากนั้นปิเปตสารละลายกรดบอริคในวงแหวนด้านในของ Conway's dish ไปไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.02 N จนกระทั่งถึงจุดยุติคือสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู นำค่าปริมาตรของสารละลายกรดที่ใช้ในการไตเตรตมาคำนวณค่า TVB-N ดังสมการที่ 3.6

$$\text{TVB-N (mg N/100g ตัวอย่าง)} = \frac{NV \times 14\,(C-B)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100 \qquad (3.6)$$

เมื่อ N = Normality ของกรดไฮโดรคลอริก

C = ปริมาตรของกรดที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดที่ใช้ในการไตเตรท Blank (มิลลิลิตร)

V = ปริมาณของกรดไตรคลอโรอะซิติกที่ใช้ในการสกัดตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

ค. วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

นำตัวอย่างกุ้งมาวิเคราะห์ค่า pH ตามวิธีของ AOAC (1995) ข้อ 981.12 โดยนำกุ้ง 5 กรัม ปั่นผสมกับน้ำกลั่นที่ผ่านการกำจัดอิออน (deionized water) 45 มิลลิลิตร นำตัวอย่างที่ได้วัดค่า pH ด้วย pH meter

3.6.5.3 คุณสมบัติทางกายภาพ

ก. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์

วิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์กุ้งแต่ละสภาวะโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยเปอร์เซ็นต์

ข. ค่าการสูญเสียน้ำหนัก

นำถาดพลาสติก PET ก่อนบรรจุกุ้งมาชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักถาด (A) จากนั้นนำตัวอย่างกุ้งก่อนเก็บรักษาลงบนถาดมาชั่งน้ำหนัก โดยบันทึกน้ำหนักเริ่มต้น (B) และนำตัวอย่างเดิมพร้อมถาดออกมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งภายหลังการเก็บรักษา (C) จากนั้นนำมาคำนวณค่าการสูญเสียน้ำหนัก ดังสมการที่ 3.7

$$\%\text{การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{B - (C-A)}{B} \times 100 \qquad (3.7)$$

เมื่อ

A = น้ำหนักถาด (กรัม)

B = น้ำหนักกุ้งก่อนการเก็บรักษา (กรัม)

C = น้ำหนักกุ้งหลังการเก็บรักษา (กรัม)

ค. ค่า a_w

นำตัวอย่างกุ้งมาหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำมาบรรจุในถ้วยบรรจุตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร สูง 1.2 เซนติเมตร นำตัวอย่างไปวัดค่า a_w โดยใช้เครื่องวัดค่า a_w ที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C

ง. การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัส

นำตัวอย่างกุ้งมาวัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้หัวทดสอบแบบ Blade set with knife ในการทดสอบจะตั้งค่า load cell ที่ 25 กิโลกรัม และตั้งความเร็วหัวทดสอบขณะทดสอบเท่ากับ 2 mm/s บันทึกค่าเนื้อสัมผัสของตัวอย่างในเทอมของค่าการต้านแรงตัดขาด (Cutting) ในหน่วยนิวตัน

จ. การวัดสี

นำตัวอย่างกุ้งมาวัดค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี โดยวัดค่าทั้ง 2 ด้านของตัวอย่าง รายงานค่าสีที่ได้ในเทอม lightness (L*) ซึ่งแสดงถึงค่าความสว่างของตัวอย่าง redness (a*) ซึ่งแสดงถึงช่วงสีแดง-สีเขียวและ yellowness (b*) ซึ่งแสดงถึงช่วงสีเหลือง-สีน้ำเงิน

3.6.5.4 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำกุ้งแต่ละตัวอย่างมาลวกเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำมาทดสอบโดยใช้ผู้ทดสอบซึ่งเป็นนักศึกษาภาควิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้วจำนวน 15

คน ผู้ทดสอบแต่ละคนจะได้รับตัวอย่างที่กำหนดรหัสตัวเลขทางสถิติแบบสุ่ม ในการทดสอบต้องพิจารณาลักษณะด้านกลิ่น สี รสชาติ และเนื้อสัมผัส โดยใช้วิธีทดสอบแบบ 5-points scoring test สำหรับการทดสอบลักษณะด้านกลิ่นถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกเป็นกุ้งสด (1=มีกลิ่นเน่าอย่างรุนแรงและมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวมาก และ 5=มีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสดและไม่เกิดกลิ่นอับกลิ่นคาว) และกลุ่มที่ 2 เป็นกุ้งที่ถูกแช่ในน้ำมันหอมระเหย (1=มีกลิ่นเน่าอย่างรุนแรงและมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวมาก และ 5=มีกลิ่นของสมุนไพรชัดเจน และไม่มีกลิ่นคาวกลิ่นเน่าเสีย) ด้านสีถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกเป็นกุ้งสด (1=เนื้อมีสีเหลืองอมขาวมาก ลายสีส้มซีดจางไม่ชัดเจน และ 5=เนื้อมีสีขาวทึบ ลายมีสีส้มแดงชัดเจน) และกลุ่มที่ 2 เป็นกุ้งที่ถูกแช่ในน้ำมันหอมระเหย (1=เนื้อมีสีเหลืองชัดเจน และ 5=เนื้อมีสีขาวทึบ) ด้านรสชาติแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มแรกเป็นกุ้งสด (1=ไม่ได้รับรสชาติของเนื้อกุ้ง มีรสชาติอื่นเช่นรสเปรี้ยวอย่างชัดเจน และ 5=รสชาติของเนื้อกุ้งตามธรรมชาติออกหวานปนเค็มเล็กน้อย ไม่มีรสชาติอื่นรบกวน) และกลุ่มที่ 2 เป็นกุ้งที่ถูกแช่ในน้ำมันหอมระเหย (1=ไม่ได้รับรสชาติของเนื้อกุ้ง มีรสชาติอื่นเช่นรสเปรี้ยวชัดเจน และ 5=รสชาติของเนื้อกุ้งคลุกเคล้าสมุนไพร) ด้านเนื้อสัมผัส (1=เนื้อกุ้งเกาะรวมตัวแน่นแข็งเนื้อไม่นิ่มเละ และ 5=เนื้อกุ้งไม่เกาะตัวเปื่อยยุ่ยไม่มีความยืดหยุ่นนิ่มเละ) ในส่วนของความชอบโดยรวมของผู้บริโภคโดยใช้วิธีทดสอบแบบ 5-points hedonic test โดย 1=ไม่ชอบมากที่สุด และ 5=ชอบมากที่สุด และบันทึกผลในแบบทดสอบ (ภาคผนวก ข) ภายหลังทดสอบแต่ละตัวอย่างผู้ทดสอบจะมีการล้างปากด้วยน้ำที่เตรียมไว้ให้ก่อนจะเริ่มทดสอบตัวอย่างถัดไป

3.6.6 การวิเคราะห์ *E. coli*

ก. วิเคราะห์ปริมาณ *E. coli*

วิเคราะห์ปริมาณ *E. coli* ตามวิธีของ Shekarforoush และคณะ (2007) โดยชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ด้วยวิธีการปลอดเชื้อ ทำการเจือจางโดยปั่นผสมกับ 0.1% peptone 225 มิลลิลิตร จะได้ตัวอย่างที่มีความเจือจางที่ระดับ 10 เท่า ทำการเจือจางเป็นลำดับ (serial dilution) ตามความเหมาะสม เพื่อให้จำนวนโคโลนีที่มีอยู่ในเพาะเชื้อมีจำนวนอยู่ในช่วงระหว่าง 30 - 300 โคโลนี จากนั้นปิเปตตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร เกลี่ยลงในจานเพาะเชื้อ (spread plate) ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ MacConkey agar ทำการทดลองระดับความเจือจางละ 3 ซ้ำ นำตัวอย่างบ่มที่อุณหภูมิ 37$\pm$2 °C นาน 24 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นจำนวนโคโลนีต่อกรัมอาหาร (CFU/g) โดยคำนวณจากสมการที่ 3.8

$$\text{ปริมาณ } E.\ coli \text{ (CFU/g)} = \text{จำนวนโคโลนีที่นับได้} \times \text{dilution factor} \qquad (3.8)$$

ข. การคำนวณหาอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดและช่วงเวลาที่เกิด lag phase

นำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน *E. coli* และระยะเวลาในการเก็บรักษามา fit กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Gompertz (Zwietering et al., 1990) (สมการที่ 3.9) จากนั้นนำมาหาค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (Maximum specific growth rate: μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด lag phase (Lag phase duration: L) ซึ่งคำนวณได้จากจากสมการที่ 3.10 และ 3.11 ตามลำดับ

$$\log N = \log N_0 + a \exp\{-\exp[-b(t-m)]\} \quad (3.9)$$

โดย N คือ จำนวนจุลินทรีย์ ณ เวลาหนึ่ง (log CFU/g)
N_0 คือ จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น (log CFU/g)
a คือ จำนวนจุลินทรีย์ที่เจริญเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (log CFU/g)
m คือ เวลาที่จุลินทรีย์เจริญสูงสุด (วัน)
b คือ อัตราการเจริญสัมพัทธ์ ณ เวลาที่จุลินทรีย์เจริญสูงสุด (วัน$^{-1}$)
t คือ เวลาการเก็บรักษา (วัน)

$$\mu_{max} = (b.a)/e \quad (3.10)$$

เมื่อ μ_{max} คือ อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (Maximum specific growth rate) (log CFU/g.วัน)
e คือ 2.7182

$$L = m - (1/b) \quad (3.11)$$

เมื่อ L คือ ช่วงเวลาที่เกิด lag phase (Lag phase duration) (วัน)

3.6.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ เคมี กายภาพและประสาทสัมผัส มาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (ANOVA) และถ้าพบนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จะทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กุ้ง โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน คือขั้นตอนแรกศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทย ซึ่งได้แก่ กระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ 5 ชนิดคือ *Escherichia coli, Staphylcoccus aureus, Salmonella* Typhimurium*, Vibrio parahaemolyticus* และ *Shewanella putrefaciens* โดยใช้วิธีการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Minimum inhibitory concentration; MIC) และการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันหอมระเหยที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ถึง 99.9% (Minimum bactericidal concentration; MBC) จากนั้นศึกษาจลนพลศาสตร์ของความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยและระยะเวลาในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และขั้นตอนที่สอง ศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพของกุ้งแช่เย็น ส่วนขั้นตอนสุดท้าย เป็นการศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* ที่ถูกสร้างการปนเปื้อน ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดเป็นดังนี้

4.1 การศึกษาชนิดและความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

พืชสมุนไพรไทยที่ถูกใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อเพิ่มรสชาติและกลิ่นรสของอาหารในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา เป็นสมุนไพรไทยที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Willis, 1956; Burt, 2004; Aiemsaard et al., 2011) โดยในปัจจุบันผู้บริโภคได้ตระหนักถึงอันตรายจากการใช้วัตถุกันเสียที่เป็นสารเคมีสังเคราะห์และด้วยคุณสมบัติในการเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์จากสมุนไพรซึ่งเป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติ จึงสามารถนำมาใช้ทดแทนวัตถุกันเสียได้ (Burt, 2004 และ Holley และ Patel, 2005) ดังนั้นการศึกษาในขั้นตอนนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทย 3 ชนิด คือ กระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา ต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ 5 ชนิดคือ *E. coli, S. aureus, S.* Typhimurium*, V. parahaemolyticus* และ *S. putrefaciens*

4.1.1 การหาความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Minimum inhibitory concentration; MIC) และการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันหอมระเหยที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ถึง 99.9% (Minimum bactericidal concentration; MBC)

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่เหมาะสมต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้น้ำมันหอมระเหย 3 ชนิดคือ กระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา ที่ระดับความเข้มข้น 0.62 - 40 mg/mL และใช้เชื้อจุลินทรีย์ 5 ชนิดคือ *E. coli, S. aureus, S.* Typhimurium, *V. parahaemolyticus* และ *S. putrefaciens* ที่มีความเข้มข้นของเชื้อประมาณ $1.5x10^6$ cfu/mL โดยใช้วิธี broth dilution method ซึ่งดัดแปลงจากวิธีการของ Hussain และคณะ (2008) และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35±2 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อของน้ำมันหอมระเหยชนิดต่างๆ

เชื้อจุลินทรีย์	น้ำมันกระเทียม (mg/mL)		น้ำมันตะไคร้ (mg/mL)		น้ำมันกะเพรา (mg/mL)	
	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC
Escherichia coli	5	15	10	20	10	25
Staphylococcus aureus	2.5	5	5	15	5	20
Salmonella Typhimurium	5	10	10	20	5	25
Vibrio parahaemolyticus	2.5	10	5	15	5	20
Shewanella putrefaciens	5	10	10	20	10	25

* หมายเหตุ MIC หมายถึง ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้
MBC หมายถึง ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ถึง 99.9 %

จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีค่า MIC น้อยที่สุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.5 - 5 mg/mL รองลงมาคือน้ำมันหอมระเหยตะไคร้และกะเพรา ซึ่งมีค่า MIC อยู่ระหว่าง 5 - 10 mg/mL เช่นเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่ถูกยับยั้ง เมื่อนำค่า MIC ของน้ำมันแต่ละชนิดมาหาค่า MBC ผลการทดลองพบว่า น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีค่า MBC น้อยที่สุดเช่นกันโดยมีค่า MBC อยู่ระหว่าง 5 - 15 mg/mL รองลงมาคือน้ำมันหอมระเหยตะไคร้และกะเพรา ซึ่งมีค่า MBC อยู่ระหว่าง 15 - 20 mg/mL และ 20 - 25 mg/mL โดยค่า MIC เป็นค่าที่บอกถึงความไวของแบคทีเรียที่ใช้

ทดสอบต่อน้ำมันหอมระเหย ในขณะที่ค่า MBC สามารถบอกความสามารถของน้ำมันหอมระเหยในการฆ่าแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบได้ ดังนั้นจากผลการทดลองจึงพบว่าความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (MIC) กับความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่ฆ่าแบคทีเรีย (MBC) มีค่าใกล้เคียงกัน

จากผลการทดลองพบว่าน้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ดีที่สุด รองลงมาคือตะไคร้และกะเพรา ตามลำดับ ซึ่งกลไกการยับยั้งของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ในกรณีของน้ำมันหอมระเหยกระเทียมนั้น เนื่องจากในกระเทียมมีสารอัลลิอิน (Alliin) หรือ เอส-อัลลิล-แอล-ซิสเตอีน-เอส-ออกไซด์ (S-allyl-L-cysteine-S-oxide) ซึ่งเป็นสารประกอบซัลเฟอร์ที่มีกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อเซลล์ของกระเทียมฉีกขาด เอนไซม์ซี-เอสไลเอส (C-S lyase) หรือ อัลลิเนส (Allinase) สัมผัสกับอัลลิอินและเปลี่ยนอัลลิอินไปเป็นอัลลิซิน (Alicin) (Holub et al., 2002) อัลลิซินที่เกิดขึ้นจะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจของจุลินทรีย์ เช่น alkaline phosphatase, urease และ acetyl-CoA synthetase เป็นต้น (Elsom et al., 2000) โดยหมู่ไธโอซัลฟิเนต (Thiosulfinate functional group: –S-O-S-) ในอัลลิซินจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ซัลฟ์ไฮดริล (Sulfhydryl group: -SH) ของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจ จึงเป็นผลให้กิจกรรมที่เกิดโดยเอนไซม์เหล่านี้หยุดชะงัก (Willis, 1956) สำหรับการที่น้ำมันหอมระเหยจากกระเทียมมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์สูงที่สุดนั้น เนื่องจากอัลลิซินมีประสิทธิภาพในการซึมผ่านชั้นของเยื่อหุ้มเซลล์สูง และสามารถซึมผ่านได้อย่างรวดเร็ว Miron และคณะ (2000) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการซึมผ่านของอัลลิซินเข้าสู่เยื่อหุ้มเซลล์ ผลการทดลองพบว่าอัลลิซินสามารถซึมผ่านชั้นของ lipid bilayer โดยไม่ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดการรั่ว ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability coefficient) สูง (0.2 cm/s) จึงส่งผลให้การทำปฏิกิริยาของอัลลิซินกับหมู่ซัลฟ์ไฮดริลของเอนไซม์มีประสิทธิภาพที่สูง

สำหรับการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยน้ำมันหอมระเหยตะไคร้เกิดขึ้นเนื่องจากหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde; -CHO) ของซิตรัล (Citral) ในตะไคร้สามารถรวมกับหมู่ซัลฟ์ไฮดริลของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจของจุลินทรีย์ ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ (Aiemsaard et al., 2011) ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยกะเพรามีองค์ประกอบของยูจีนอลซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟีนอล โดยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl: -OH) ของยูจีนอลจะไปจับกับโปรตีนที่อยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์เสียรูปร่างและทำงานไม่ได้ ส่งผลให้สารต่างๆสามารถแพร่ผ่านเข้าไปได้มากจนกระทั่งไซโตพลาสซึมเกิดการรั่ว เป็นเหตุให้เกิดการปลดปล่อยไอออนและองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ (Sikkema et al., 1995 และ Burt, 2004)

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งแบคทีเรีย 5 ชนิด พบว่าน้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพในการยับยั้ง *S. aureus* ซึ่งแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*, *S.* Typhimurium, *V. parahaemolyticus* และ *S. putrefaciens*) ทั้งนี้เนื่องมาจากความแตกต่างทางโครงสร้างของผนังเซลล์ โดยแบคทีเรียแกรมบวกมีองค์ประกอบของผนังเซลล์ชั้นเดียวคือ เปปติโดไกลแคน (Peptidoglycan) ส่วนของแบคทีเรียแกรมลบมีองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอก (Outer membrane) ซึ่งเป็นลิโพโพลีแซคคาไรด์ (Lipopolysaccharide) ปกคลุมชั้นของเปปติโดไกลแคน ทำให้มีความสามารถในการลดการซึมผ่านของน้ำมันหอมระเหยผ่านไปที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียได้ (Bezic et al., 2003) จึงเป็นเหตุให้แบคทีเรียแกรมลบ มีความไวต่อน้ำมันหอมระเหยน้อยกว่าแบคทีเรียแกรมบวก นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งจุลินทรีย์แกรมลบ พบว่าน้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพในการยับยั้ง *E. coli* น้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ที่แตกต่างกันของแบคทีเรียแต่ละชนิด ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการซึมผ่านของน้ำมันหอมระเหยเข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรียแตกต่างกันด้วย (Miron et al., 2000) โดยที่เยื่อหุ้มเซลล์ของ *E. coli* มีโปรตีน porins กลุ่ม ompF และ ompC ซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (Jaffe, 1982) ทั้งนี้ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ของแบคทีเรียที่ทดสอบ รวมถึงชนิดและความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ทดสอบด้วย

เมื่อเปรียบเทียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับงานวิจัยอื่นๆ พบว่ามีค่า MIC มีค่าสูงกว่า จากงานวิจัยของ Ross และคณะ (2001) พบว่าค่า MIC ของน้ำมันหอมระเหยจากกระเทียมในการยับยั้ง *E. coli* มีค่าเท่ากับ 0.34 - 2.75 mg/mL ในขณะที่ค่า MIC ที่ได้จากการทดลองมีค่า 5 mg/mL ในส่วนของ Hussain และคณะ (2008) รายงานว่า ค่า MIC ของน้ำมันหอมระเหยกระเพรา ในการยับยั้ง *E. coli* มีค่าเท่ากับ 1.9 mg/mL แต่จากผลการทดลองพบว่าค่า MIC ของน้ำมันหอมระเหยกระเพรา ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ชนิดเดียวกันนี้ เท่ากับ 15 mg/mL ตามลำดับ โดยน้ำมันหอมระเหยชนิดเดียวกันอาจมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับความแตกต่างของพันธุ์พืช แหล่งที่ทำการเพาะปลูก เวลาในการเก็บเกี่ยว ตลอดจนสภาวะการแปรรูปและการเก็บรักษามีความแตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ทำให้น้ำมันหอมระเหยมีองค์ประกอบทางเคมี และความเข้มข้นของสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยแตกต่างกัน (Rhyu, 1979; McGimpsey et al., 1994; Venskutonis, 1997; Salgueiro et al., 1997) จึงส่งผลให้น้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพในการยั้งจุลินทรีย์แตกต่างกัน

4.1.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยและระยะเวลาในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

การทดลองในขั้นตอนนี้จะศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาโดยใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมที่ระดับความเข้มข้น 5, 10 และ 15 mg/mL น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15 และ 20 mg/mL และน้ำมันหอมระเหยกะเพราที่ระดับความเข้มข้น 15, 20 และ 25 mg/mL ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ 5 ชนิด ได้แก่ *E. coli, S. aureus, S.* Typhimurium*, V. parahaemolyticus* และ *S. putrefaciens* โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นประมาณ 10^6cfu/mL ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหย 3 ชนิดต่อค่า D ของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

จุลินทรีย์	น้ำมันกระเทียม		น้ำมันตะไคร้		น้ำมันกะเพรา	
	ความเข้มข้น (mg/mL)	D-value (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น (mg/mL)	D-value (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น (mg/mL)	D-value (ชั่วโมง)
S. aureus	5	$1.02^{a}\pm0.08$	10	$2.63^{a}\pm0.12$	15	$2.49^{a}\pm0.04$
	10	$0.79^{b}\pm0.01$	15	$1.72^{b}\pm0.01$	20	$1.39^{b}\pm0.01$
	15	$0.58^{c}\pm0.04$	20	$1.35^{c}\pm0.01$	25	$0.97^{c}\pm0.05$
V. parahaemolticus	5	$1.43^{a}\pm0.12$	10	$2.94^{a}\pm0.05$	15	$2.87^{a}\pm0.05$
	10	$1.05^{b}\pm0.01$	15	$2.08^{b}\pm0.01$	20	$1.78^{b}\pm0.02$
	15	$0.86^{c}\pm0.11$	20	$1.82^{c}\pm0.02$	25	$1.36^{c}\pm0.01$
S. Typhimurium	5	$1.51^{a}\pm0.04$	10	$2.96^{a}\pm0.04$	15	$2.99^{a}\pm0.03$
	10	$1.06^{b}\pm0.01$	15	$2.22^{b}\pm0.02$	20	$1.86^{b}\pm0.36$
	15	$0.87^{c}\pm0.02$	20	$1.83^{c}\pm0.02$	25	$1.37^{c}\pm0.02$
S. putrifaciens	5	$1.57^{a}\pm0.03$	10	$3.21^{a}\pm0.03$	15	$3.15^{a}\pm0.03$
	10	$1.14^{b}\pm0.12$	15	$2.41^{b}\pm0.01$	20	$2.13^{b}\pm0.02$
	15	$0.95^{c}\pm0.01$	20	$2.16^{c}\pm0.12$	25	$1.48^{c}\pm0.01$
E. coli	5	$1.75^{a}\pm0.01$	10	$3.43^{a}\pm0.06$	15	$3.39^{a}\pm0.31$
	10	$1.37^{b}\pm0.02$	15	$2.85^{b}\pm0.06$	20	$2.21^{b}\pm0.01$
	15	$1.05^{c}\pm0.01$	20	$2.07^{c}\pm0.18$	25	$1.69^{c}\pm0.20$

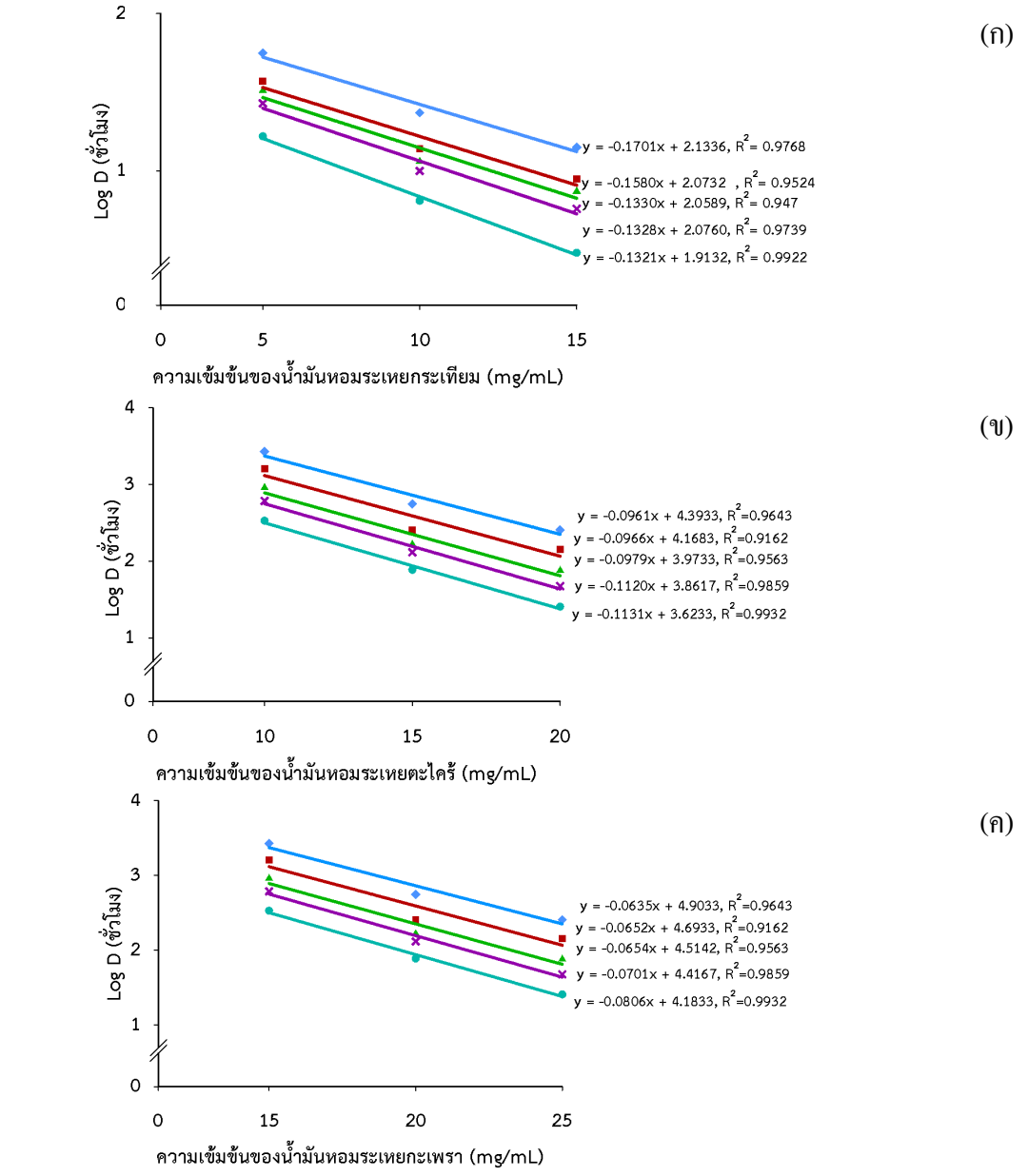
* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละเชื้อจุลินทรีย์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ค่า D หมายถึง เวลาเป็นชั่วโมงที่มีผลทำให้จำนวนจุลินทรีย์ลดลง 90% หรือ 1 log cycle จากตารางที่ 4.2 พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยส่งผลให้ค่า D ของจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมันหอมระเหยกระเทียมในช่วงความเข้มข้น 5 - 15 mg/mL มีค่า D ของ *S. aureus, V. parahaemolyticus, S.* Typhimurium, *S. putrefaciens* และ *E. coli* อยู่ในช่วง 0.58 - 1.02 ชั่วโมง, 0.86 - 1.43 ชั่วโมง, 0.87 - 1.51 ชั่วโมง , 0.95 - 1.57 ชั่วโมง และ 1.05 - 1.75 ชั่วโมง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ในช่วงความเข้มข้น 10 - 20 mg/mL มีค่า D ของ *S. aureus, V. parahaemolyticus, S.* Typhimurium , *S. putrefaciens* และ *E. coli* อยู่ในช่วง 1.35 - 2.63 ชั่วโมง, 1.82 - 2.94 ชั่วโมง, 1.83 - 2.96 ชั่วโมง , 2.16 - 3.21 ชั่วโมง และ 2.07 - 3.43 ชั่วโมง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) ส่วนน้ำมันหอมระเหยกะเพราในช่วงความเข้มข้น 15 - 25 mg/mL มีค่า D ของ *S. aureus, V. parahaemolyticus, S.* Typhimurium , *S. putrefaciens* และ *E. coli* อยู่ในช่วง 0.97 - 2.49 ชั่วโมง, 1.36 - 2.87 ชั่วโมง, 1.37 - 2.99 ชั่วโมง , 1.48 - 3.15 ชั่วโมง และ 1.69 - 3.39 ชั่วโมง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยและระยะเวลาในการบ่มนานขึ้น ส่งผลให้จำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดลดลง ซึ่งอธิบายได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยทำให้มีองค์ประกอบของสารเคมีแทรกอยู่ตามเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้จุลินทรีย์ทนต่อน้ำมันหอมระเหยได้น้อยลง ดังนั้นจึงทำให้ค่า D มีค่าต่ำลงด้วย สอดคล้องกับงานวิจัย Yin และคณะ (2002) ที่ศึกษาการใช้น้ำมันหอมกระเทียมยับยั้ง *E. coli* และพบว่าน้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีค่า MIC เท่ากับ 0.02 mg/ml สามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้โดยใช้เวลา 7 ชั่วโมงที่ทำให้จุลินทรีย์ลดลง 1 log และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดกระเทียมเป็น 2 เท่าส่งผลให้จุลินทรีย์ลดปริมาณลงได้ 3 log ภายในเวลา 8 ชั่วโมง นอกจากนี้ Iwalokun และคณะ (2004) พบว่าการใช้สารสกัดจากกระเทียมสามารถยับยั้ง *E. coli*, *S. aureus* และ *S.* Typhimurium ได้โดยมีค่า MIC อยู่ในช่วง 15.6 - 37.2 mg/mL ซึ่งจุลินทรีย์ลดลง 1 log ภายในเวลา 2, 1 และ 2 ชั่วโมง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดกระเทียมเป็น 3 เท่าส่งผลให้จุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ลดปริมาณลงได้ 3 log ภายในเวลา 6, 4 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ

ค่า Z คือค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยเป็น mg/mL ที่ทำให้ค่า D เปลี่ยนไป 1 log cycle หรือ 90 % (รูปที่ 4.1) ค่านี้แสดงถึงความไวต่อน้ำมันหอมระเหยของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยน้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีค่า Z ของเชื้อจุลินทรีย์ *S. aureus, V. parahaemolyticus, S.* Typhimurium, *S. putrefaciens* และ *E. coli* เท่ากับ 5.88, 6.33, 7.52, 7.53 และ 7.57 mg/mL ตามลำดับ น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีค่า Z ของเชื้อจุลินทรีย์ *S. aureus, V. parahaemolyticus, S.* Typhimurium, *S. putrefaciens* และ *E. coli* เท่ากับ 8.84, 8.92, 10.21 , 10.35 และ 10.41 mg/mL

ตามลำดับ และน้ำมันหอมระเหยกะเพรามีค่า Z ของเชื้อจุลินทรีย์ *S. aureus, V. parahaemolyticus, S.* Typhimurium, *S. putrefaciens* และ *E. coli* เท่ากับ 12.41, 14.26, 15.29, 15.34 และ 15.75 mg/mL ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยและเวลาที่มีผลทำให้จุลินทรีย์มีจำนวนลดลง 90%; ก: น้ำมันหอมระเหยกระเทียม, ข: น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ และ ค: น้ำมันหอมระเหยกะเพรา

จากผลการทดลองสรุปว่าน้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยตะไคร้และกะเพรา โดยค่า D ของเชื้อ *E. coli* นั้นมีค่าสูงกว่า *S. putrefaciens*, *S.* Typhimurium, *V. parahaemolyticus* และ *S. aureus* ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่า Z พบว่า *E. coli* นั้นมีค่า Z สูงกว่าเชื้อ *S. putrefaciens, S.* Typhimurium, *V. parahaemolyticus* และ *S. aureus* ตามลำดับ แสดงว่า *S. aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวกไวต่อน้ำมันหอมระเหยมากกว่า *V. parahaemolyticus, S. Typhimurium*, *S. putrefaciens* และ *E. coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ

4.2 การศึกษาผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกุ้งสด

ผลิตภัณฑ์กุ้งส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (Foodborne pathogenics and Spoilage microorganisms) จำพวก *E. coli, V. parahemolyticus, S.* Typhimurium*, S. aureus* และ *Shewanella putrefaciens* เป็นต้น (Chinivasagam et al., 1996; Direkbusarakom, et al., 1998; Shirazinejad และ Ismail, 2010; Wan Norhana, 2010) การใช้น้ำมันหอมระเหยเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ เนื่องจากเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์แต่การนำน้ำมันหอมระเหยมาประยุกต์ใช้ในอาหารมีข้อจำกัดในเรื่องกลิ่น จึงจำเป็นต้องใช้น้ำมันหอมระเหยที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ลดลง ดังนั้นจึงมีการนำการถนอมอาหารเทคนิคอื่นๆ มาใช้ร่วมด้วยอย่างเช่นการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ซึ่งโดยทั่วไปการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรที่ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ตั้งแต่ 40% ขึ้นไปสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในอาหารได้ (Kimura et al., 1999 และ Masniyom et al., 2002) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทดลองใช้น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพร 3 ชนิด ได้แก่ กระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา ร่วมกับสภาวะบรรยากาศดัดแปร โดยใช้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไนโตรเจน 2 ระดับ คือ 40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2 โดยเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ คือ nylon ประกบกับ polyethylene (nylon/PE) และเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ คือ polyethylene (PE) บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติเป็นตัวอย่างควบคุม จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8$\pm$2 ^{o}C และสุ่มมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และประสาทสัมผัส ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดแสดงดังนี้

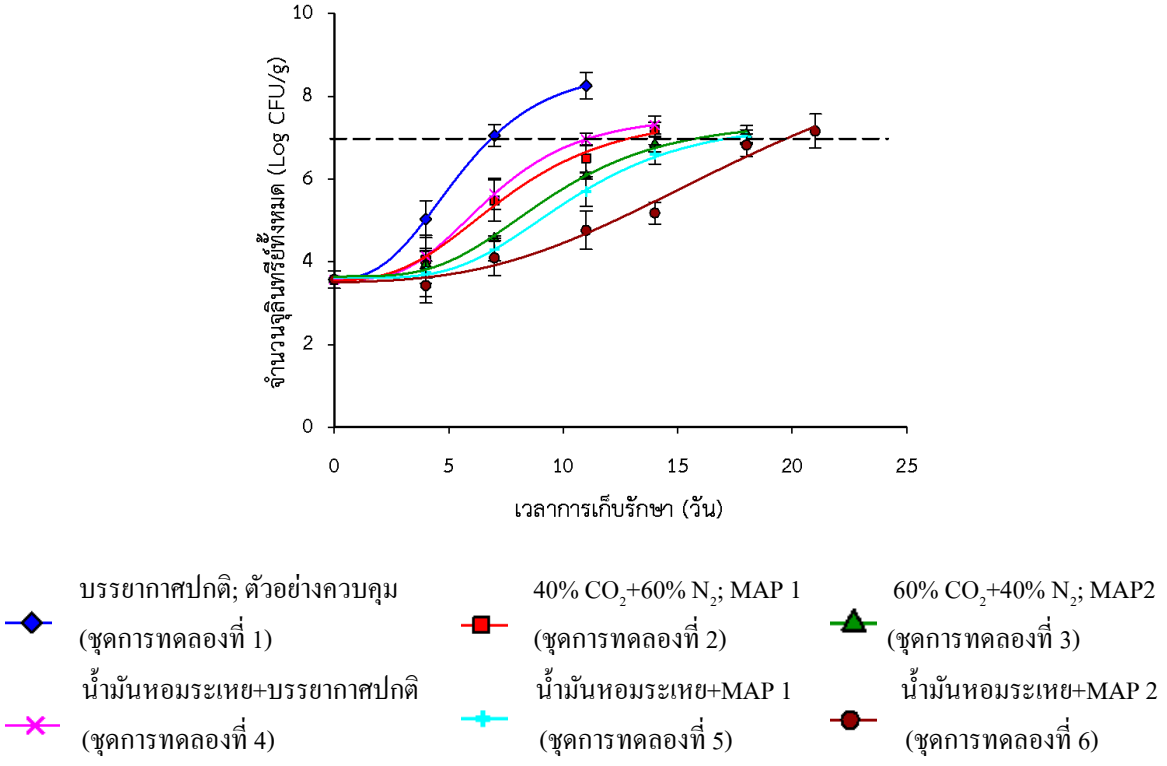
4.2.1 ผลการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพของกุ้งสด

การศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพของกุ้งสด จะทำโดยใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมที่ระดับความเข้มข้น 15 mg/mL ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร โดยแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ในการบรรจุเป็น 2 ระดับคือ 40% CO_2+60% N_2 (MAP 1) และ 60% CO_2+40% N_2 (MAP 2) จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C และนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ เคมี กายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งได้ผลการทดลองทั้งหมดดังนี้

4.2.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

4.2.1.1.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count)

ผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C พบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

จากรูปที่ 4.2 พบว่า กุ้งสดมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 3.57±0.22 log CFU/g และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งทุกสภาวะมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับอาหารประเภทกุ้ง ซึ่งกำหนดไว้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 7 log CFU/g (สำนักงาน มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529) เป็นตัวกำหนดอายุการเก็บรักษาของกุ้งสด พบว่ากุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีอายุการเก็บรักษาเพียง 4 วัน โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 5.03±0.46 log CFU/g ทั้งนี้เนื่องจากผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในครั้งถัดไปคือวันที่ 7 ของการเก็บรักษา พบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินมาตรฐาน คือมีค่าเท่ากับ 7.05±0.26 log CFU/g ส่วนกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) มีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 7 วัน โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 5.64±0.34 log CFU/g ซึ่งแสดงว่าน้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษากุ้งสดที่อุณหภูมิ 8±2 °C ทั้งนี้อธิบายได้ว่าน้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.1.1 ดังนั้นจึงส่งผลให้กุ้งมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น สำหรับกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) พบว่ามีอายุการเก็บรักษา 11 วัน โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.50±0.33 log CFU/g ส่วนกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) มีอายุการเก็บรักษา 11 วัน โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.08±0.08 log CFU/g ซึ่งมีค่าต่ำกว่าจำนวนจุลินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้จากชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางภาคผนวก ง.2) ทั้งนี้เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์สามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะซึมเข้าสู่เยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ส่งผลให้ pH ภายในเซลล์มีค่าลดลง จุลินทรีย์จึงไม่สามารถเจริญได้ (Smith et al., 1990; Venugopal et al., 2006; McMillin, 2008)

จากผลการทดลอง ยังพบว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร มีจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติ ซึ่งแสดงว่าบรรยากาศดัดแปรในช่วงที่ศึกษามีประสิทธิภาพในการยับยั้งและ/ หรือชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ได้สูงกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียม ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าเท่ากับค่าความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันหอมระเหยที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ถึง 99.9% (MBC) แต่เนื่องจากในอาหารตัวอย่างมีความซับซ้อนมากกว่าอาหารเหลวที่ใช้ในการหาค่า MBC ในแง่ของปริมาณและชนิดของสารอาหาร รวมทั้งข้อจำกัดด้านการนำน้ำมันหอมระเหยมาใช้ในอาหารจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมที่บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีจำนวนจุลินทรีย์สูงกว่า

สำหรับผลการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้ง พบว่าวิธีการนี้สามารถยืดอายุการเก็บรักษากุ้งได้มากกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว แสดงถึงการใช้ 2 เทคนิคร่วมกันจะช่วยส่งเสริมการยับยั้งและ/ หรือชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจากรูปที่ 4.2 พบว่ากุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5) มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 14 วันโดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.60$\pm$0.23 log CFU/g ในขณะที่กุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6) มีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเท่ากับ 18 วัน โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.71$\pm$0.20 log CFU/g จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kostaki และคณะ (2009) ที่พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยไธม์จะทำให้เก็บรักษาปลากะพงที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติได้นาน 9 วัน แต่ถ้าเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+30% N_2+10% O_2) จะทำให้ปลากะพงมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นเป็น 10 วัน ในขณะที่การใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรจะยิ่งส่งผลให้ปลากะพงมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นอีกเป็น 19 วัน

4.2.1.1.2 อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดและช่วงเวลาที่เกิด lag phase

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ (รูปที่ 4.2) มาสร้างกราฟที่เหมาะสม (Curve fitting) กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Gompertz (Zwietering et al., 1990) พบว่ามีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.9851 - 1.0000 โดยมีค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (Maximum specific growth rate: μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด lag phase (Lag phase duration: L) แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของจุลินทรีย์ที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะการเก็บแบบต่างๆ

สภาวะ	μ_{max} (log CFU/g.วัน)	L (วัน)	R^2
บรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1)	0.75	2.04	1.0000
สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0.51	3.15	1.0000
สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0.48	4.45	0.9966
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4)	0.54	3.10	1.0000
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0.38	5.34	0.9989
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะ60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0.23	6.71	0.9851

* μ_{max}: อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด และ L: ช่วงเวลาที่เกิด lag phase

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่า μ_{max} ของจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีค่าสูงที่สุด คือ 0.75 log CFU/g.วัน ในขณะที่ค่า L มีค่าต่ำสุดคือมีค่าเท่ากับ 2.04 วัน รองลงมาคือค่า μ_{max} และ L ของจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้งสดที่ผ่านการแช่ในน้ำมันหอมระเหยกระเทียมที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.54 log CFU/g.วัน และ 3.10 วันตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมส่งผลให้อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ลดลง โดยยืดระยะเวลาในช่วง lag phase นานขึ้น ส่วนการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรทำให้จุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่า μ_{max} ลดต่ำลงและมีค่า L มากขึ้นกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยเพียงอย่างเดียว โดยมีค่า μ_{max} อยู่ในช่วง 0.48 - 0.51 log CFU/g.วัน และค่า L อยู่ในช่วง 3.15 - 4.45 วัน โดยที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) จะมีค่า μ_{max} ของจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้งสูงกว่าและมีค่า L ของจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Erkmen และ Barazi (2008) ซึ่งทดลองนำเนื้อวัวมาเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) ที่อุณหภูมิ 4$\pm$2 ^{o}C ผลการทดลองพบว่าการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้ *S.* Typhimurium มีค่า μ_{max} เท่ากับ 0.41 log CFU/g.วัน และมีค่า L เท่ากับ 4.40 วัน ในขณะที่การเก็บเนื้อวัวที่สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า μ_{max} สูงกว่า และค่า L ต่ำกว่าคือเท่ากับ 0.60 log CFU/g.วัน และ 1.11 วัน ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากคาร์บอนไดออกไซด์สามารถ

ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ โดยคาร์บอนไดออกไซด์มีผลในการยืดระยะเวลาในช่วงระยะ lag phase และลดอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ (McMillin, 2008)

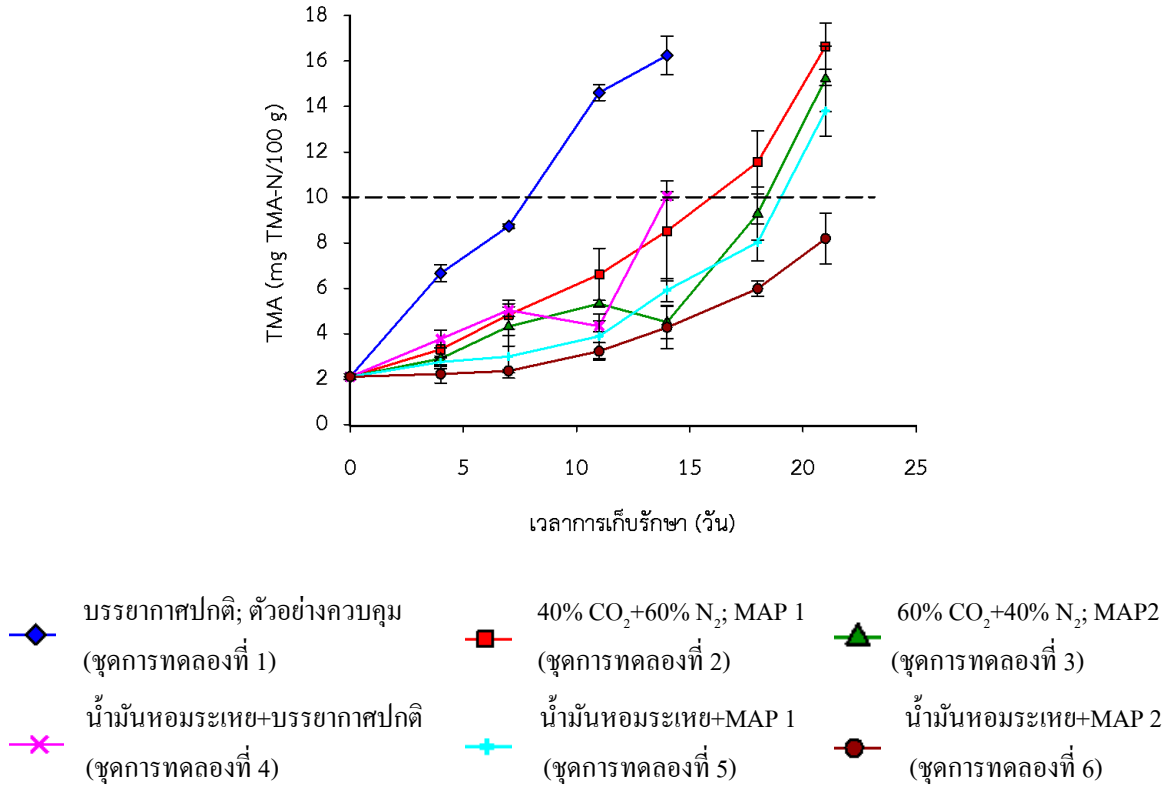
จากผลการทดลองยังพบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรจะยิ่งส่งผลให้ค่า μ_{max} ของจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำลงและมีค่า L ของจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงขึ้น โดยพบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับสภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5) และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6) จะทำให้จุลินทรีย์มีค่า μ_{max} เท่ากับ 0.38 และ 0.23 log CFU/g .วัน ตามลำดับ โดยมีค่า L ของจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 5.34 และ 6.71 วันตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yilmaz (2011) ที่พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยไธม์ร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (30% CO_2+70% N_2) ส่งผลให้ปริมาณ *S.* Typhimurium ในปลาเรนโบว์เทราต์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว โดยพบว่ามีค่า μ_{max} เท่ากับ 0.02 log CFU/g .ชั่วโมง ในขณะที่ค่า μ_{max} ของ *S.* Typhimurium ในปลาเรนโบว์เทราต์ที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยหรือการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีอยู่ในช่วง 0.04 - 0.06 log CFU/g .ชั่วโมง

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์สรุปได้ว่า การใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว โดยสภาวะที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษากุ้งสดที่อุณหภูมิ 8$\pm$2 ^{o}C ได้นานที่สุดคือสภาวะที่กุ้งผ่านการแช่ในน้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ซึ่งมีอายุการเก็บรักษา 18 วัน

4.2.1.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

4.2.1.2.1 ไตรเมทิลเอมีน (Trimethylamine; TMA)

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าไตรเมทิลเอมีน (TMA) ในกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8$\pm$2 °C พบว่าได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าไตรเมทิลเอมีน (TMA) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

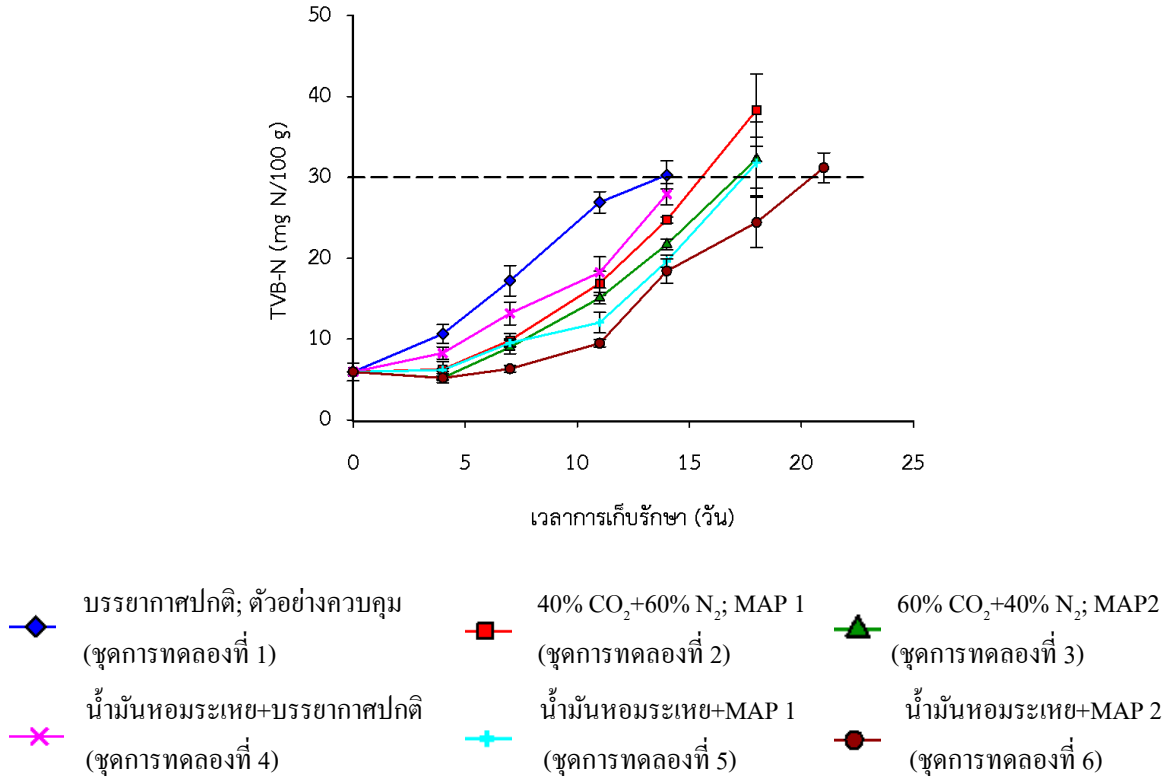
จากรูปที่ 4.3 พบว่ากุ้งสดมีค่า TMA เริ่มต้นเท่ากับ 2.11±0.13 mg TMA-N/100g หลังจากนั้นกุ้งที่เก็บรักษาในทุกสภาวะจะมีค่า TMA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเกิดการสลายตัวของไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ (Trimethylamine oxide; TMAO) โดยเอนไซม์ไตรเมทิลเอมีนออกซิเดส (Trimethyamine oxidase) ในจุลินทรีย์ ให้เป็น TMA (Villarreal และ Pozo, 1990 และ Barnett et al., 1991) ดังนั้นเมื่อกุ้งที่เก็บรักษาไว้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้มีค่า TMA เพิ่มสูงขึ้นด้วย จากงานวิจัยของ Dalgaard และคณะ (1993) พบว่าโดยทั่วไปสัตว์น้ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นจะมีคุณภาพไม่เหมาะสมต่อการบริโภคเมื่อมีค่า TMA เกินกว่าช่วง 10 - 15 mg TMA-N/100g ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้เกณฑ์ข้างต้นมากำหนดอายุการเก็บรักษาของกุ้งแช่เย็น โดยกุ้งที่ยังมีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการบริโภคจะต้องมีค่า TMA ต่ำกว่า 10 mg TMA-N/100g ซึ่งจากการทดลองพบว่า กุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีอายุการเก็บรักษาเพียง 7 วันโดยมีค่า TMA เท่ากับ 8.73±0.09 mg TMA-N/100g เนื่องมาจากผลการวิเคราะห์ค่า TMA ในครั้งถัดไปคือวันที่ 11 ของการเก็บรักษา พบว่ามีค่า TMA เกินมาตรฐานคือเท่ากับ 14.61±0.45 mg TMA-N/100g ส่วนกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) มีค่า TMA เท่ากับ 4.33±0.28 mg TMA-

N/100g ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ซึ่งจะเห็นว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีค่า TMA ต่ำกว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย

สำหรับกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร พบว่ามีอายุการเก็บรักษา 14 วันเท่ากันโดยที่กุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) มีค่า TMA เท่ากับ 8.52$\pm$1.38 และ 4.51$\pm$0.50 mg TMA-N/100g ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่า TMA ของกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (ตารางภาคผนวก ง.5) และเมื่อนำ 2 เทคนิคมาใช้ร่วมกัน พบว่าสามารถชะลอการเพิ่มค่า TMA ในกุ้งได้มากขึ้น โดยมีอายุการเก็บรักษาระหว่าง 18 - 21 โดยกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5) มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 18 วัน โดยมีค่า TMA เท่ากับ 8.03$\pm$1.17 mg TMA-N/100g ในขณะที่กุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6) มีอายุการเก็บรักษานาน 21 วัน โดยมีค่า TMA เท่ากับ 8.19$\pm$1.12 mg TMA-N/100g สำหรับสาเหตุที่กุ้งที่เก็บในสภาวะต่างกันมีค่า TMA ต่างกันนั้นเนื่องจากสภาวะที่ใช้มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ (ตารางภาคผนวก ง.2) โดยสภาวะบรรยากาศปกติเอื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์มากที่สุด ดังนั้นจึงมีจำนวนจุลินทรีย์สูงที่สุด (รูปที่ 4.2) ซึ่งส่งผลให้มีค่า TMA สูงที่สุดด้วย (รูปที่ 4.3) ในขณะที่การแช่กุ้งในน้ำมันหอมระเหยแม้จะช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ได้แต่มีประสิทธิภาพด้อยกว่าการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ดังนั้นกุ้งตัวอย่างจึงมีค่า TMA สูงกว่ากุ้งที่เก็บภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ยังทำให้สามารถควบคุมจำนวนจุลินทรีย์ได้ดีขึ้น ดังนั้นกุ้งที่เก็บรักษาภายที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 จึงมีค่า TMA ต่ำกว่ากุ้งที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และเนื่องจากวิธีการใช้น้ำมันหอมระเหยและการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถชะลอ/ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับกุ้งตัวอย่างได้ที่สุด (รูปที่ 4.2) ดังนั้นเมื่อนำทั้ง 2 เทคนิคมาใช้ร่วมกันก็จะยิ่งทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์ลดลง (รูปที่ 4.2) และส่งผลให้กุ้งมีค่า TMA ลดลงด้วย

4.2.1.2.2 สารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile basic nitrogen; TVB-N)

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8$\pm$2 °C พบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.4



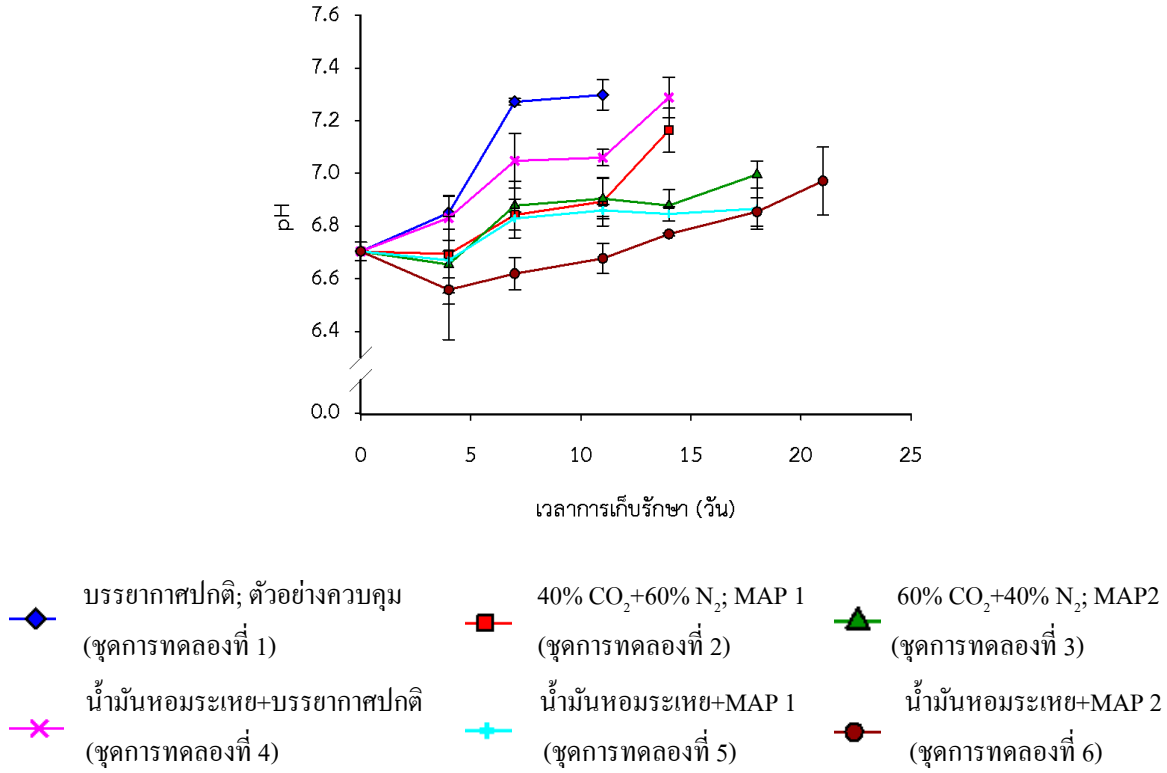
รูปที่ 4.4 ค่าสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2°C

จากผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมดมีความสอดคล้องกับค่า TMA กล่าวคือมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ประกอบด้วยสารประกอบ TMA ไดเมทิลเอมีน (Dimethyl amine; DMA) เมทิลเอมีน (methylamine) แอมโมเนียและสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้อื่นๆ (Dalgaard et al., 1993 และ Huss, 1995) ดังนั้นเมื่อกุ้งมีค่า TMA เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้มีค่า TVB-N เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน จากรูปที่ 4.4 พบว่ากุ้งมีค่า TVB-N เริ่มต้นเท่ากับ 5.94±1.10 mg N/100g หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างกันไปขึ้นกับสภาวะการเก็บรักษา ซึ่งเมื่อใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกุ้งที่กำหนดไว้ว่ากุ้งที่ยังเหมาะสมต่อการบริโภคต้องต้องมีค่า TVB-N น้อยกว่า 30 mg N/100 g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529) มากำหนดอายุการเก็บรักษา พบว่ากุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีอายุการเก็บรักษา 11 วัน โดยมีค่า TVB-N เท่ากับ 26.92±1.33 mg N/100g ส่วนกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) มีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 14 วัน โดยมีค่า TVB-N เท่ากับ 27.93±1.30 mg N/100g

สำหรับกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) และ 60% CO_2+ 40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) พบว่ามีอายุการเก็บรักษา 14 วันเท่ากัน โดยมีค่า TVB-N เท่ากับ 24.72±0.37 และ 21.73±0.65 mg N/100g ตามลำดับ ผลที่ได้บ่งชี้ว่าการเก็บรักษากุ้งภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TVB-N มากกว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ นอกจากนี้เมื่อนำน้ำมันหอมระเหยมาใช้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่าสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TVB-N ในกุ้งมากขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว โดยกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ตามลำดับ) มีอายุการเก็บรักษา 14 - 18 วัน โดยกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยเก็บที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 จะมีค่า TVB-N ต่ำกว่า กล่าวคือมีค่า TVB-N เท่ากับ 24.44±3.12 mg N/100g ในการเก็บรักษาวันที่ 18 ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยเก็บที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 มีค่า TVB-N เท่ากับ 19.62±0.74 mg N/100g ในการเก็บรักษาวันที่ 14

4.2.1.2.3 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลการวัดค่า pH ของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2°C (รูปที่ 4.5) พบว่ากุ้งมีค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 6.70±0.03 หลังจากนั้นกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติจะมีค่า pH เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สำหรับการเพิ่มขึ้นของ pH นั้นเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของสารประกอบไนโตรเจนซึ่งมีสมบัติเป็นเบสเมื่อละลายน้ำ โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งจะมีปริมาณสารประกอบไนโตรเจนมากขึ้น (ดังผลค่า TMA และ TVB-N ในข้อที่ 4.2.1.2.1 และ 4.2.1.2.2 ตามลำดับ) และเนื่องจากปริมาณสารประกอบไนโตรเจนจะมีความสัมพันธ์กับจุลินทรีย์ กล่าวคือค่า pH มีค่ามากเมื่อมีจำนวนจุลินทรีย์มาก ดังนั้นกุ้งสดที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยจึงมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า pH สูงกว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย กล่าวคือกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีค่า pH เพิ่มขึ้นเป็น 7.29±0.06 เมื่อเก็บรักษา 11 วัน ส่วนกุ้งสดผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) มีค่า pH เท่ากับ 7.29±0.08 เมื่อเก็บรักษา 14 วัน จากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nirmal และ Benjakul (2010) พบว่ากุ้งที่แช่สารสกัดจากชาเขียวมีอัตราการเพิ่มค่า pH น้อยกว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่สารสกัดจากชาเขียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.5 ค่า pH ของของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สำหรับกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่ามีแนวโน้มที่แตกต่างออกไป และมีอัตราการเปลี่ยนแปลง pH ที่ช้ากว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ กล่าวคือมีการลดลงของ pH ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา จากนั้นค่า pH จะเพิ่มขึ้นแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับรายละเอียดของสภาวะการเก็บรักษา โดยกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) และกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกัน (ชุดการทดลองที่ 5) มีค่า pH ลดลงเท่ากับ 6.69±0.15 และ 6.67±0.17 ตามลำดับ ในการเก็บรักษาวันที่ 4 และมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.16±0.08 และ 6.86±0.08 เมื่อเก็บรักษา 14 และ 18 วันตามลำดับ ส่วนกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) และกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกัน (ชุดการทดลองที่ 6) มีค่า pH ลดลงเท่ากับ 6.65±0.11 และ 6.56±0.19 ตามลำดับ ในการเก็บรักษาวันที่ 4 และมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.00±0.05 และ 6.97±0.18 เมื่อเก็บรักษา 18 และ 21 วันตามลำดับ

สำหรับการลดลงของค่า pH ในช่วงแรกเป็นผลจากคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ละลายน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งมีผลในการปรับสภาวะของเนื้อเยื่อให้เป็นกรด (Sivertsvik et al., 2002 และ

Masniyom, 2011) ทั้งนี้สภาวะบรรยากาศดัดแปรที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า (60% CO_2+ 40% N_2) จะทำให้กุ้งมีค่า pH ลดลงมากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น พบว่ากุ้งสดมีค่า pH เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากมีการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้เกิดสารประกอบไนโตรเจนขึ้น โดยจากการทดลองพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของ pH จะสูงสุดในกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 รองลงมาคือกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2, กุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Karabagias และคณะ (2011) ซึ่งพบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนและการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในเนื้อแกะได้ โดยการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 80% CO_2+20% N_2 สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในแกะได้มากที่สุด รองลงมาเป็นการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2, การเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 80% CO_2+20% N_2 การเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 และสภาวะบรรยากาศปกติ ตามลำดับ

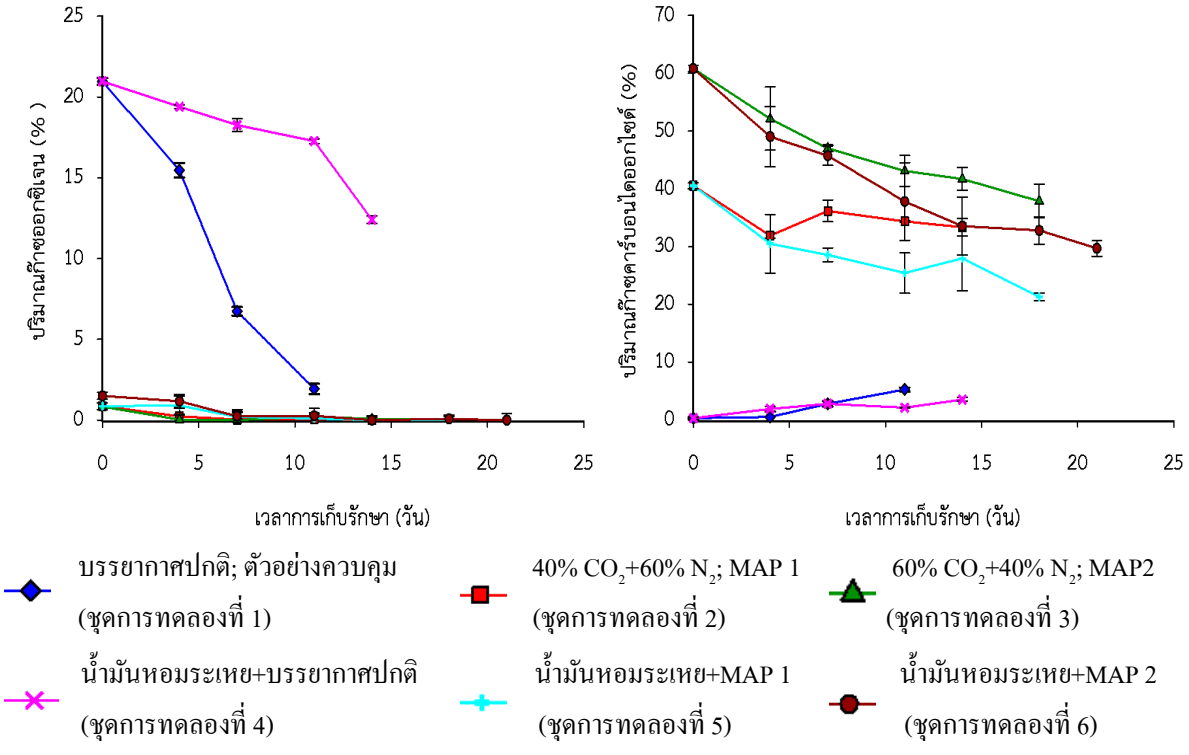
จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีสรุปได้ว่า ค่า TMA, TVB-N และ ค่า pH มีความสัมพันธ์กับจำนวนจุลินทรีย์ โดยเมื่อจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น จะทำให้มีค่า TMA, TVB-N และ pH เพิ่มขึ้น ซึ่งการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TMA, TVB-N และ ค่า pH ได้ดีกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว

4.2.1.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

4.2.1.3.1 ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์

เมื่อนำบรรจุภัณฑ์ของกุ้งทุกสภาวะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C มาวิเคราะห์ปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ พบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.6 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1 และ 4 ตามลำดับ) ลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในสภาวะนี้คือ PE ซึ่งมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 3804.952 cm^3/m^2.24hr.atm และ 8310 cm^3/m^2.24hr.atm ตามลำดับ ดังนั้นในระหว่างการเก็บรักษาจึงมีการแพร่ของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จากภายนอกเข้าออกระหว่างบรรจุภัณฑ์ได้ ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ที่ติดมากับกุ้งตัวอย่างจึงได้ใช้ออกซิเจนในการเจริญและผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

(Ashie et al., 1996 และ Fraser และ Sumar, 1998) โดยบรรจุภัณฑ์ของชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณออกซิเจนลดลงจาก 20.97±0.06% เป็น 6.73±1.16% ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 0.30±0.20% เป็น 5.27±0.35% เมื่อเก็บรักษา 11 วัน ในขณะที่กุ้งในชุดการทดลองที่ 4 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของก๊าซทั้ง 2 ชนิดช้ากว่า โดยมีปริมาณออกซิเจนลดลงจาก 20.97±0.06% เป็น 12.40±1.21% ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 0.30±0.20% เป็น 3.53±0.32% เมื่อเก็บรักษา 14 วัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากชุดการทดลองที่ 4 มีจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่ากุ้งในชุดการทดลองที่ 1 (รูปที่ 4.2) ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำมันหอมระเหยกระเทียมสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ดังนั้นจึงมีการใช้ออกซิเจนและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยกว่า



รูปที่ 4.6 ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C

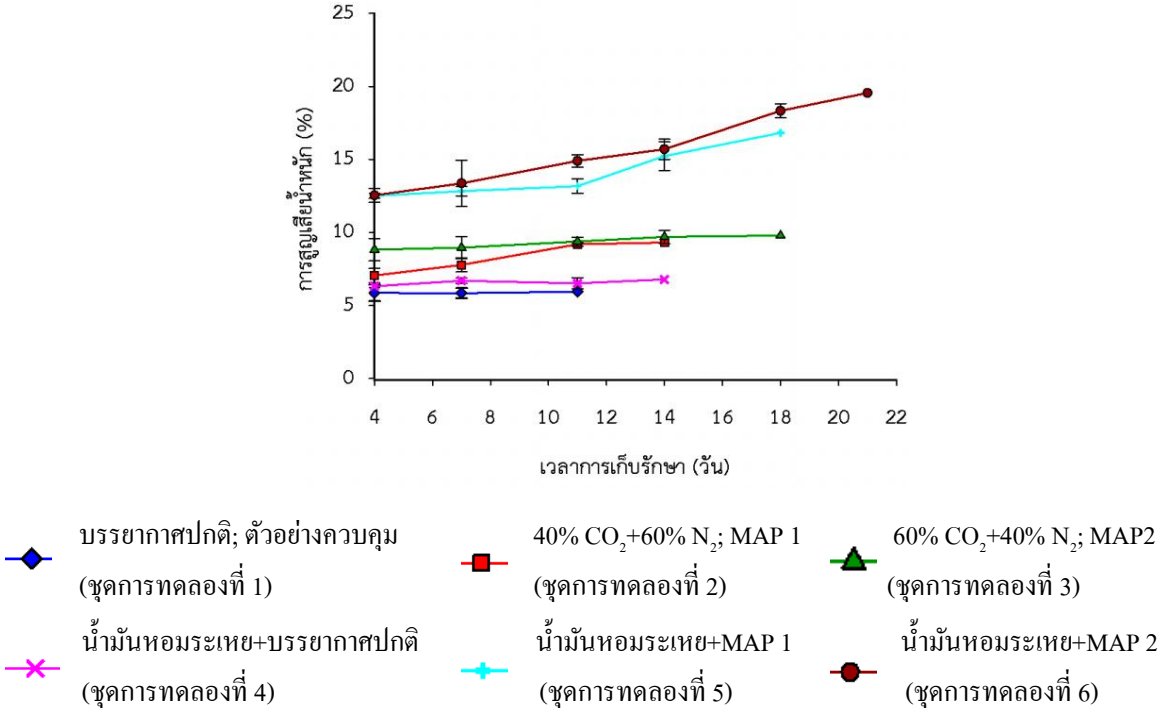
สำหรับผลการศึกษาการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียม พบว่ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน กล่าวคือมีปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ โดยบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+ 60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) และบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกัน (ชุดการทดลองที่ 5) มีปริมาณออกซิเจนลดลงจาก

0.83±0.61% เป็น 0.01±0.01% และ 0.03±0.06% ตามลำดับ ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจาก 40.53±0.47% เป็น 33.37±1.48% และ 21.30±0.70% เมื่อเก็บรักษา 14 และ 18 วันตามลำดับ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) และบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกัน (ชุดการทดลองที่ 6) มีปริมาณออกซิเจนลดลงจาก 0.83±0.61% เป็น 0.07±0.12% และ 0.01±0.01% ตามลำดับ ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจาก 60.80±0.56% เป็น 37.87±2.90% และ 29.70±1.35% เมื่อเก็บรักษา 18 และ 21 วันตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2) และบรรจุภัณฑ์ที่ใช้คือ nylon/PE ซึ่งมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 46.195 cm^3/m^2.24hr.1atm และ 140 cm^3/m^2.24hr.1atm ตามลำดับ ดังนั้นในระหว่างการเก็บรักษาจึงมีการแพร่ของออกซิเจนจากภายนอกซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าเข้ามาสู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ในขณะเดียวกันก็มีการแพร่ผ่านของคาร์บอนไดออกไซด์จากภายในซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าสู่ภายนอกบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนที่ละลายน้ำและแทรกซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อสัตว์ได้ ซึ่งสังเกตได้จากบรรจุภัณฑ์ที่ยุบตัวลง และค่า pH ที่ลดลงในช่วงแรก (รูปที่ 4.5)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร พบว่าบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางภาคผนวก ง.8) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรจะช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงมีการใช้ออกซิเจนและสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาน้อยกว่าสภาวะอื่นๆ

4.2.1.3.2 การสูญเสียน้ำหนัก

จากผลการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C (รูปที่ 4.7) พบว่ากุ้งสดมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเอนไซม์โปรติเอส (Protease) ที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อกุ้งและในจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนทำการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อกุ้ง ทำให้โปรตีนไม่สามารถอุ้มน้ำได้ (Huff-Lonergan และ Lonergan, 2005) จากผลการทดลองพบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าสภาวะอื่นๆ เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเท่ากัน โดยมีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ในช่วง 5.84 - 6.79%



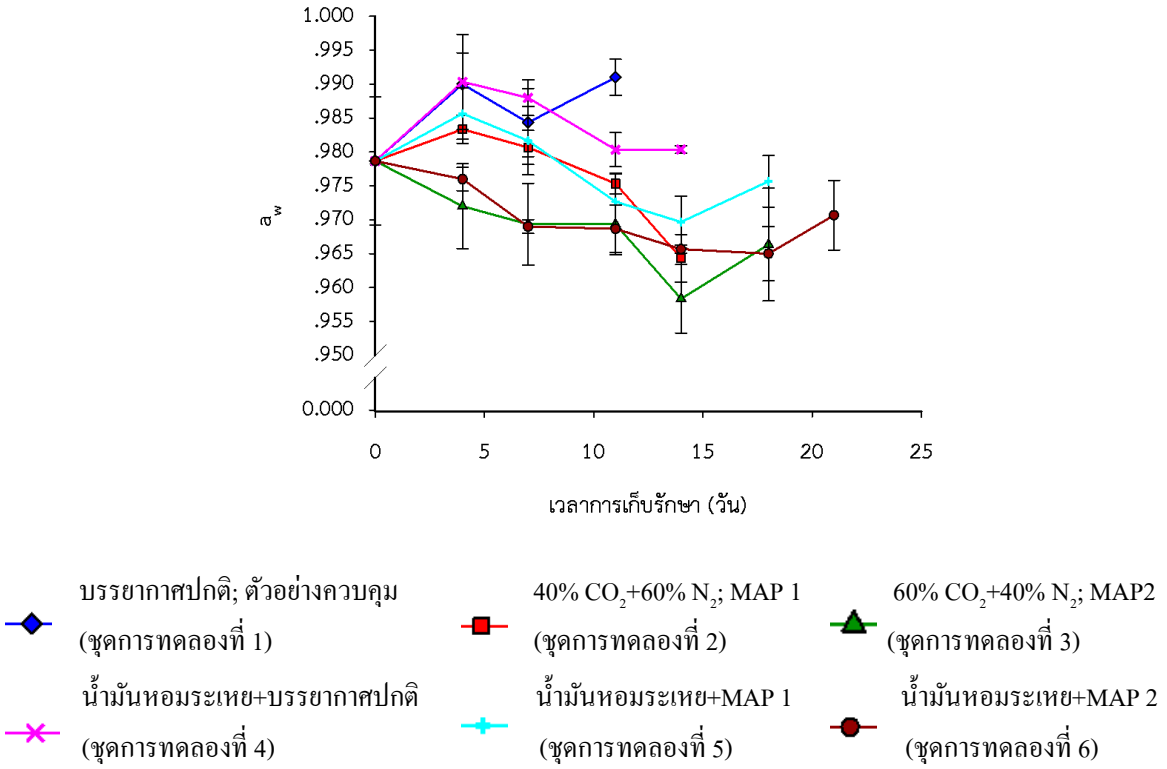
รูปที่ 4.7 การสูญเสียน้ำหนักของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สำหรับกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่า กุ้งมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางภาคผนวก ง.11) โดยกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ในช่วง 7.05 - 19.55% ทั้งนี้เนื่องจากกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อปรับสภาพบรรยากาศ โดยคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์สามารถละลายน้ำและซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อกุ้ง ส่งผลให้กุ้งมีค่า pH ต่ำในช่วงแรกของการเก็บรักษา (รูปที่ 4.5) ซึ่งค่า pH ลดลงนั้นมีผลทำให้โปรตีนในเนื้อกุ้งสูญเสียสภาพธรรมชาติ และอุ้มน้ำได้น้อยลง (Provincial et al., 2010) โดยจากรูปที่ 4.7 พบว่ากุ้งที่เก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีค่าการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่ากุ้งที่เก็บที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะที่ 60% CO_2+40% N_2 มีการใช้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า ดังนั้นจึงส่งผลกระทบกับค่า pH และค่าการสูญเสียน้ำได้มากกว่า ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fagan และคณะ (2004) ซึ่งพบว่าปลาแมคคาเรลที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าปลาที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเก็บรักษาปลาแมคคาเรลที่สภาวะ 100% CO_2 มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด รองลงมาคือที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2, 30% O_2+40% CO_2+ 30% N_2 และสภาวะบรรยากาศปกติ ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้ยังพบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าการสูญเสียน้ำหนักของกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกันพบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการ

แช่น้ำมันหอมระเหยจะมีค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดต่ำลง (Allen et al., 1998) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่า pH ของกุ้ง (รูปที่ 4.5) ที่พบว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีค่า pH ต่ำกว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย

4.2.1.3.3 ค่า a_w

ผลการวิเคราะห์ค่า a_w ของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C แสดงดังรูปที่ 4.8

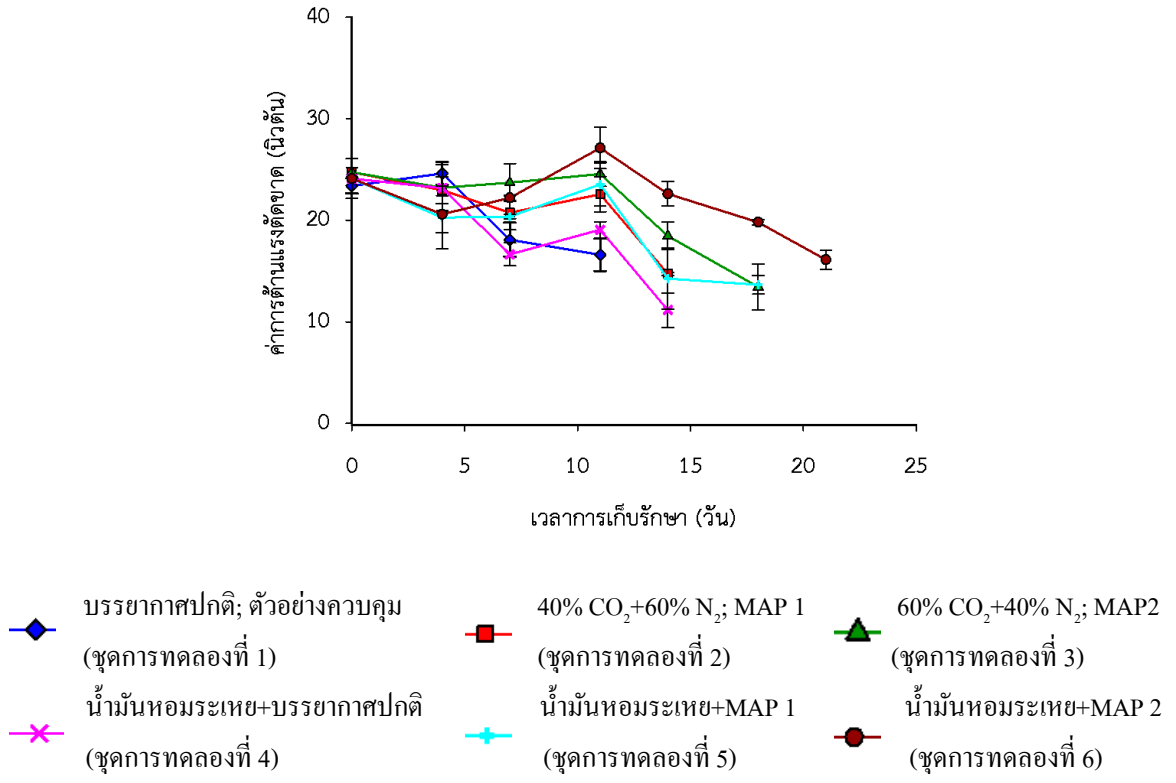


รูปที่ 4.8 ค่า a_w ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นพบว่าค่า a_w ของกุ้งทุกสภาวะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า aw อยู่ในช่วง 0.979 - 0.991 และ 0.979 - 0.980 ตามลำดับ ในขณะที่กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.966 - 0.983 ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.965 - 0.986 จากผลการทดลองจะเห็นว่ากุ้งมีค่า a_w สูงตลอดช่วงอายุการเก็บรักษา ทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญได้เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.2)

4.2.1.3.4 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

เมื่อนำกุ้งมาศึกษาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส โดยวัดค่าในเทอมค่าการต้านแรงตัดขาด (Cutting) ผลการทดลองพบว่ากุ้งสดมีค่าการต้านแรงตัดขาดเริ่มต้นเท่ากับ 24.74±0.45 นิวตัน (รูปที่ 4.9) และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งจะมีค่าการต้านแรงตัดขาดเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยทั้งกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีค่าการต้านแรงตัดขาดน้อยลง โดยมีค่าเท่ากับ 16.60±1.60 และ 19.08±0.79 นิวตัน ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากการเจริญของจุลินทรีย์โดยจากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่ากุ้งทั้ง 2 สภาวะข้างต้นมีปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่าสภาวะอื่นๆ ดังนั้นเนื้อเยื่อจึงถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้มากกว่า เป็นผลให้มีค่าการต้านแรงตัดขาดต่ำ



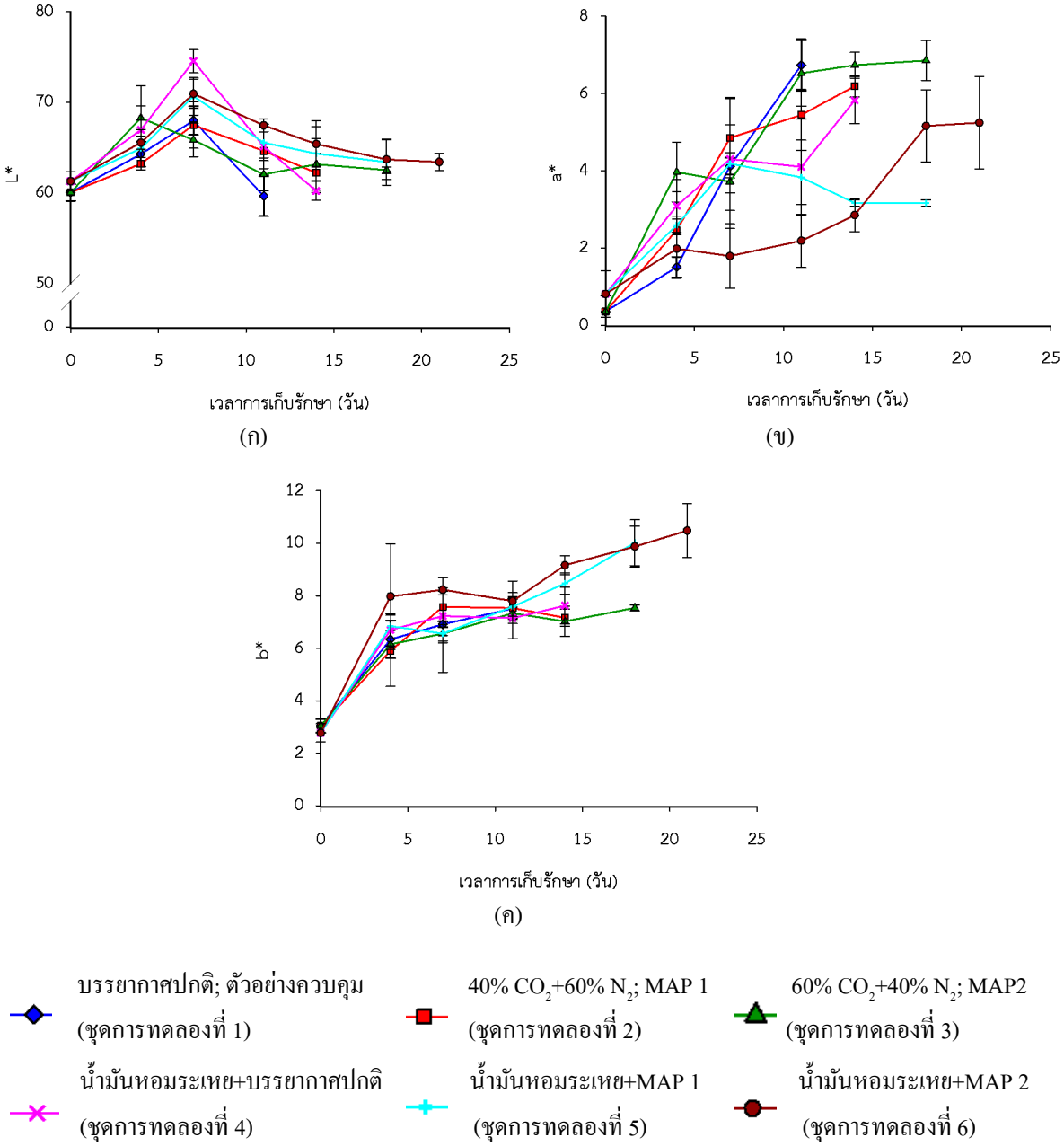
รูปที่ 4.9 ค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สำหรับการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่าช่วยรักษาค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยไว้ได้ดีกว่า โดยพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 24.56 - 27.13 นิวตัน ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้น หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง สำหรับการที่กุ้งเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถคงค่าการต้านแรงตัดขาดไว้ได้ในช่วงแรกของการเก็บรักษา

นั้น อธิบายได้ว่าเป็นผลจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งทำให้เกิดสภาวะที่เป็นกรดขึ้น ทำให้โปรตีนในเนื้อกุ้งไม่สามารถอุ้มน้ำ ดังแสดงออกมาในเทอมของค่าการสูญเสียน้ำหนัก (รูปที่ 4.7) และจากการที่ภายในเนื้อเยื่อกุ้งมีน้ำแทรกในปริมาณน้อยลง จะส่งผลให้เนื้อเยื่ออัดตัวกันแน่นขึ้น ทำให้วัดค่าการต้านแรงตัดขาดได้มากขึ้น ประกอบกับเทคนิคที่ใช้คือการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียวหรือการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์บนกุ้งตัวอย่างได้มีประสิทธิภาพ (รูปที่ 4.2) อย่างไรก็ตามหลังจากนั้นจะเห็นว่าค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งตัวอย่างจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.2) โดยกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีค่าการต้านแรงตัดขาดอยู่ในช่วง 13.44 - 14.72 นิวตัน ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาสำหรับที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และในวันที่ 18 ของการเก็บรักษาสำหรับที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรจะมีค่าการต้านแรงตัดขาดอยู่ในช่วง 14.72 - 16.11 นิวตัน ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษาสำหรับกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาสภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาสำหรับกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาสภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าในช่วงท้ายการทดลอง การเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์จะมีอิทธิพลต่อการลดลงของค่าการต้านแรงตัดขาดมากกกว่าค่าการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อ

4.2.1.3.5 คุณภาพสี

การวิเคราะห์ค่าสีของกุ้งใช้เครื่องวัดสีระบบ CIE LAB (L*, a* และ b*) พบว่าค่า a* และ b* ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมแตกต่างจากกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.4 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาดังนี้



รูปที่ 4.10 ค่าสีของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C; ก: ค่าความสว่าง (L*) ข: ค่าความเป็นสีแดง (a*) และ ค: ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบสีของกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียม

ตัวอย่าง	ความสว่าง [ns] (L*)	ความเป็นสีแดง [ns] (a*)	ความเป็นสีเหลือง [ns] (b*)
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียม	60.05±0.93	0.36±0.42	3.04±0.26
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียม	61.29±1.05	0.81±0.60	2.78±0.36

[ns] แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.4 พบว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีสีไม่แตกต่างจากกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย กล่าวคือกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีสีขาว โดยเมื่อนำกุ้งมาวัดค่า L* (ความสว่าง) จะบ่งบอกความสว่างของตัวอย่างโดยมีสเกล 0 - 100, ค่า a* (ค่า a- หมายถึงสีเขียวและ a+ หมายถึงสีแดง) และค่า b* (ค่า b- หมายถึงสีน้ำเงิน และ b+ หมายถึงสีเหลือง) พบว่ากุ้งทั้ง 2 ตัวอย่างมีค่า L*, a* และ b* ใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 60.05 - 61.29, 0.36 - 0.81 และ 2.78 - 3.04 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4)

สำหรับผลการเก็บรักษากุ้งทั้ง 2 ส่วนข้างต้นในสภาวะที่แตกต่างกันพบว่าได้ผลดังนี้

ก. ค่า L*

จากรูปที่ 4.10 ก พบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า L* เพิ่มขึ้นช่วงแรก หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเท่ากับ 59.64±2.21 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ที่

เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) ซึ่งออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลที่อยู่ในกุ้งในสภาวะที่มีออกซิเจนเกิดเป็นเมลานิน ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีสีคล้ำขึ้น (García-Carreño, et el., 2008) ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีการเปลี่ยนแปลงของสีแตกต่างไปเล็กน้อย กล่าวคือมีค่า L* เพิ่มขึ้นช่วงแรก หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเท่ากับ 65.14±2.47 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา โดยการนำกุ้งมาแช่น้ำมันหอมระเหย จะทำให้มีน้ำมันหอมระเหยส่วนหนึ่งเคลือบที่ผิวกุ้ง ทำให้กุ้งไม่ได้สัมผัสอากาศโดยตรง ดังนั้นจึงชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไปได้ ส่งผลให้กุ้งยังคงความสว่างสูงกว่า ในส่วนของการเก็บรักษากุ้งที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่ากุ้งมีค่า L* สูงกว่ากุ้งที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติ ที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้นจะช่วยชะลอการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Thepnuan et al., 2008) ส่งผลให้กุ้งมีสีคล้ำช้าลง โดยค่า L* ของกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรอยู่ในช่วง 63.38 - 70.94 ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา

ข. ค่า a*

จากรูปที่ 4.10 ข พบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า a* เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยมีค่าเท่ากับ 6.74±0.67 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำประกอบด้วยไมโอโกลบิน (Myoglobin) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีม่วงแดง สามารถรวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็นออกซิไมโอโกลบิน (Oxymyoglobin) ซึ่งมีสีแดงสด (Sen, 2005) ดังนั้นกุ้งจึงมีค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีการเพิ่มขึ้นของค่า a* น้อยกว่า โดยมีค่าเท่ากับ 4.19±0.69 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา โดยการนำกุ้งมาแช่น้ำมันหอมระเหย จะทำให้มีน้ำมันหอมระเหยส่วนหนึ่งเคลือบที่ผิวกุ้ง ทำให้กุ้งไม่ได้สัมผัสอากาศโดยตรง ดังนั้นจึงชะลอการเกิดออกซิไมโอโกลบิน ส่งผลให้กุ้งมีค่าความเป็นสีแดงน้อยกว่า ในส่วนของการเก็บรักษากุ้งที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่ามีค่า a* ต่ำกว่ากุ้งที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติ ทั้งนี้เนื่องออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีปริมาณน้อยกว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (การทดลองที่ 4.2.1.3.1) จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินช้าลง โดยค่า a* ของกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาสภาวะที่บรรยากาศดัดแปรอยู่ในช่วง 5.45 - 6.52 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาสภาวะที่บรรยากาศดัดแปรมีค่า a* อยู่ในช่วง 2.10 - 3.83 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา

ค. ค่า b*

จากรูปที่ 4.10 ค พบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า b* เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.95 - 8.81 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินในกุ้ง ส่งผลให้กุ้งมีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในส่วนของการเก็บรักษากุ้งที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่ามีค่า b* มีค่าต่ำกว่าการเก็บรักษากุ้งภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ซึ่งอธิภายได้เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่า a* ของกุ้งที่เก็บที่สภาวะบรรยากาศดัดแปร กล่าวคือเป็นสภาวะที่ส่งผลให้กุ้งมีการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินเป็นออกซิไมโอโกลบินช้าลง โดยค่า b* ของกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรอยู่ในช่วง 8.42 - 9.16 ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาสภาวะที่บรรยากาศดัดแปรมีค่า b* อยู่ในช่วง 8.87 - 9.17 ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพสรุปได้ว่า การเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้การสูญเสียน้ำหนัก, ค่า a_w,คุณภาพเนื้อสัมผัส และคุณภาพทางสีแตกต่างจากการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าการสูญเสียน้ำหนักของกุ้งจะสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ กล่าวคือความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงส่งผลให้กุ้งมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น โดยมีผลให้กุ้งมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นขึ้น จึงมีการต้านแรงตัดขาดสูง

4.2.1.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

เมื่อนำกุ้งสดเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) กุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาสภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) กุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) กุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5) กุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) และกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8$\pm$2 °C ลวกในน้ำร้อนเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น สี รสชาติ และ เนื้อสัมผัส โดยใช้แบบทดสอบ 5-scale scoring ในส่วนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม ใช้แบบทดสอบ 5-scale hedonic ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5 โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมในกุ้งที่บรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C โดยใช้แบบทดสอบ 5-scale scoring และ 5-scale hedonic

สภาวะ	การเก็บรักษา (วัน)	กลิ่น	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	$4.80^{c}\pm0.41$	$4.47^{c}\pm0.52$	$5.00^{c}\pm0.00$	$4.20^{b}\pm0.41$	$4.60^{b}\pm0.51$
	4	$3.40^{b}\pm0.63$	$3.33^{b}\pm0.82$	$3.40^{b}\pm1.06$	$3.00^{a}\pm0.93$	$3.00^{a}\pm0.22$
	7	$2.93^{a}\pm0.70$	$2.86^{a}\pm0.74$	$2.40^{a}\pm0.51$	$2.87^{a}\pm0.83$	$2.40^{a}\pm0.22$
40% CO_2+60% N_2; MAP 1 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	$4.80^{c}\pm0.41$	$4.47^{b}\pm0.52$	$5.00^{c}\pm0.00$	$4.20^{b}\pm0.41$	$4.60^{c}\pm0.51$
	4	$3.07^{b}\pm1.03$	$4.60^{b}\pm0.51$	$4.67^{b}\pm0.62$	$4.00^{ab}\pm0.38$	$3.40^{b}\pm0.51$
	7	$3.40^{b}\pm0.74$	$3.93^{a}\pm1.03$	$2.67^{a}\pm1.11$	$4.27^{b}\pm0.80$	$3.20^{ab}\pm1.66$
	11	$2.67^{a}\pm0.90$	$4.07^{a}\pm0.70$	$2.60^{a}\pm0.91$	$3.53^{a}\pm0.74$	$2.80^{a}\pm0.94$
60% CO_2+40% N_2; MAP2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	$4.80^{d}\pm0.41$	$4.47^{c}\pm0.52$	$5.00^{c}\pm0.00$	$4.20^{b}\pm0.41$	$4.60^{c}\pm0.51$
	4	$4.73^{d}\pm0.46$	$4.80^{c}\pm0.41$	$5.00^{c}\pm0.00$	$4.00^{ab}\pm0.00$	$3.60^{b}\pm1.06$
	7	$3.40^{c}\pm0.74$	$4.27^{bc}\pm1.39$	$2.87^{b}\pm0.64$	$3.60^{a}\pm0.51$	$3.47^{b}\pm1.13$
	11	$2.53^{ab}\pm0.99$	$3.80^{b}\pm0.41$	$2.60^{b}\pm0.99$	$3.87^{a}\pm0.74$	$2.87^{ab}\pm1.13$
	14	$2.00^{a}\pm0.85$	$3.13^{a}\pm0.74$	$1.87^{a}\pm0.83$	$3.67^{a}\pm0.72$	$2.53^{a}\pm1.24$
น้ำมันหอมระเหย+บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	$4.61^{b}\pm0.66$	$4.27^{bc}+0.45$	$5.00^{c}\pm0.00$	$4.27^{b}\pm0.31$	$3.09^{a}\pm0.51$
	4	$4.53^{b}\pm0.52$	$3.80^{bc}\pm0.94$	$4.53^{b}\pm0.41$	$3.80^{ab}\pm0.77$	$3.53^{b}\pm0.72$
	7	$4.27^{b}\pm0.70$	$3.20^{b}\pm0.77$	$4.27^{b}\pm0.70$	$3.60^{a}\pm0.83$	$3.13^{a}\pm0.52$
	11	$3.53^{a}\pm0.52$	$2.80^{a}\pm1.37$	$3.27^{a}\pm1.03$	$3.53^{a}\pm0.92$	$3.07^{a}\pm0.70$
น้ำมันหอมระเหย +MAP1 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	$4.61^{c}\pm0.66$	$4.27^{b}+0.45$	$5.00^{d}\pm0.00$	$4.27^{b}\pm0.31$	$3.09^{a}\pm0.51$
	4	$4.47^{bc}\pm0.52$	$4.00^{ab}\pm1.14$	$4.80^{cd}\pm0.41$	$4.20^{b}\pm0.77$	$3.00^{a}\pm0.65$
	7	$4.20^{b}\pm0.94$	$4.00^{ab}\pm0.85$	$4.20^{bc}\pm1.01$	$3.93^{ab}\pm0.80$	$2.80^{a}\pm1.47$
	11	$3.00^{a}\pm0.93$	$3.53^{a}\pm0.74$	$3.67^{ab}\pm1.59$	$4.13^{b}\pm1.06$	$3.93^{b}\pm1.10$
	14	$2.93^{a}\pm0.70$	$3.67^{a}\pm0.83$	$3.00^{a}\pm0.76$	$3.33^{a}\pm0.96$	$2.73^{a}\pm0.96$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมในกุ้งที่บรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C โดยใช้แบบทดสอบ 5-scale scoring และ 5-scale hedonic

สภาวะ	การเก็บรักษา (วัน)	กลิ่น	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
น้ำมันหอมระเหย +MAP2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	$4.61^{d}\pm0.26$	$4.27^{c}\pm0.45$	$5.00^{c}\pm0.00$	$4.27^{ab}\pm0.31$	$3.09^{a}\pm0.51$
	4	$4.20^{c}\pm0.10$	$4.00^{bc}\pm0.93$	$5.00^{c}\pm0.00$	$4.00^{a}\pm0.65$	$2.80^{a}\pm1.37$
	7	$4.67^{d}\pm0.19$	$3.80^{bc}\pm0.77$	$3.93^{b}\pm0.42$	$4.00^{a}\pm0.53$	$2.93^{a}\pm0.70$
	11	$4.27^{cd}\pm0.70$	$3.67^{ab}\pm0.90$	$4.33^{b}\pm0.49$	$4.53^{b}\pm0.12$	$3.93^{c}\pm0.80$
	14	$3.60^{b}\pm0.83$	$3.40^{ab}\pm1.18$	$3.80^{b}\pm0.41$	$4.20^{ab}\pm0.56$	$3.40^{bc}\pm0.85$
	18	$3.07^{a}\pm0.70$	$3.00^{a}\pm1.07$	$3.00^{a}\pm0.76$	$3.93^{a}\pm0.26$	$3.20^{b}\pm1.37$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 4.6 ลักษณะของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะการเก็บรักษา		เริ่มต้นการเก็บรักษา	สิ้นสุดการเก็บรักษา	
บรรยากาศปกติ	ไม่ถูกแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 1)			เก็บรักษาวันที่ 7
	ถูกแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 4)			เก็บรักษาวันที่ 11

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) ลักษณะของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะการเก็บรักษา		เริ่มต้นการเก็บรักษา	สิ้นสุดการเก็บรักษา
บรรยากาศดัดแปร 40% CO_2+60% N_2	ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 2)		เก็บรักษาวันที่ 11
	ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 5)		เก็บรักษาวันที่ 14
บรรยากาศดัดแปร 60% CO_2+40% N_2	ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 3)		เก็บรักษาวันที่ 14
	ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 6)		เก็บรักษาวันที่ 18

จากตารางที่ 4.5 พบว่ากุ้งทุกตัวอย่างมีคะแนนกลิ่น สีรสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สำหรับการทดสอบด้านกลิ่นพบว่า กุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีกลิ่นแตกต่างกัน กล่าวคือกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสดและไม่เกิดกลิ่นอับกลิ่นคาว ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีกลิ่นของสมุนไพร และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นพบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีกลิ่นสดลดลง โดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 1 มีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสดและไม่เกิดกลิ่นอับกลิ่นคาว เปลี่ยนแปลงเป็นเริ่มมีกลิ่นอับกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 7 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น กุ้งจะมีการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นซึ่งมีผลต่อการผลิต TMA ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและกลิ่นคาวเพิ่มขึ้น สำหรับกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 พบว่ามีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสดและไม่เกิดกลิ่นอับกลิ่นคาว เปลี่ยนแปลงเป็นกุ้งมีกลิ่นอับกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเปรี้ยวชัดเจนเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 11 และกุ้งในชุดการทดลองที่ 3 มีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสดและไม่เกิดกลิ่นอับกลิ่นคาวเปลี่ยนแปลงเป็นมี

กลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 14 ผลที่ได้บ่งชี้ว่า สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้กุ้งเกิดกลิ่นอับกลิ่นคาวช้ากว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ในส่วนของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งมีกลิ่นของสมุนไพรลดลง โดยพบว่ากุ้งในชุดการทดลองที่ 4 มีกลิ่นของสมุนไพรชัดเจนจนกระทั่งเปลี่ยนแปลงเป็นมีกลิ่นสมุนไพรเล็กน้อยและมีกลิ่นอับกลิ่นคาวปนอยู่เล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 11 โดยกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นช้ากว่า กล่าวคือในชุดการทดลองที่ 5 พบว่ากุ้งมีกลิ่นของสมุนไพรชัดเจนจนกระทั่งเปลี่ยนแปลงเป็นมีกลิ่นสมุนไพรเล็กน้อยและเกิดกลิ่นอับกลิ่นคาวเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 14 ส่วนกุ้งในชุดการทดลองที่ 6 มีกลิ่นของสมุนไพรชัดเจนจนกระทั่งเปลี่ยนแปลงเป็นมีกลิ่นสมุนไพรเล็กน้อยและเกิดกลิ่นอับกลิ่นคาวเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 18

สำหรับคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีพบว่า กุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีสีไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.6) กล่าวคือกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีสีขาว และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นพบว่ากุ้งมีสีขาวลดลง โดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงเป็น เนื้อมีสีเหลืองอมขาวเล็กน้อย ลายมีสีส้มซีดจาง เมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 7 สำหรับกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 พบว่ากุ้งมีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อโดยที่สีขาวลดลง ลายมีสีส้มอ่อน ในการเก็บรักษาวันที่ 11 และ 14 ตามลำดับ ผลที่ได้บ่งชี้ว่าสภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้กุ้งมีการเปลี่ยนแปลงสีช้ากว่าการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ในส่วนของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งมีสีเหลืองลดลงโดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 4 พบว่ากุ้งมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองอมขาวเล็กน้อย ลายมีสีส้มซีดจางเมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 11 โดยกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีการเปลี่ยนแปลงสีช้ากว่า กล่าวคือในชุดการทดลองที่ 5 และ 6 พบว่ากุ้งมีสีเหลืองลดลงเมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 14 และ 18 ตามลำดับ

ในส่วนของการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ พบว่ากุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีรสชาติแตกต่างกัน กล่าวคือกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีรสชาติของเนื้อกุ้งออกหวานปนเค็มเล็กน้อย ไม่มีรสชาติอื่นรบกวน ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีรสชาติคลุกเคล้าสมุนไพร และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นพบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีรสชาติเปลี่ยนแปลงเป็นรสเปรี้ยว โดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 1 รสชาติของเนื้อกุ้งออกหวานปนเค็มเล็กน้อย ไม่มีรสชาติอื่นรบกวนและเปลี่ยนแปลงเป็นมีรสชาติอื่น เช่น รสเปรี้ยวเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 4 สำหรับกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 พบว่ากุ้งมีรสชาติของเนื้อกุ้งออกหวานปนเค็มเล็กน้อย ไม่มีรสชาติอื่นรบกวนเปลี่ยนแปลงเป็นมีรสชาติอื่นเช่น รสเปรี้ยวเมื่อ

เก็บรักษาถึงวันที่ 7 เช่นเดียวกัน ในส่วนของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งมีรสชาติของสมุนไพรลดลง โดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 4 ผู้ทดสอบพบว่ากุ้งมีรสชาติคลุกเคล้าสมุนไพรและเปลี่ยนแปลงเป็นรสชาติของกุ้ง ไม่มีรสชาติอื่นรบกวนเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 11 ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปร (ชุดการทดลองที่ 5 และ 6) พบว่ารสชาติของสมุนไพรลดลงเมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 14 - 18

จากตารางที่ 4.5 พบว่ากุ้งมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นโดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 เนื้อกุ้งเกาะรวมตัวแน่น กัดแล้วรู้สึกถึงความยืดหยุ่นแน่น เนื้อไม่นิ่มเละ จากนั้นเนื้อกุ้งไม่เกาะรวมตัวกัน เนื้อนิ่ม เริ่มเปื่อยยุ่ยเล็กน้อย เมื่อเก็บถึงวันที่ 7, 11 และ 11 ตามลำดับ ในส่วนของกุ้งชุดการทดลองที่ 4, 5 และ 6 ผู้ทดสอบพบว่าเนื้อกุ้งเกาะรวมตัวแน่นกัดแล้ว รู้สึกถึงความยืดหยุ่นแน่นเนื้อ ไม่นิ่มเละ จากนั้นเนื้อกุ้งเกาะรวมตัวกันปานกลาง เริ่มไม่มีความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้ง และเนื้อเริ่มนิ่มเมื่อเก็บถึงวันที่ 11, 14 และ 18 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลที่ได้ พบว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่นและมีความแน่นเนื้อมากกว่ากุ้งสดธรรมดา นอกจากนี้ยังพบว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงส่งผลให้เนื้อกุ้งเริ่มนิ่มและเปื่อยยุ่ยช้ากว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ

จากผลคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวม พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยสูงกว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ตารางที่ 4.5) ซึ่งอาจเป็นเพราะกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีกลิ่นของสมุนไพรชัดเจน ให้ผู้บริโภคให้การยอมรับลดลง และเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นพบว่าคะแนนการยอมรับของกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยลดลงอาจเป็นเพราะคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น สี รสชาติ และเนื้อสัมผัสของกุ้งลดลงลงเมื่อเวลาผ่านไป ในส่วนของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยพบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับเพิ่มขึ้นจากนั้นคะแนนการยอมรับกลับมาลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะเมื่ออายุการเก็บรักษาผ่านไป กลิ่นของสมุนไพรจางลง แต่เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น สี รสชาติ และเนื้อสัมผัสของกุ้งเริ่มลดลง จึงส่งผลให้ผู้บริโภคให้การยอมรับลดลง แต่เมื่อใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร พบว่ากุ้งมีกลิ่นของสมุนไพรจางลง ซึ่งกุ้งในชุดการทดลองที่ 6 ได้รับการยอมรับมากกว่าสภาวะอื่น กล่าวคือกุ้งชุดการทดลองที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 4, 7, 7, 11, 11 และ 18 ตามลำดับ

จากผลการทดลองคุณสมบัติทางจุลินทรีย์ เคมี และกายภาพของกุ้งสดที่กล่าวมาดังข้อ 4.2.1.1 - 4.2.1.3 พบว่า น้ำมันหอมระเหยกระเทียมหรือการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของกุ้งได้นานขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม และจากผลคะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับกุ้งที่ถูกแช่ในน้ำมันหอมระเหยกระเทียมและบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร 60% CO_2+40% N_2 นานที่สุด คือ 18 วัน

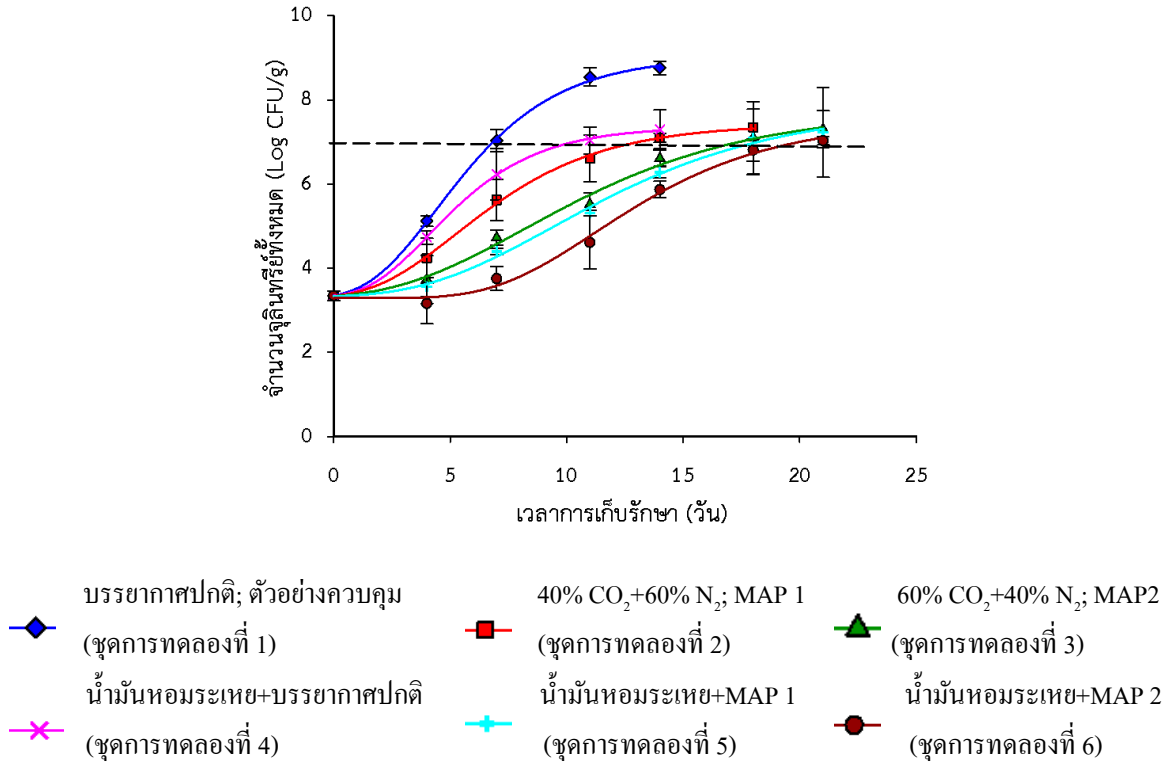
4.2.2 ผลการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษากุ้งสด

การศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพของกุ้งสด จะทำโดยใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่ระดับความเข้มข้น 20 mg/mL ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร โดยแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ในการบรรจุเป็น 2 ระดับคือ 40% CO_2+60% N_2 (MAP 1) และ 60% CO_2+40% N_2 (MAP 2) จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8$\pm$2 °C และนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ เคมี กายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งได้ผลการทดลองทั้งหมดดังนี้

4.2.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

4.2.2.1.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count)

ผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8$\pm$2 °C พบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

จากรูปที่ 4.11 พบว่า กุ้งสดมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 3.35±0.11 log CFU/g และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งทุกสภาวะมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับอาหารประเภทกุ้ง ซึ่งกำหนดไว้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 7 log CFU/g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529) เป็นตัวกำหนดอายุการเก็บรักษาของกุ้งสด พบว่ากุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีอายุการเก็บรักษาเพียง 4 วัน โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 5.66±0.61 log CFU/g ทั้งนี้เนื่องจากผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในครั้งถัดไปคือวันที่ 7 ของการเก็บรักษา พบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินมาตรฐาน คือมีค่าเท่ากับ 7.04±0.27 log CFU/g ส่วนกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) มีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 7 วัน โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.24±0.61 log CFU/g ซึ่งแสดงว่าน้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษากุ้งสดที่อุณหภูมิ 8±2 °C ทั้งนี้อธิบายได้ว่าน้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.1.1 ดังนั้นจึงส่งผลให้กุ้งมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น สำหรับกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) พบว่ามีอายุการเก็บรักษา 11 วัน โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

เท่ากับ 6.21±0.56 log CFU/g ส่วนกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) มีอายุการเก็บรักษา 14 วัน โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.61±0.20 log CFU/g ซึ่งมีค่าต่ำกว่าจำนวนจุลินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้จากชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางภาคผนวก ง.20) ทั้งนี้เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์สามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะซึมเข้าสู่เยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ส่งผลให้ pH ภายในเซลล์มีค่าลดลง จุลินทรีย์จึงไม่สามารถเจริญได้ (Smith et al., 1990; Venugopal et al., 2006; McMillin, 2008)

จากผลการทดลอง ยังพบว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร มีจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติ ซึ่งแสดงว่าบรรยากาศดัดแปรในช่วงที่ศึกษามีประสิทธิภาพในการยับยั้งและ/ หรือชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ได้สูงกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าเท่ากับค่าความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันหอมระเหยที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ถึง 99.9% (MBC) แต่เนื่องจากในอาหารตัวอย่างมีความซับซ้อนมากกว่าอาหารเหลวที่ใช้ในการหาค่า MBC ในแง่ของปริมาณและชนิดของสารอาหาร รวมทั้งข้อจำกัดด้านการนำน้ำมันหอมระเหยมาใช้ในอาหารจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีจำนวนจุลินทรีย์สูงกว่า

สำหรับผลการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้ง พบว่าวิธีการนี้สามารถยืดอายุการเก็บรักษากุ้งได้มากกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว แสดงถึงการใช้ 2 เทคนิคร่วมกันจะช่วยส่งเสริมการยับยั้งและ/ หรือชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจากรูปที่ 4.12 พบว่ากุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ตามลำดับ) มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 14 วันเท่ากัน โดยกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าเล็กน้อย กล่าวคือมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.28±0.06 และ 5.97±0.20 log CFU/g สำหรับชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kostaki และคณะ (2009) ที่พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยไธม์จะทำให้เก็บรักษาปลากะพงที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติได้นาน 9 วัน แต่ถ้าเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+30% N_2+10% O_2) จะทำให้ปลากะพงมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นเป็น 10 วัน ในขณะที่การใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรจะยิ่งส่งผลให้ปลากะพงมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นอีกเป็น 19 วัน

4.2.2.1.2 อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดและช่วงเวลาที่เกิด lag phase

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ (รูปที่ 4.11) มาสร้างกราฟที่เหมาะสม (curve fitting) กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Gompertz (Zwietering et al., 1990) พบว่ามีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.9931 - 1.0000 โดยมีค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (Maximum specific growth rate: μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด lag phase (Lag phase duration: L) แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของจุลินทรีย์ที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะการเก็บแบบต่างๆ

สภาวะ	μ_{max} (log CFU/g.วัน)	L (วัน)	R^2
บรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1)	0.72	1.49	1.0000
สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0.43	1.72	0.9970
สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0.30	2.72	0.9931
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4)	0.57	1.51	1.0000
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0.28	3.41	0.9960
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะ60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0.25	6.63	0.9939

* μ_{max}: อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด และ L: ช่วงเวลาที่เกิด lag phase

จากตารางที่ 4.7 พบว่าค่า μ_{max} ของจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีค่าสูงที่สุด คือ 0.72 log CFU/g.วัน ในขณะที่ค่า L มีค่าต่ำสุด คือมีค่าเท่ากับ 1.49 วัน รองลงมาคือค่า μ_{max} และ L ของจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้งสดที่ผ่านการแช่ในน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.57 log CFU/g.วัน และ 1.51 วันตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ส่งผลให้อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ลดลง โดยยืดระยะเวลาในช่วง lag phase นานขึ้น ส่วนการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรทำให้จุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่า μ_{max} ลดต่ำลง และมีค่า L มากขึ้นกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยเพียงอย่างเดียว โดยมีค่า μ_{max} อยู่ในช่วง 0.30 - 0.43 log CFU/g.วัน และค่า L อยู่ในช่วง 1.72 - 2.72 วัน โดยที่สภาวะ

40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) จะมีค่า μ_{max} ของจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้งสูงกว่าและมีค่า L ของจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Erkmen และ Barazi (2008) ซึ่งทดลองนำเนื้อวัวมาเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) ที่อุณหภูมิ 4$\pm$2 ^{o}C ผลการทดลองพบว่าการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้ *S.* Typhimurium มีค่า μ_{max} เท่ากับ 0.41 log CFU/g.วัน และมีค่า L เท่ากับ 4.40 วัน ในขณะที่การเก็บเนื้อวัวที่สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า μ_{max} สูงกว่า และค่า L ต่ำกว่า คือเท่ากับ 0.60 log CFU/g. วัน และ 1.11 วัน ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากคาร์บอนไดออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ โดยคาร์บอนไดออกไซด์มีผลในการยืดระยะเวลาในช่วงระยะ lag phase และลดอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ (McMillin, 2008)

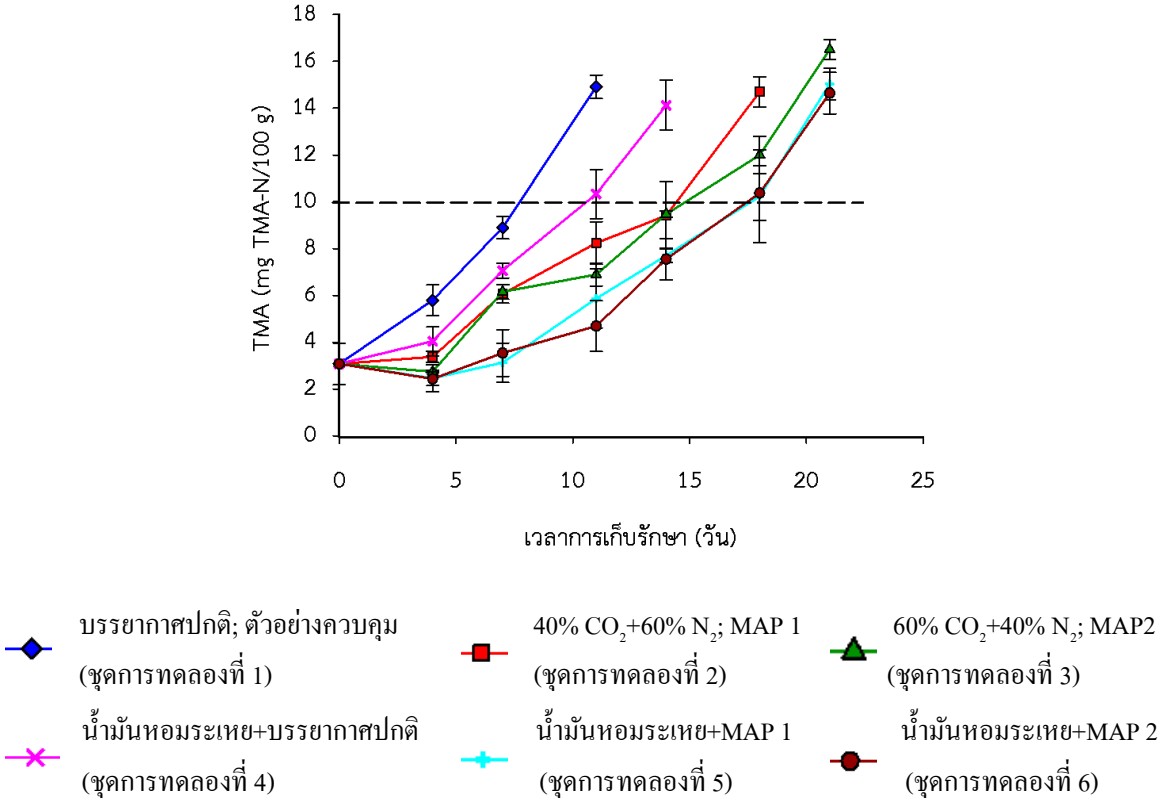
จากผลการทดลองยังพบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรจะยิ่งส่งผลให้ค่า μ_{max} ของจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำลง และมีค่า L ของจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงขึ้นโดยพบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับสภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5) และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6) จะทำให้จุลินทรีย์มีค่า μ_{max} เท่ากับ 0.28 และ 0.25 log CFU/g. วัน ตามลำดับ และค่า L ของจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 3.41 และ 6.63 วันตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yilmaz (2011) ที่พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยไธม์ร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (30% CO_2+70% N_2) ส่งผลให้ปริมาณ *S.* Typhimurium ในปลาเรนโบว์เทราต์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว โดยพบว่ามีค่า μ_{max} เท่ากับ 0.02 log CFU/g.ชั่วโมง ในขณะที่ค่า μ_{max} ของ *S.* Typhimurium ในปลาเรนโบว์เทราต์ที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยหรือการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีอยู่ในช่วง 0.04 - 0.06 log CFU/g.ชั่วโมง

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์สรุปได้ว่า การใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว โดยสภาวะที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษากุ้งสดที่อุณหภูมิ 8$\pm$2 ^{o}C ได้นานที่สุดคือ สภาวะที่กุ้งผ่านการแช่ในน้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ซึ่งมีอายุการเก็บรักษา 14 วัน

4.2.2.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

4.2.2.2.1 ไตรเมทิลเอมีน (Trimethylamine; TMA)

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าไตรเมทิลเอมีน (TMA) ในกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C พบว่าได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ค่าไตรเมทิลเอมีน (TMA) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

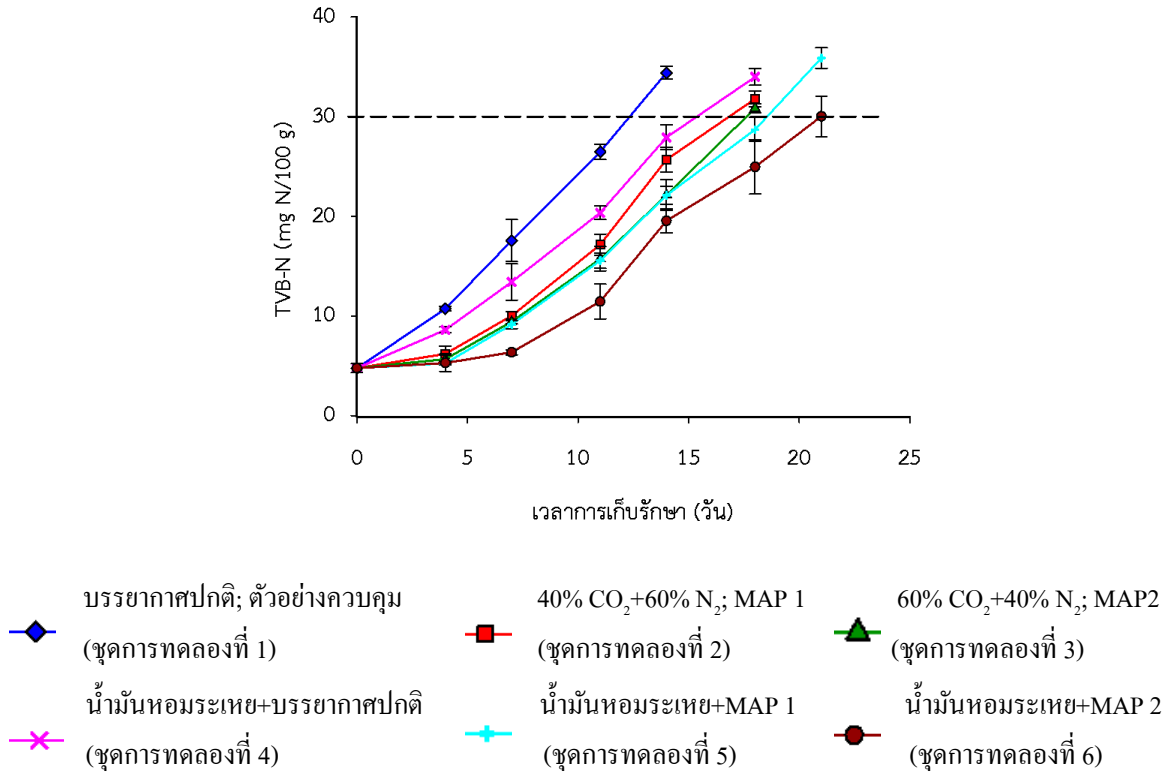
จากรูปที่ 4.12 พบว่ากุ้งสดมีค่า TMA เริ่มต้นเท่ากับ 3.08±0.89 mg TMA-N/100g หลังจากนั้นกุ้งที่เก็บรักษาในทุกสภาวะจะมีค่า TMA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเกิดการสลายตัวของไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ (Trimethylamine oxide; TMAO) โดยเอนไซม์ไตรเมทิลเอมีนออกซิเดส (Trimethyamine oxidase) ในจุลินทรีย์ ให้เป็น TMA (Villarreal และ Pozo, 1990 และ Barnett et al., 1991) ดังนั้นเมื่อกุ้งที่เก็บรักษาไว้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้มีค่า TMA เพิ่มสูงขึ้นด้วย จากงานวิจัยของ Dalgaard และคณะ (1993) พบว่าโดยทั่วไปสัตว์น้ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นจะมีคุณภาพไม่เหมาะสมต่อการบริโภคเมื่อมีค่า TMA เกินกว่าช่วง 10 - 15 mg TMA-N/100g ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้เกณฑ์ข้างต้นมากำหนดอายุการ

เก็บรักษาของกุ้งแช่เย็น โดยกุ้งที่ยังมีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการบริโภคจะต้องมีค่า TMA ต่ำกว่า 10 mg TMA-N/100g ซึ่งจากการทดลองพบว่า กุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีอายุการเก็บรักษาเพียง 7 วันโดยมีค่า TMA เท่ากับ 8.90±0.48 mg TMA-N/100g เนื่องมาจากผลการวิเคราะห์ค่า TMA ในครั้งถัดไปคือวันที่ 11 ของการเก็บรักษา พบว่ามีค่า TMA เกินมาตรฐานคือเท่ากับ 14.91±0.49 mg TMA-N/100g ส่วนกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) มีอายุการเก็บรักษา 7 วัน โดยมีค่า TMA เท่ากับ 7.06±0.32 mg TMA-N/100g ซึ่งจะเห็นว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีค่า TMA ต่ำกว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย

สำหรับกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร พบว่ามีอายุการเก็บรักษา 11 วันเท่ากัน โดยที่กุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) และ 60% CO_2+40% N_2 มีค่า TMA เท่ากับ 8.24±0.91 และ 6.89±1.26 mg TMA-N/100g ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่า TMA ของกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (ตารางภาคผนวก ง.23) และเมื่อนำ 2 เทคนิคมาใช้ร่วมกัน พบว่าสามารถชะลอการเพิ่มค่า TMA ในกุ้งได้มากขึ้น กล่าวคือกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5) และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6) มีอายุการเก็บรักษา 14 วันเท่ากัน โดยมีค่า TMA เท่ากับ 7.71±0.13และ 7.55±0.87 mg TMA-N/100g ตามลำดับ สำหรับสาเหตุที่กุ้งที่เก็บในสภาวะต่างกันมีค่า TMA ต่างกันนั้นเนื่องจากสภาวะที่ใช้มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ (ตารางภาคผนวก ง.20) โดยสภาวะบรรยากาศปกติเอื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์มากที่สุด ดังนั้นจึงมีจำนวนจุลินทรีย์สูงที่สุด (รูปที่ 4.11) ซึ่งส่งผลให้มีค่า TMA สูงที่สุดด้วย (รูปที่ 4.13) ในขณะที่การแช่กุ้งในน้ำมันหอมระเหยแม้จะช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ได้แต่มีประสิทธิภาพด้อยกว่าการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ดังนั้นกุ้งตัวอย่างจึงมีค่า TMA สูงกว่ากุ้งที่เก็บภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ยังทำให้สามารถควบคุมจำนวนจุลินทรีย์ได้ดีขึ้น ดังนั้นกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 จึงมีค่า TMA ต่ำกว่ากุ้งที่เก็บภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และเนื่องจากวิธีการใช้น้ำมันหอมระเหยและการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถชะลอ/ ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับกุ้งตัวอย่างได้ที่สุด (รูปที่ 4.12) ดังนั้นเมื่อนำทั้ง 2 เทคนิคมาใช้ร่วมกันก็จะยิ่งทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์ลดลง (รูปที่ 4.12) และส่งผลให้กุ้งมีค่า TMA ลดลงด้วย

4.2.2.2.2 สารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile basic nitrogen; TVB-N)

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C พบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ค่าสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

จากผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมดมีความสอดคล้องกับค่า TMA กล่าวคือมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ประกอบด้วยสารประกอบ TMA ไดเมทิลเอมีน (Dimethyl amine; DMA) เมทิลเอมีน (Methylamine) แอมโมเนียและสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้อื่นๆ (Dalgaard et al., 1993 และ Huss, 1995) ดังนั้นเมื่อกุ้งมีค่า TMA เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้มีค่า TVB-N เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน จากรูปที่ 4.13 พบว่ากุ้งมีค่า TVB-N เริ่มต้นเท่ากับ 4.78±0.46 mg N/100g หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างกันไปขึ้นกับสภาวะการเก็บรักษา ซึ่งเมื่อใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกุ้งที่กำหนดไว้ว่ากุ้งที่ยังเหมาะสมต่อการบริโภคต้องต้องมีค่า TVB-N น้อยกว่า 30 mg N/100 g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529) มากำหนดอายุการเก็บรักษา พบว่า

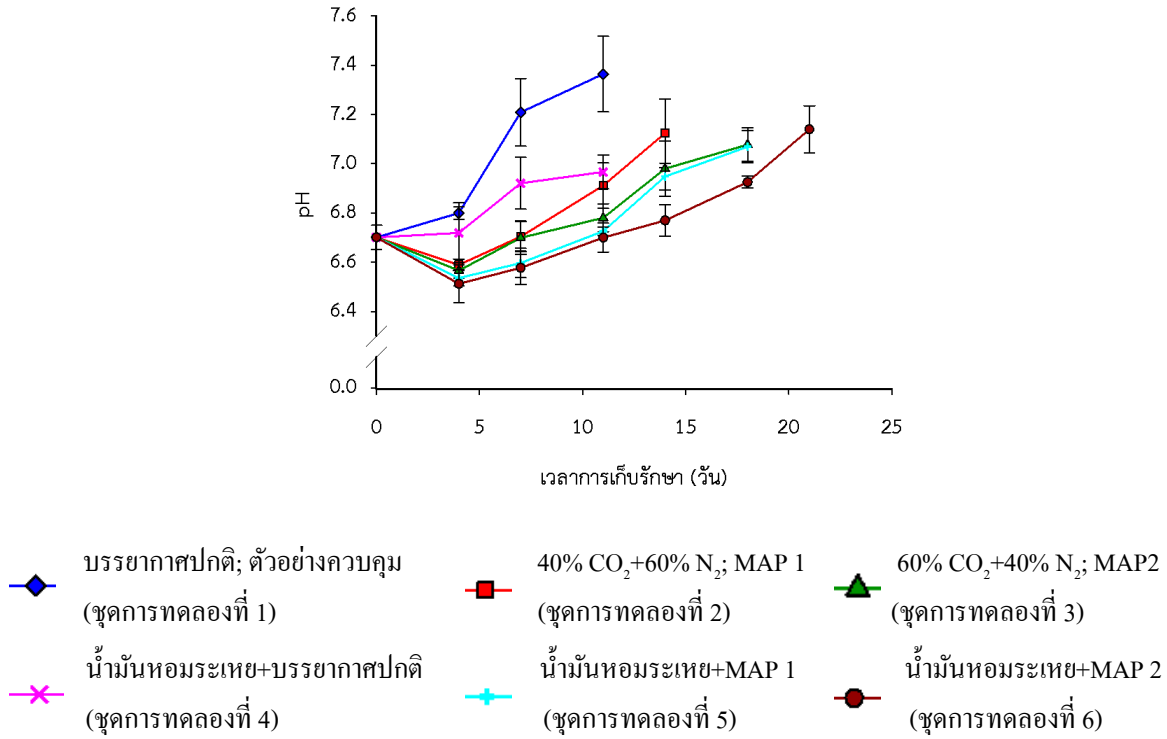
กุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีอายุการเก็บรักษา 11 วัน โดยมีค่า TVB-N เท่ากับ 26.48±0.76 mg N/100g ส่วนกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) มีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 14 วัน โดยมีค่า TVB-N เท่ากับ 27.93±1.30 mg N/100g

สำหรับกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) พบว่ามีอายุการเก็บรักษา 14 วันเท่ากัน โดยมีค่า TVB-N เท่ากับ 25.70±1.23 และ 22.15±1.55 mg N/100g ตามลำดับ ผลที่ได้บ่งชี้ว่าการเก็บรักษากุ้งภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TVB-N มากกว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ นอกจากนี้เมื่อนำน้ำมันหอมระเหยมาใช้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่าสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TVB-N ในกุ้งมากขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว โดยกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ตามลำดับ) มีอายุการเก็บรักษา 18 วันเท่ากัน แต่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยเก็บที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 จะมีค่า TVB-N ต่ำกว่า กล่าวคือมีค่า TVB-N เท่ากับ 24.95±2.73 mg N/100g ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยเก็บที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 มีค่า TVB-N เท่ากับ 28.71±1.22 mg N/100g

4.2.2.2.3 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลการวัดค่า pH ของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C (รูปที่ 4.14) พบว่ากุ้งมีค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 6.70±0.05 หลังจากนั้นกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติจะมีค่า pH เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สำหรับการเพิ่มขึ้นของ pH นั้นเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของสารประกอบไนโตรเจนซึ่งมีสมบัติเป็นเบสเมื่อละลายน้ำ โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งจะมีปริมาณสารประกอบไนโตรเจนมากขึ้น (ดังผลค่า TMA และ TVB-N ในข้อที่ 4.2.2.2.1 และ 4.2.2.2.2 ตามลำดับ) และเนื่องจากปริมาณสารประกอบไนโตรเจนจะมีความสัมพันธ์กับจุลินทรีย์ กล่าวคือมีค่ามากเมื่อมีจำนวนจุลินทรีย์มาก ดังนั้นกุ้งสดที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย จึงมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า pH สูงกว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย กล่าวคือกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีค่า pH เพิ่มขึ้นเป็น 7.36±0.15 ส่วนกุ้งสดผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) มีค่า pH เท่ากับ 6.97±0.07 เมื่อเก็บรักษา 11 วันเท่ากัน จากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nirmal และ Benjakul (2010) พบว่ากุ้งที่แช่สารสกัดจากชาเขียว

มีอัตราการเพิ่มค่า pH น้อยกว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่สารสกัดจากชาเขียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.14 ค่า pH ของของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สำหรับกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่ามีแนวโน้มที่แตกต่างออกไป และมีอัตราการเปลี่ยนแปลง pH ที่ช้ากว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ กล่าวคือมีการลดลงของ pH ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา จากนั้นค่า pH จะเพิ่มขึ้นแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับรายละเอียดของสภาวะการเก็บรักษา โดยกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) และกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกัน (ชุดการทดลองที่ 5) มีค่า pH ลดลงเท่ากับ 6.59±0.02 และ 6.57±0.03 ตามลำดับ ในการเก็บรักษาวันที่ 4 และมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.12±0.14 และ 7.07±0.07 เมื่อเก็บรักษา 14 และ 18 วันตามลำดับ ส่วนกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) และกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกัน (ชุดการทดลองที่ 6) มีค่า pH ลดลงเท่ากับ 6.54±0.03 และ 6.51±0.08 ตามลำดับ ในการเก็บรักษาวันที่ 4 และมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.08±0.07 และ 7.14±0.10 เมื่อเก็บรักษา 18 และ 21 วันตามลำดับ

สำหรับการลดลงของค่า pH ในช่วงแรกเป็นผลจากคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ละลายน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งมีผลในการปรับสภาวะของเนื้อเยื่อให้เป็นกรด (Sivertsvik et al., 2002 และ Masniyom, 2011) ทั้งนี้สภาวะบรรยากาศดัดแปรที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า (60% CO_2+ 40% N_2) จะทำให้กุ้งมีค่า pH ลดลงมากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น พบว่ากุ้งสดมีค่า pH เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากมีการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้เกิดสารประกอบไนโตรเจนขึ้น โดยจากการทดลองพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของ pH จะสูงสุดในกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 รองลงมาคือกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2, กุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Karabagias และคณะ (2011) ซึ่งพบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนและการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในเนื้อแกะได้ โดยการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 80% CO_2+20% N_2 สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในแกะได้มากที่สุด รองลงมาเป็นการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2, การเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 80% CO_2+20% N_2 การเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 และสภาวะบรรยากาศปกติ ตามลำดับ

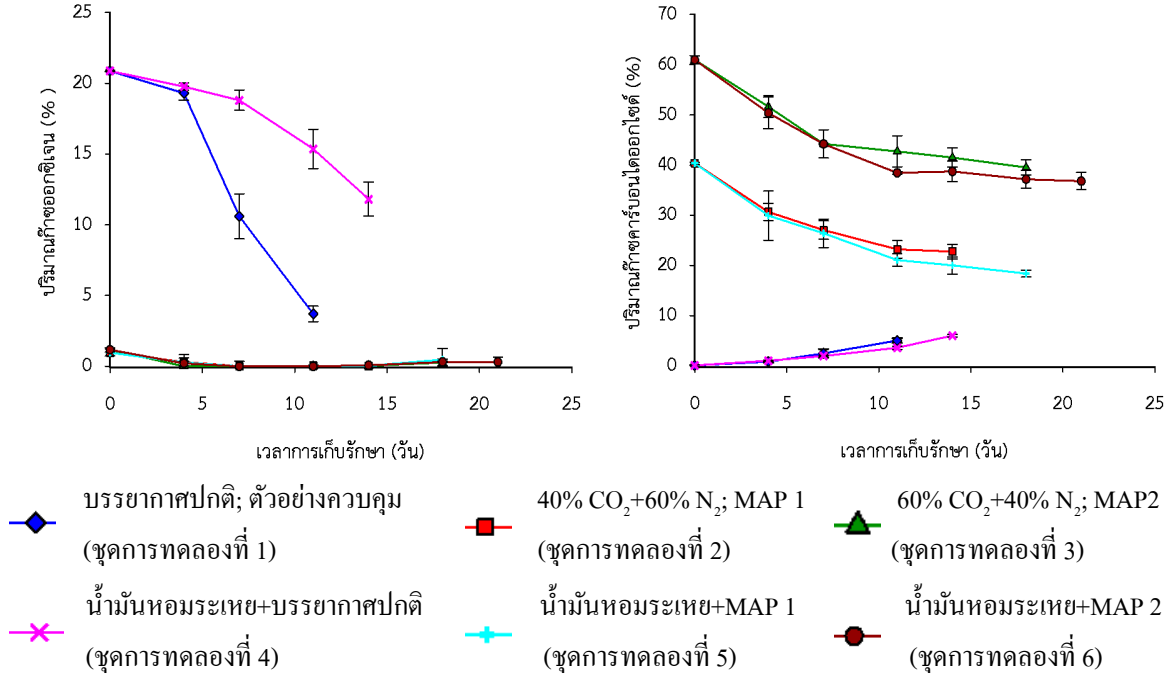
จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีสรุปได้ว่า ผลการวิเคราะห์ค่า TMA, TVB-N และ ค่า pH มีความสัมพันธ์กับจำนวนจุลินทรีย์ โดยเมื่อจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น จะทำให้มีค่า TMA, TVB-N และ pH เพิ่มขึ้น ซึ่งการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TMA, TVB-N และ ค่า pH ได้ดีกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว

4.2.2.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

4.2.2.3.1 ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์

เมื่อนำบรรจุภัณฑ์ของกุ้งทุกสภาวะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C มาวิเคราะห์ปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ พบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.15 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1 และ 4 ตามลำดับ) ลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ เป็นเช่นนี้เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในสภาวะนี้คือ PE ซึ่งมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 3804.952 cm^3/m^2.24hr.atm และ 8310 cm^3/m^2.24hr.atm ตามลำดับ ดังนั้นในระหว่างการเก็บรักษาจึงมีการแพร่

ของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จากภายนอกเข้าออกระหว่างบรรจุภัณฑ์ได้ ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ที่ติดมากับกุ้งตัวอย่างจึงได้ใช้ออกซิเจนในการเจริญและผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (Ashie et al., 1996 และ Fraser และ Sumar, 1998) โดยบรรจุภัณฑ์ของชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณออกซิเจนลดลงจาก 20.87±0.06% เป็น 3.70±2.17% ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 0.10±0.01% เป็น 5.07±0.47% เมื่อเก็บรักษา 11 วัน ในขณะที่กุ้งในชุดการทดลองที่ 4 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของก๊าซทั้ง 2 ชนิดช้ากว่า โดยมีปริมาณออกซิเจนลดลงจาก 20.87±0.06% เป็น 11.82±1.20% ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 0.10±0.01% เป็น 6.03±0.21% เมื่อเก็บรักษา 14 วัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากชุดการทดลองที่ 4 มีจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่ากุ้งในชุดการทดลองที่ 1 (รูปที่ 4.15) ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำมันหอมระเหยตะไคร้สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ดังนั้นจึงมีการใช้ออกซิเจนและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยกว่า



รูปที่ 4.15 ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สำหรับผลการศึกษาการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ พบว่ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน กล่าวคือมีปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ โดยบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+ 60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) และบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษา

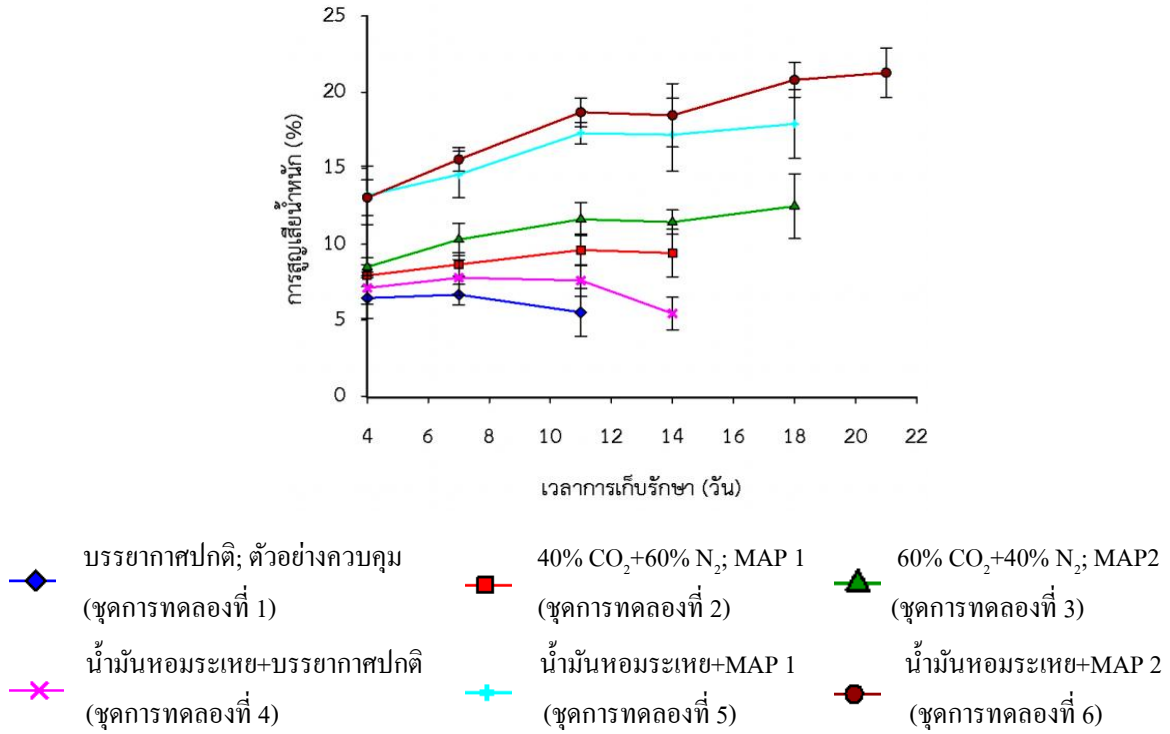
ภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกัน (ชุดการทดลองที่ 5) มีปริมาณออกซิเจนลดลงจาก 0.97±0.25% เป็น 0.03±0.06% และ 0.47±0.81% ตามลำดับ ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจาก 40.37±0.21% เป็น 22.77±1.46% และ 18.40±0.70% เมื่อเก็บรักษา 14 และ 18 วันตามลำดับ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) และบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกัน (ชุดการทดลองที่ 6) มีปริมาณออกซิเจนลดลงจาก 1.17±0.15% เป็น 0.03±0.06% และ 0.27±0.25% ตามลำดับ ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจาก 60.97±0.84% เป็น 39.53±1.55% และ 36.80±1.71% เมื่อเก็บรักษา 18 และ 21 วันตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2) และบรรจุภัณฑ์ที่ใช้คือ nylon/PE ซึ่งมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 46.195 cm^3/m^2.24hr.atm และ 140 cm^3/m^2.24hr.atm ตามลำดับ ดังนั้นในระหว่างการเก็บรักษาจึงมีการแพร่ของออกซิเจนจากภายนอกซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าเข้ามาสู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ในขณะเดียวกันก็มีการแพร่ผ่านของคาร์บอนไดออกไซด์จากภายในซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าสู่ภายนอกบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนที่ละลายน้ำและแทรกซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อสัตว์ได้ ซึ่งสังเกตได้จากบรรจุภัณฑ์ที่ยุบตัวลง และค่า pH ที่ลดลงในช่วงแรก (รูปที่ 4.14)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร พบว่าบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (ตารางภาคผนวก ง.26) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรจะช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงมีการใช้ออกซิเจนและสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาน้อยกว่าสภาวะอื่นๆ

4.2.2.3.2 การสูญเสียน้ำหนัก

จากผลการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C (รูปที่ 4.16) พบว่ากุ้งสดมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเอนไซม์โปรติเอส (Protease) ที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อกุ้งและในจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนทำการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อกุ้ง ทำให้โปรตีนไม่สามารถอุ้มน้ำได้ (Huff-Lonergan และ Lonergan, 2005) จากผลการทดลองพบว่ากุ้งเก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมัน

หอมระเหยมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าสภาวะอื่นๆ เมื่อเทียบกับช่วงเวลาในการเก็บรักษาเท่ากัน โดยเมื่อระยะเวลานานขึ้น พบว่ากุ้งทั้ง 2 สภาวะนี้มีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ในช่วง 5.52 - 7.79%



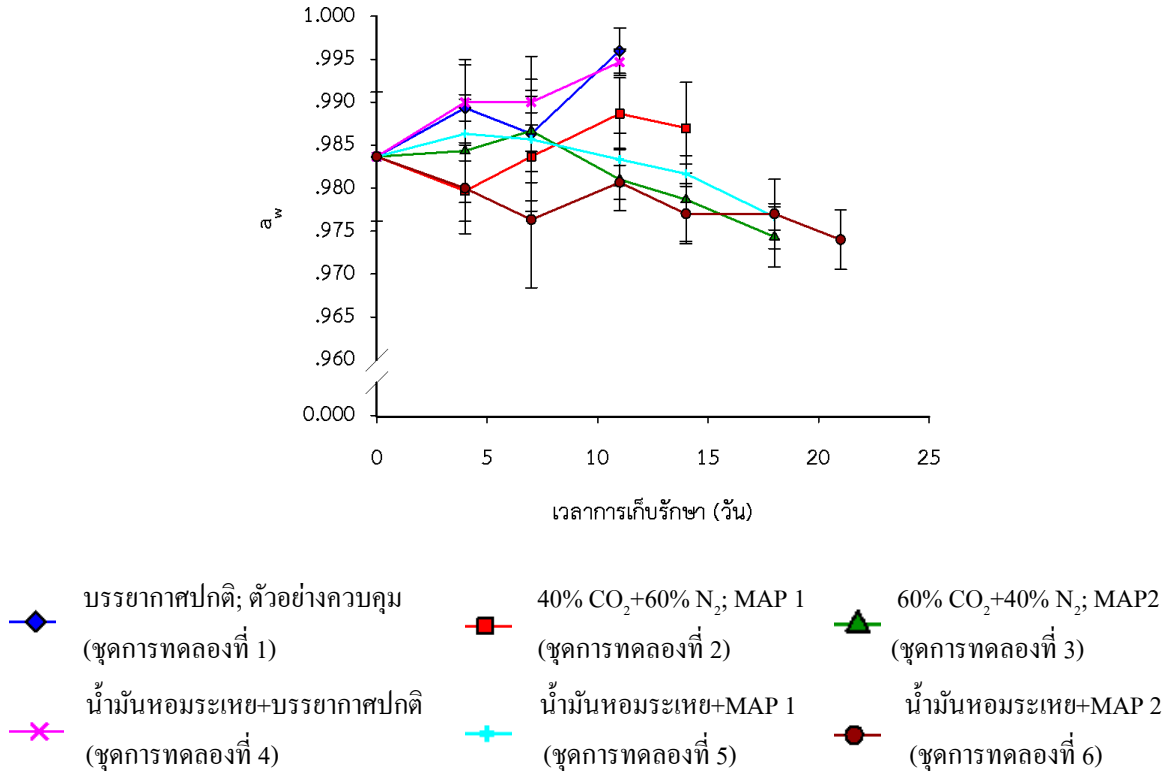
รูปที่ 4.16 การสูญเสียน้ำหนักของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สำหรับกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่า กุ้งมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางภาคผนวก ง.29) โดยกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ในช่วง 7.94 - 21.28% ทั้งนี้เนื่องจากกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อปรับสภาพบรรยากาศ โดยคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์สามารถละลายน้ำและซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อกุ้ง ส่งผลให้กุ้งมีค่า pH ต่ำในช่วงแรกของการเก็บรักษา (รูปที่ 4.14) ซึ่งค่า pH ลดลงนั้นมีผลทำให้โปรตีนในเนื้อกุ้งสูญเสียสภาพธรรมชาติ และอุ้มน้ำได้น้อยลง (Provincial et al., 2010) โดยจากรูปที่ 4.16 พบว่ากุ้งที่เก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีค่าการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่ากุ้งที่เก็บที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะที่ 60% CO_2+40% N_2 มีการใช้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า ดังนั้นจึงส่งผลกระทบกับค่า pH และค่าการสูญเสียน้ำได้มากกว่า ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fagan และคณะ (2004) ซึ่งพบว่าปลาแมคคาเรลที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าปลาที่เก็บรักษาที่สภาวะ

บรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเก็บรักษาปลาแมคคาเรลที่สภาวะ 100% CO_2 มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด รองลงมาคือที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2, 30% O_2+40% CO_2+ 30% N_2 และสภาวะบรรยากาศปกติ ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้ยังพบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าการสูญเสียน้ำหนักของกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกันพบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยจะมีค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดต่ำลง (Allen et al., 1998) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่า pH ของกุ้ง (รูปที่ 4.14) ที่พบว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีค่า pH ต่ำกว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย

4.2.2.3.3 ค่า a_w

ผลการวิเคราะห์ค่า a_w ของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C แสดงดังรูปที่ รูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ค่า a_w ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นพบว่าค่า a_w ของกุ้งทุกสภาวะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.984 - 0.996 และ 0.984 - 0.995 ตามลำดับ ในขณะที่กุ้งที่

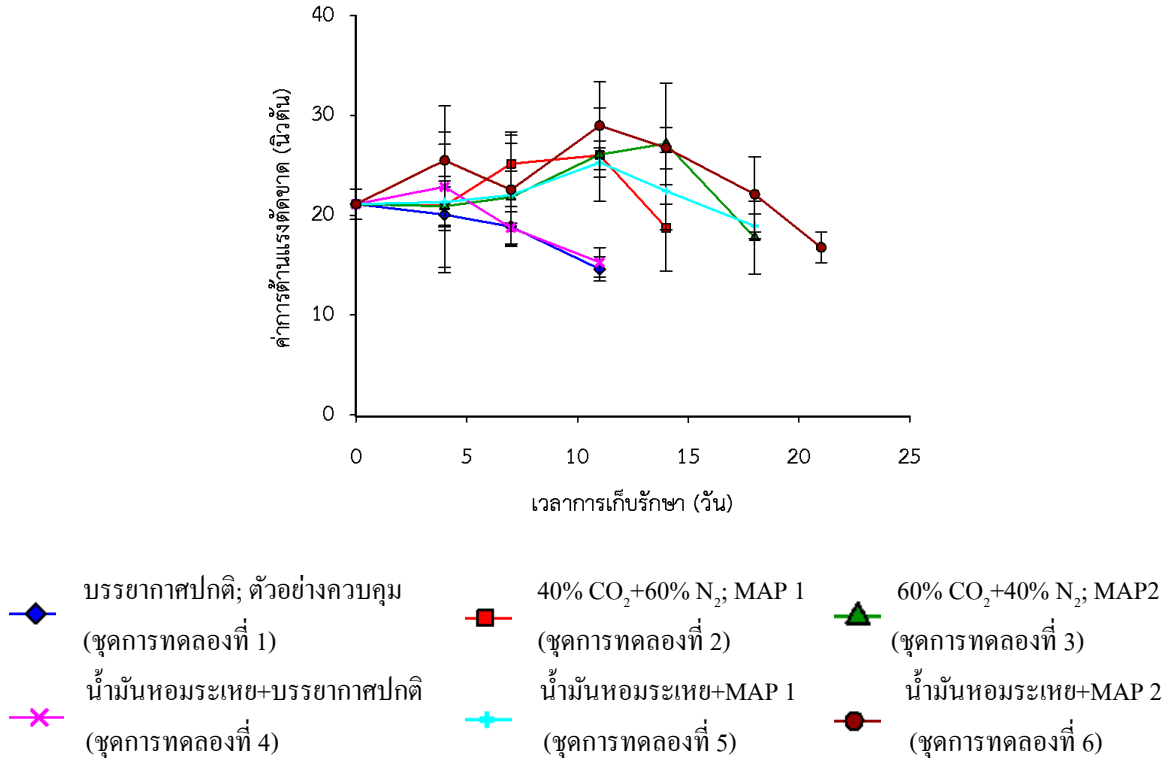
ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรอยู่ในช่วง 0.974 - 0.989 ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.974 - 0.988 จากผลการทดลองจะเห็นว่ากุ้งยังมีค่า a_w สูงตลอดช่วงอายุการเก็บรักษา ทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญได้เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.11)

4.2.2.3.4 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

เมื่อนำกุ้งมาศึกษาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส โดยวัดค่าในเทอมค่าการต้านแรงตัดขาด (Cutting) ผลการทดลองพบว่ากุ้งสดมีค่าการต้านแรงตัดขาดเริ่มต้นเท่ากับ 21.18$\pm$1.52 นิวตัน (รูปที่ 4.18) และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งจะมีค่าการต้านแรงตัดขาดเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยทั้งกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีค่าการต้านแรงตัดขาดน้อยลง โดยมีค่าเท่ากับ 14.61$\pm$1.23 และ 15.30$\pm$1.45 นิวตัน ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากการเจริญของจุลินทรีย์โดยจากรูปที่ 4.12 จะเห็นว่ากุ้งทั้ง 2 สภาวะข้างต้นมีปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่าสภาวะอื่นๆ ดังนั้นเนื้อเยื่อจึงถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้มากกว่า เป็นผลให้มีค่าการต้านแรงตัดขาดต่ำ

สำหรับการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่าช่วยรักษาค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยไว้ได้ดีกว่า โดยพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 25.30 - 28.97 นิวตัน ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นเล็กน้อย หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง สำหรับการที่กุ้งเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถคงค่าการต้านแรงตัดขาดไว้ได้ในช่วงแรกของการเก็บรักษานั้น อธิบายได้ว่าเป็นผลจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งทำให้เกิดสภาวะที่เป็นกรดขึ้น ทำให้โปรตีนในเนื้อกุ้งไม่สามารถอุ้มน้ำ ดังแสดงออกมาในเทอมของค่าการสูญเสียน้ำหนัก (รูปที่ 4.16) และจากการที่ภายในเนื้อเยื่อกุ้งมีน้ำแทรกในปริมาณน้อยลง จะส่งผลให้เนื้อเยื่ออัดตัวกันแน่นขึ้น ทำให้วัดค่าการต้านแรงตัดขาดได้มากขึ้น ประกอบกับเทคนิคที่ใช้คือการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียวหรือการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์บนกุ้งตัวอย่างได้มีประสิทธิภาพ (รูปที่ 4.11) อย่างไรก็ตามหลังจากนั้นจะเห็นว่าค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งทุกตัวอย่างจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.11) โดยกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีค่าการต้านแรงตัดขาดอยู่ในช่วง 17.75-18.76 นิวตัน ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาสำหรับที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และในวันที่ 18 ของการเก็บรักษาสำหรับที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรจะมีค่าการต้านแรงตัดขาดอยู่ในช่วง 16.77 - 18.91 นิวตัน ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษาสำหรับกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาสภาวะ 40% CO_2+

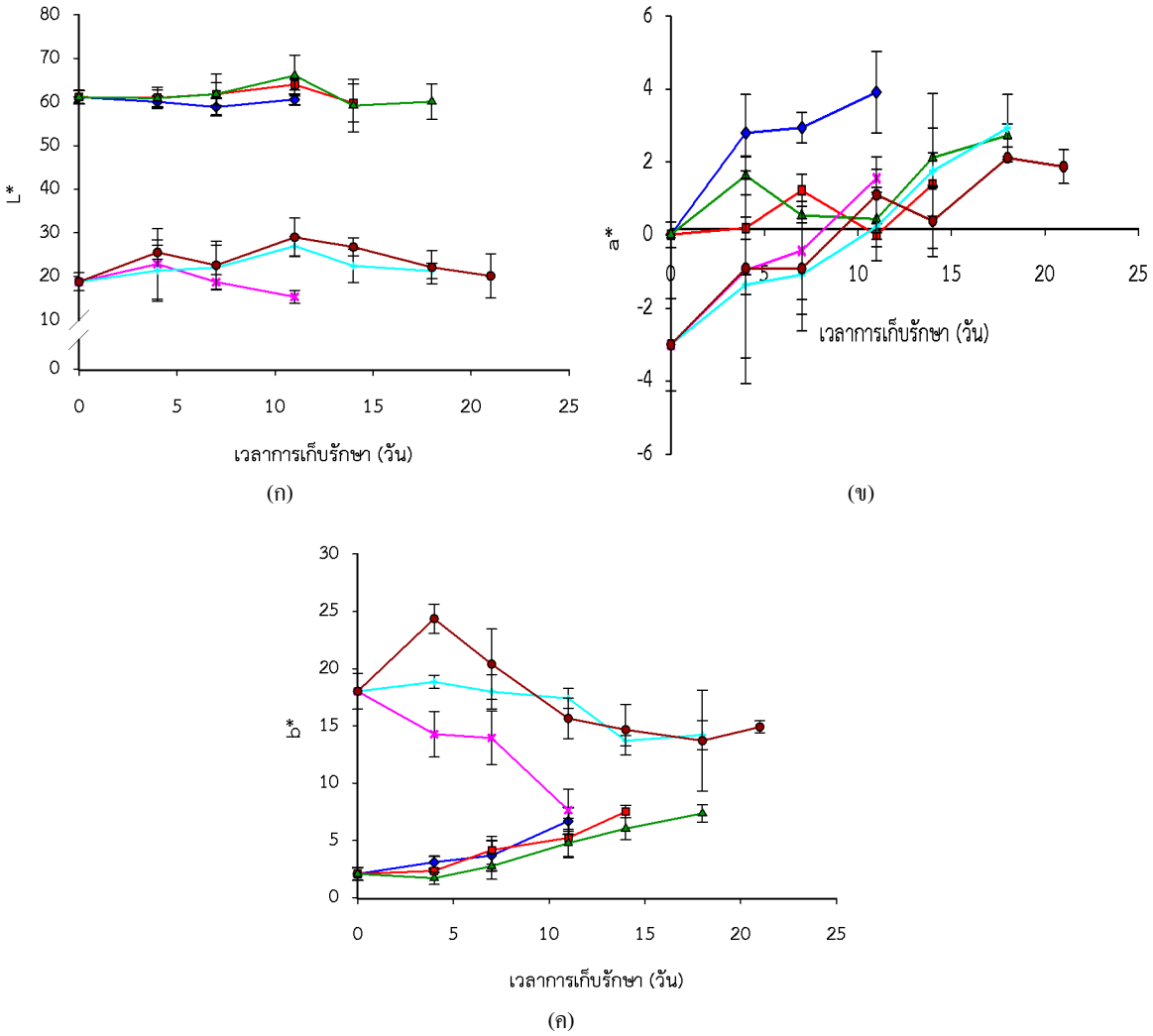
60% N_2 และในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาสำหรับกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาสภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าในช่วงท้ายการทดลอง การเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์จะมีอิทธิพลต่อการลดลงของค่าการต้านแรงตัดขาดมากกกว่าค่าการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อ



รูปที่ 4.18 ค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

4.2.2.3.5 คุณภาพสี

การวิเคราะห์ค่าสีของกุ้งใช้เครื่องวัดสีระบบ CIE LAB (L*, a* และ b*) พบว่าค่า a* และ b* ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้แตกต่างจากกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.19 และตารางที่ 4.8 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาดังนี้



รูปที่ 4.19 ค่าสีของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C; ก: ค่าความสว่าง (L*) ข: ค่าความเป็นสีแดง (a*) และ ค: ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบสีของกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้

ตัวอย่าง	ความสว่าง* (L*)	ความเป็นสีแดง* (a*)	ความเป็นสีเหลือง* (b*)
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้	$61.21^{b}\pm1.33$	$0.02^{b}\pm0.53$	$2.07^{a}\pm1.52$
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้	$18.71^{a}\pm1.53$	$-0.31^{a}\pm1.27$	$18.01^{b}\pm1.57$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.8 พบว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีสีแตกต่างจากกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย กล่าวคือกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีสีขาว ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีสีเหลืองอมเขียว และเมื่อนำกุ้งมาวัดค่า L* (ความสว่าง) จะบ่งบอกความสว่างของตัวอย่างโดยมีสเกล 0 - 100, ค่า a* (ค่า a- หมายถึงสีเขียวและ a+ หมายถึงสีแดง) และค่า b* (ค่า b- หมายถึงสีน้ำเงิน และ b+ หมายถึงสีเหลือง) พบว่ากุ้งทั้ง 2 ตัวอย่างมีค่า L*, a* และ b* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (ตารางที่ 4.8) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีสารประกอบที่มีสีเหลือง ดังนั้นจึงส่งผลให้กุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีสีแตกต่างกัน โดยกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีค่าความสว่างน้อยกว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย ซึ่งมีค่า L* เท่ากับ 18.71 ± 1.53 ในขณะที่มีค่า a* เป็นลบ โดยมีค่าเท่ากับ -0.31 ± 1.27 ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีเขียว และค่า b* เป็นบวกซึ่งแสดงถึงความเป็นสีเหลือง โดยมีค่าเท่ากับ 18.01 ± 1.57โดยถึงแม้ว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยจะมีค่า b* เป็นบวกเช่นกัน แต่ค่าที่แสดงก็มีค่าน้อยกว่าค่า b* ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.07 ± 1.52

สำหรับผลการเก็บรักษากุ้งทั้ง 2 ส่วนข้างต้นในสภาวะที่แตกต่างกันพบว่าได้ผลดังนี้

ก. ค่า L*

จากรูปที่ 4.19 ก พบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า L* ลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา โดยมีค่าเท่ากับ 60.61±1.23 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) ซึ่งออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลที่อยู่ในกุ้งในสภาวะที่มีออกซิเจนเกิดเป็นเมลานิน ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีสีคล้ำขึ้น (García-Carreño, et el., 2008) ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีการเปลี่ยนแปลงของสีแตกต่างไปเล็กน้อย กล่าวคือมีค่า L* เพิ่มขึ้นช่วงแรก หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเท่ากับ 15.30±1.47 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ที่เป็นเช่นนี้แสดงว่าการนำกุ้งมาแช่น้ำมันหอมระเหย จะทำให้มีน้ำมันหอมระเหยส่วนหนึ่งเคลือบที่ผิวกุ้ง ทำให้กุ้งไม่ได้สัมผัสอากาศโดยตรง ดังนั้นจึงชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไปได้ ในส่วนของการเก็บรักษากุ้งที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่ากุ้งมีค่า L* สูงกว่ากุ้งที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติ ที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้นจะช่วยชะลอการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Thepnuan et al., 2008) ส่งผลให้กุ้งมีสีคล้ำช้าลง โดยค่า L* ของกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรอยู่ในช่วง 59.18 - 59.76 ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรอยู่ในช่วง 21.25 - 22.10 ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา

ข. ค่า a*

กุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีค่า a* เริ่มต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.8) ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่าน้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีองค์ประกอบของสารให้สีเหลือง ดังนั้นกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้จึงสีเหลือง และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นพบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า a* เพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.92±1.12 และ 1.56±0.25 ตามลำดับ ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ซึ่งโดยทั่วไปกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำประกอบด้วยไมโอโกลบิน (Myoglobin) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีม่วงแดง สามารถรวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็นออกซิไมโอโกลบิน (Oxymyoglobin) ซึ่งมีสีแดงสด (Sen, 2005) ในส่วนของการเก็บรักษากุ้งที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่ามีค่า a* ต่ำกว่ากุ้งที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติ ทั้งนี้เนื่องออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีปริมาณน้อยกว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (การทดลองที่ 4.2.2.3.1)

จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินช้าลง โดยค่า a* ของกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรอยู่ในช่วง 0.09 - 0.44 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา และกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีค่า a* อยู่ในช่วง 0.23 - 0.10 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา

ค. ค่า b*

กุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีค่า b* เริ่มต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.8) โดยน้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีองค์ประกอบของซิตรัล สามารถเกิดปฏิกิริยาปิดวง pseudoionone กลายเป็น ionone ซึ่งเป็นสารในกลุ่มสารให้สีเหลือง (Isler et al., 1965) ดังนั้นกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้จึงสีเหลือง และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น พบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า b* เพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.70 ± 1.18 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินในกุ้ง ซึ่งพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของค่า a* ส่งผลให้กุ้งมีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นเช่นกัน ส่วนของการเก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่าค่า b*ของกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีค่าต่ำกว่าการเก็บรักษากุ้งภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ซึ่งอธิภายได้เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่า a* ของกุ้งที่เก็บที่สภาวะบรรยากาศดัดแปร กล่าวคือเป็นสภาวะที่ส่งผลให้กุ้งมีการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินเป็นออกซิ-ไมโอโกลบินช้าลง โดยค่า b* ของกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรอยู่ในช่วง 4.76 - 5.22 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา

ในส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นกุ้งมีค่า b* ลดลง ถึงแม้ว่าแม้ว่าการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินในกุ้ง ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่า a* ส่งผลให้ค่า b* สูงขึ้นเช่นกัน แต่การนำกุ้งมาแช่ในน้ำมันหอมระเหยตะไคร้นั้นพบว่า กุ้งมีสีเหลืองจากน้ำมันหอมระเหยตั้งแต่เริ่มต้น และในระหว่างการเก็บรักษากุ้งมีการเปลี่ยนแปลงสีที่คล้ำขึ้น ซึ่งพิจารณาจากค่า L* ที่ลดลง จึงส่งผลให้สีเหลืองของตัวกุ้งมีค่าลดลง โดยกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า b* ลดลงเท่ากับ 7.63 ± 1.83 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ในส่วนของค่า b* ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีค่าอยู่ในช่วง 15.64 - 17.40 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพสรุปได้ว่า การเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ส่งผลให้การสูญเสียน้ำหนัก, ค่า a_w และคุณภาพเนื้อสัมผัสแตกต่างจากการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยค่าการสูญเสียน้ำหนักของกุ้งจะสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ กล่าวคือความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงส่งผลให้กุ้งมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น โดยมีผลให้กุ้งมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นขึ้น จึงมีการต้านแรงตัดขาดสูง ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีผลต่อค่าสีของกุ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กล่าวคือกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย ส่งผลให้กุ้งมีสีเหลือง โดยมีสาเหตุมาจากซิตรัล ซึ่งเป็นองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยตะไคร้

4.2.2.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

เมื่อนำกุ้งสดเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) กุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาสภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) กุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) กุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5) กุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) และกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C ลวกในน้ำร้อนเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น สี รสชาติ และ เนื้อสัมผัส โดยใช้แบบทดสอบ 5-scale scoring ในส่วนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม ใช้แบบทดสอบ 5-scale hedonic ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9 โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ในกุ้งที่บรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C โดยใช้แบบทดสอบ 5-scale scoring และ 5-scale hedonic

สภาวะ	การเก็บรักษา (วัน)	กลิ่น	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	4.10^{b}±0.41	4.87^{b}±0.35	4.47^{c}±0.52	4.20^{b}±0.41	4.67^{b}±0.49
	4	3.13^{a}±0.64	3.27^{a}±0.70	3.27^{b}±0.88	2.80^{a}±0.77	3.73^{a}±0.80
	7	2.93^{a}±0.59	2.93^{a}±0.80	2.33^{a}±0.49	2.73^{a}±0.80	3.60^{a}±0.51

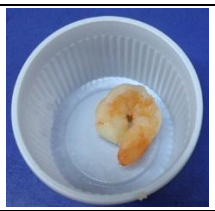
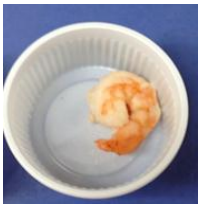
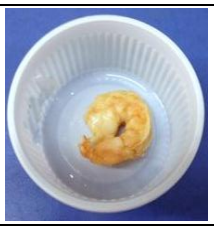
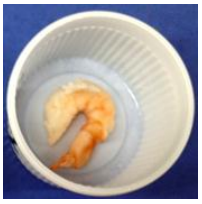
* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ในกุ้งที่บรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C โดยใช้แบบ ทดสอบ 5-scale scoring และ 5-scale hedonic

สภาวะ	การเก็บรักษา (วัน)	กลิ่น	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
40% CO_2+60% N_2; MAP 1 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	$4.10^{c}\pm0.41$	$4.87^{b}\pm4.87$	$4.47^{b}\pm0.52$	$4.20^{b}\pm0.41$	$4.67^{c}\pm0.49$
	4	$3.13^{ab}\pm0.99$	$4.60^{ab}\pm0.51$	$4.40^{b}\pm0.74$	$3.60^{a}\pm0.63$	$3.80^{b}\pm0.41$
	7	$3.33^{b}\pm0.72$	$4.40^{a}\pm0.85$	$2.67^{a}\pm0.82$	$3.40^{a}\pm0.83$	$3.80^{b}\pm1.08$
	11	$2.60^{a}\pm0.91$	$4.10^{a}\pm0.76$	$2.60^{a}\pm1.12$	$4.13^{b}\pm0.92$	$1.80^{a}\pm0.77$
60% CO_2+40% N_2; MAP2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	$4.10^{c}\pm0.41$	$4.87^{c}\pm4.87$	$4.47^{c}\pm0.52$	$4.20^{c}\pm0.41$	$4.67^{d}\pm0.49$
	4	$4.33^{c}\pm0.82$	$4.80^{c}\pm0.41$	$4.80^{c}\pm0.56$	$4.00^{bc}\pm0.38$	$3.80^{c}\pm0.49$
	7	$3.40^{b}\pm0.63$	$3.87^{ab}\pm0.35$	$3.73^{b}\pm0.59$	$3.53^{a}\pm0.52$	$3.53^{c}\pm0.64$
	11	$2.40^{a}\pm0.91$	$4.27^{b}\pm0.61$	$2.67^{a}\pm0.98$	$3.73^{a}\pm0.70$	$2.10^{b}\pm0.77$
	14	$2.22^{a}\pm0.77$	$3.20^{a}\pm0.67$	$2.73^{a}\pm0.80$	$3.60^{a}\pm0.73$	$1.60^{a}\pm0.83$
น้ำมันหอมระเหย+บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	$5.00^{d}\pm0.00$	$1.80^{ab}+0.41$	$4.93^{c}\pm0.26$	$4.27^{c}\pm0.46$	$3.10^{b}\pm0.97$
	4	$4.53^{c}\pm0.64$	$1.67^{a}\pm0.49$	$4.73^{c}\pm0.59$	$3.60^{ab}\pm0.63$	$3.13^{b}\pm0.83$
	7	$4.00^{b}\pm0.76$	$1.60^{a}\pm0.51$	$4.13^{b}\pm0.74$	$3.20^{a}\pm0.77$	$3.01^{b}\pm1.06$
	11	$3.40^{a}\pm0.63$	$2.00^{b}\pm0.53$	$3.13^{a}\pm0.99$	$3.40^{a}\pm0.91$	$2.27^{a}\pm0.47$
น้ำมันหอมระเหย +MAP1 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	$5.00^{c}\pm0.00$	$1.80^{ab}+0.41$	$4.93^{d}\pm0.26$	$4.27^{b}\pm0.46$	$3.10^{a}\pm0.97$
	4	$3.13^{a}\pm0.99$	$1.67^{a}\pm0.62$	$4.67^{cd}\pm0.72$	$4.53^{c}\pm0.72$	$3.00^{a}\pm0.93$
	7	$4.27^{b}\pm0.70$	$1.40^{a}\pm0.51$	$4.07^{bc}\pm1.03$	$3.80^{a}\pm0.94$	$3.40^{b}\pm0.83$
	11	$4.07^{b}\pm1.10$	$2.13^{b}\pm0.83$	$3.73^{ab}\pm0.43$	$4.00^{b}\pm0.56$	$3.11^{a}\pm0.65$
	14	$3.07^{a}\pm0.59$	$2.80^{c}\pm0.77$	$3.07^{a}\pm0.70$	$3.80^{a}\pm0.84$	$3.00^{a}\pm0.51$
น้ำมันหอมระเหย +MAP2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	$5.00^{c}\pm0.00$	$1.80^{a}+0.41$	$4.93^{c}\pm0.26$	$4.27^{bc}\pm0.46$	$3.10^{b}\pm0.97$
	4	$4.00^{b}\pm0.87$	$1.47^{a}\pm0.52$	$4.80^{c}\pm0.56$	$4.40^{c}\pm0.32$	$2.90^{ab}\pm0.77$
	7	$4.40^{b}\pm0.44$	$1.40^{a}\pm0.51$	$3.80^{b}\pm0.44$	$3.87^{a}\pm0.74$	$3.50^{c}\pm1.00$
	11	$4.07^{b}\pm0.88$	$2.33^{b}\pm0.98$	$4.20^{bc}\pm0.68$	$4.40^{c}\pm0.31$	$3.23^{bc}\pm0.51$
	14	$3.13^{a}\pm0.64$	$2.60^{b}\pm0.84$	$3.07^{a}\pm0.70$	$4.13^{bc}\pm0.64$	$3.02^{b}\pm0.43$
	18	$3.13^{a}\pm0.52$	$2.40^{b}\pm0.74$	$3.67^{b}\pm0.49$	$3.73^{a}\pm0.59$	$2.48^{a}\pm1.06$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 4.10 ลักษณะของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะการเก็บรักษา		เริ่มต้นการเก็บรักษา	สิ้นสุดการเก็บรักษา	
บรรยากาศปกติ	ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 1)			เก็บรักษาวันที่ 7
	ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 4)			เก็บรักษาวันที่ 11
บรรยากาศดัดแปร 40% CO_2+60% N_2	ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 2)			เก็บรักษาวันที่ 11
	ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 5)			เก็บรักษาวันที่ 14
บรรยากาศดัดแปร 60% CO_2+40% N_2	ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 3)			เก็บรักษาวันที่ 14
	ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 6)			เก็บรักษาวันที่ 18

จากตารางที่ 4.9 พบว่ากุ้งทุกตัวอย่างมีคะแนนกลิ่น สีรสชาติ และเนื้อสัมผัส การยอมรับโดยรวมมีการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สำหรับการทดสอบด้านกลิ่นพบว่า กุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีกลิ่นแตกต่างกัน กล่าวคือกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสดและไม่เกิด

กลิ่นอับกลิ่นคาว ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีกลิ่นของสมุนไพร และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นพบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีกลิ่นสดลดลง โดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 1 มีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสดและไม่เกิดกลิ่นอับกลิ่นคาว เปลี่ยนแปลงเป็นเริ่มมีกลิ่นอับกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 7 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นกุ้งจะมีการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นซึ่งมีผลต่อการผลิต TMA ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและกลิ่นคาวเพิ่มขึ้น สำหรับกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 พบว่ามีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสดและไม่เกิดกลิ่นอับกลิ่นคาวเปลี่ยนแปลงเป็นกุ้งมีกลิ่นอับกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเปรี้ยวชัดเจนเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 11 และกุ้งในชุดการทดลองที่ 3 มีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสดและไม่เกิดกลิ่นอับกลิ่นคาวเปลี่ยนแปลงเป็นมีกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 14 ผลที่ได้บ่งชี้ว่า สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้กุ้งเกิดกลิ่นอับกลิ่นคาวช้ากว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ในส่วนของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งมีกลิ่นของสมุนไพรลดลง โดยพบว่ากุ้งในชุดการทดลองที่ 4 มีกลิ่นของสมุนไพรชัดเจนจนกระทั่งเปลี่ยนแปลงเป็นมีกลิ่นสมุนไพรเล็กน้อยและมีกลิ่นอับกลิ่นคาวปนอยู่เล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 11 โดยกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นช้ากว่ากล่าวคือในชุดการทดลองที่ 5 พบว่ากุ้งมีกลิ่นของสมุนไพรชัดเจนจนกระทั่งเปลี่ยนแปลงเป็นมีกลิ่นสมุนไพรเล็กน้อยและเกิดกลิ่นอับกลิ่นคาวเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 14 ส่วนกุ้งในชุดการทดลองที่ 6 มีกลิ่นของสมุนไพรชัดเจนจนกระทั่งเปลี่ยนแปลงเป็นมีกลิ่นสมุนไพรเล็กน้อยและเกิดกลิ่นอับกลิ่นคาวเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 18

สำหรับคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีพบว่า กุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีสีแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.10) กล่าวคือกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีสีขาว ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีสีเหลือง และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นพบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยสีเนื้อมีสีขาว ลายมีสีส้มแดงลดลง โดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงเป็น เนื้อมีสีเหลืองอมขาวเล็กน้อย ลายมีสีส้มซีดจาง เมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 7 สำหรับกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 พบว่ากุ้งมีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อโดยที่สีขาวลดลง ลายมีสีส้มอ่อน ในการเก็บรักษาวันที่ 11 และ 14 ตามลำดับ ผลที่ได้บ่งชี้ว่าสภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้กุ้งมีการเปลี่ยนแปลงสีช้ากว่าการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ในส่วนของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งมีสีเหลืองลดลงโดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 4 พบว่ากุ้งมีสีเหลืองของตะไคร้ชัดเจนจนกระทั้งมีสีเหลืองลดลงเมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 11 โดยกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีการเปลี่ยนแปลงสีช้ากว่ากล่าวคือในชุดการทดลองที่ 5 และ 6 พบว่ากุ้งมีสีเหลืองลดลงเมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 14 และ 18 ตามลำดับ

ในส่วนของการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ พบว่ากุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีรสชาติแตกต่างกัน กล่าวคือกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีรสชาติของเนื้อกุ้งออกหวานปนเค็มเล็กน้อย ไม่มีรสชาติอื่นรบกวน ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีรสชาติคลุกเคล้าสมุนไพร และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นพบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีรสชาติเปลี่ยนแปลงเป็นรสเปรี้ยว โดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 1 รสชาติของเนื้อกุ้งออกหวานปนเค็มเล็กน้อย ไม่มีรสชาติอื่นรบกวนและเปลี่ยนแปลงเป็นมีรสชาติอื่นเช่น รสเปรี้ยว เมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 7 สำหรับกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 พบว่ากุ้งมีรสชาติของเนื้อกุ้งออกหวานปนเค็มเล็กน้อย ไม่มีรสชาติอื่นรบกวนเปลี่ยนแปลงเป็นมีรสชาติอื่นเช่น รสเปรี้ยวเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 11 และ 14 ตามลำดับ ในส่วนของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งมีรสชาติของสมุนไพรลดลง โดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 4 ผู้ทดสอบพบว่ากุ้งมีรสชาติคลุกเคล้าสมุนไพรและเปลี่ยนแปลงเป็นรสชาติของกุ้ง ไม่มีรสชาติอื่นรบกวน เมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 11 ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปร (ชุดการทดลองที่ 5 และ 6) พบว่ารสชาติของสมุนไพรลดลงเมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 14 - 18

จากตารางที่ 4.9 พบว่ากุ้งมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นโดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 เนื้อกุ้งเกาะรวมตัวแน่น กัดแล้วรู้สึกถึงความยืดหยุ่นแน่น เนื้อไม่นิ่มเละ จากนั้นเนื้อกุ้งไม่เกาะรวมตัวกัน เนื้อนิ่ม เริ่มเปื่อยยุ่ยเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 7, 7 และ 14 ตามลำดับ ในส่วนของกุ้งชุดการทดลองที่ 4, 5 และ 6 ผู้ทดสอบพบว่าเนื้อกุ้งเกาะรวมตัวแน่นกัดแล้ว รู้สึกถึงความยืดหยุ่นแน่นเนื้อ ไม่นิ่มเละ จากนั้นเนื้อกุ้งเกาะรวมตัวกันปานกลาง เริ่มไม่มีความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้ง และเนื้อเริ่มนิ่มเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 11, 14 และ 18 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลที่ได้ พบว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่นและมีความแน่นเนื้อมากกว่ากุ้งสดธรรมดา นอกจากนี้ยังพบว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงส่งผลให้เนื้อกุ้งเริ่มนิ่มและเปื่อยยุ่ยช้ากว่าที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ

จากผลคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวม พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยสูงกว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ตารางที่ 4.9) ซึ่งอาจเป็นเพราะกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีสีเหลืองและมีกลิ่นของสมุนไพรชัดเจน ทำให้ผู้บริโภคให้การยอมรับลดลง และเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นพบว่า คะแนนการยอมรับของกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยลดลงอาจเป็นเพราะคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น สี รสชาติและเนื้อสัมผัสของกุ้งลดลงลงเมื่อเวลาผ่านไป ในส่วนของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยพบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับลงเช่นเดียวกัน ถึงแม้ว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นกุ้งจะมีสีเหลืองและกลิ่นจากสมุนไพรลดลงแต่ผู้บริโภคกลับได้กลิ่นอับของกุ้งแทนที่กลิ่นสมุนไพร และเมื่อใช้น้ำมันหอม

ระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร พบว่าสามารถรักษากลิ่นของสมุนไพรได้นานกว่า ซึ่งกุ้งในชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ได้รับการยอมรับมากกว่าสภาวะอื่น กล่าวคือกุ้งชุดการทดลองที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 7, 7, 7, 7, 14 และ 14 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลคะแนนพบว่าในการเก็บรักษาวันที่ 14 พบว่ากุ้งชุดการทดลองที่ 5 มีคะแนนการยอมรับมากกว่ากุ้งในชุดการทดลองที่ 6

จากผลการทดลองคุณสมบัติทางจุลินทรีย์ เคมี และกายภาพของกุ้งสดที่กล่าวมาดังข้อ 4.2.2.1 - 4.2.2.3 พบว่า น้ำมันหอมระเหยตะไคร้หรือการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของกุ้งได้นานขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม และจากผลคะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับกุ้งที่ถูกแช่ในน้ำมันหอมระเหยตะไคร้และบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร 60% CO_2+40% N_2 นานที่สุด คือ 14 วัน

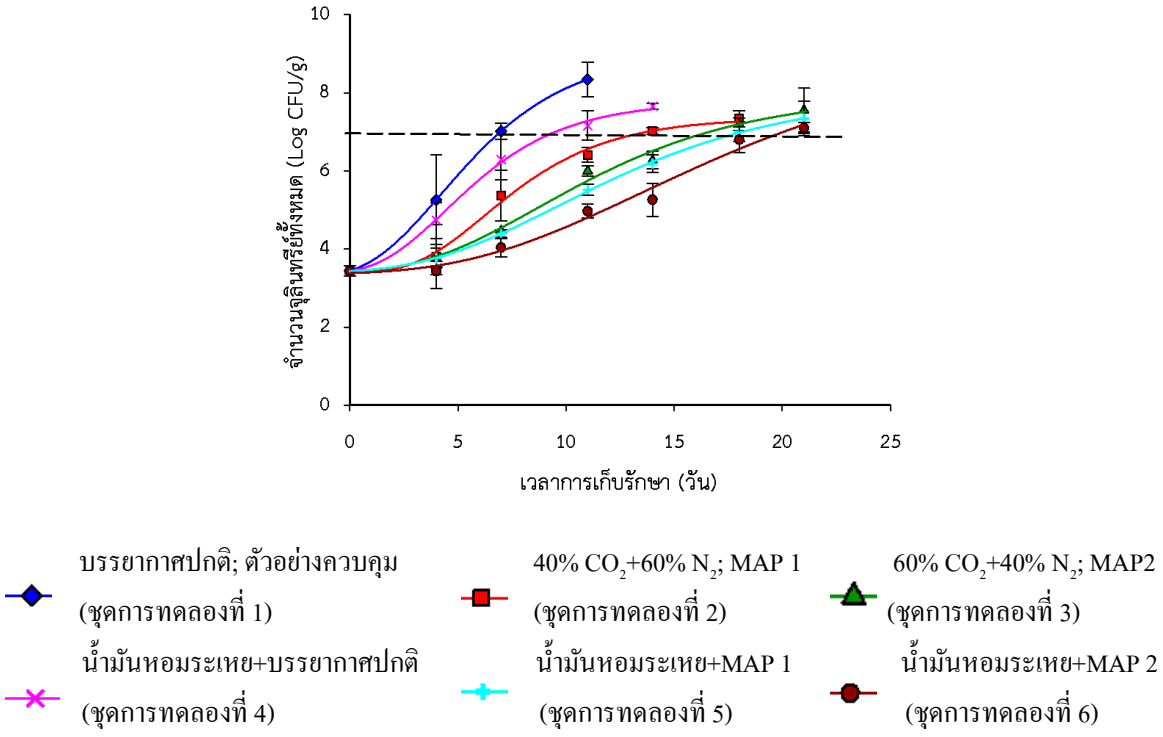
4.2.3 ผลการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพของกุ้งสด

การศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพของกุ้งสด จะทำโดยใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราที่ระดับความเข้มข้น 25 mg/mL ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร โดยแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ในการบรรจุเป็น 2 ระดับ คือ 40% CO_2+60% N_2 (MAP 1) และ 60% CO_2+40% N_2 (MAP 2) จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C และนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ เคมี กายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งได้ผลการทดลองทั้งหมดดังนี้

4.2.3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

4.2.3.1.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count)

ผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C พบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

จากรูปที่ 4.20 พบว่า กุ้งสดมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 3.44±0.64 log CFU/g และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งทุกสภาวะมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับอาหารประเภทกุ้ง ซึ่งกำหนดไว้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 7 log CFU/g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529) เป็นตัวกำหนดอายุการเก็บรักษาของกุ้งสด พบว่ากุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีอายุการเก็บรักษาเพียง 4 วัน โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 5.26±1.15 log CFU/g ทั้งนี้เนื่องจากผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในครั้งถัดไปคือวันที่ 7 ของการเก็บรักษา พบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินมาตรฐาน คือมีค่าเท่ากับ 7.02±0.21 log CFU/g ส่วนกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) มีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 7 วัน โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.29±0.52 log CFU/g ซึ่งแสดงว่าน้ำมันหอมระเหยกะเพรามีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษากุ้งสดที่อุณหภูมิ 8±2 °C ทั้งนี้อธิบายได้ว่าน้ำมันหอมระเหยกะเพรามีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.1.1 ดังนั้นจึงส่งผลให้กุ้งมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น สำหรับกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) พบว่ามีอายุการเก็บรักษา 11 วัน โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.41±0.19 log CFU/g ส่วนกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลอง

ที่ 3) มีอายุการเก็บรักษา 14 วัน โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.38±0.23 log CFU/g ซึ่งมีค่าต่ำกว่าจำนวนจุลินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้จากชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางภาคผนวก ง.38) ทั้งนี้เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์สามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะซึมเข้าสู่เยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ส่งผลให้ pH ภายในเซลล์มีค่าลดลง จุลินทรีย์จึงไม่สามารถเจริญได้ (Smith et al., 1990; Venugopal et al., 2006; McMillin, 2008)

จากผลการทดลอง ยังพบว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร มีจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติ ซึ่งแสดงว่าบรรยากาศดัดแปรในช่วงที่ศึกษามีประสิทธิภาพในการยับยั้งและ/ หรือชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ได้สูงกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพรา ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าเท่ากับค่าความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันหอมระเหยที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ถึง 99.9% (MBC) แต่เนื่องจากในอาหารตัวอย่างมีความซับซ้อนมากกว่าอาหารเหลวที่ใช้ในการหาค่า MBC ในแง่ของปริมาณและชนิดของสารอาหาร รวมทั้งข้อจำกัดด้านการนำน้ำมันหอมระเหยมาใช้ในอาหารจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราที่บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีจำนวนจุลินทรีย์สูงกว่า

สำหรับผลการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้ง พบว่าวิธีการนี้สามารถยืดอายุการเก็บรักษากุ้งได้มากกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว แสดงถึงการใช้ 2 เทคนิคร่วมกันจะช่วยส่งเสริมการยับยั้งและ/ หรือชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจากรูปที่ 4.20 พบว่ากุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ตามลำดับ) มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 14 วันเท่ากัน โดยกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าเล็กน้อย กล่าวคือมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.28±0.23 และ 5.27±0.42 log CFU/g สำหรับชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kostaki และคณะ (2009) ที่พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยไธม์จะทำให้เก็บรักษาปลากะพงที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติได้นาน 9 วัน แต่ถ้าเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+30% N_2+10% O_2) จะทำให้ปลากะพงมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นเป็น 10 วัน ในขณะที่การใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรจะยิ่งส่งผลให้ปลากะพงมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นอีกเป็น 19 วัน

4.2.3.1.2 อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดและช่วงเวลาที่เกิด lag phase

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ (รูปที่ 4.20) มาสร้างกราฟที่เหมาะสม (curve fitting) กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Gompertz (Zwietering et al., 1990) พบว่ามีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.9925 - 1.0000 โดยมีค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (Maximum specific growth rate: μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด lag phase (Lag phase duration: L) แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.11 ค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของจุลินทรีย์ที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะการเก็บแบบต่างๆ

สภาวะ	μ_{max} (log CFU/g.วัน)	L (วัน)	R^2
บรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1)	0.85	0.62	1.0000
สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0.57	3.52	1.0000
สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0.40	3.87	0.9925
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4)	0.62	3.02	1.0000
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0.30	4.36	1.0000
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะ60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0.26	4.93	0.9996

* μ_{max}: อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด และ L: ช่วงเวลาที่เกิด lag phase

จากตารางที่ 4.11 พบว่าค่า μ_{max} ของจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีค่าสูงที่สุด คือ 0.85 log CFU/g.วัน ในขณะที่ค่า L มีค่าต่ำสุด คือมีค่าเท่ากับ 0.62 วัน รองลงมาคือค่า μ_{max} และ L ของจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้งสดที่ผ่านการแช่ในน้ำมันหอมระเหยกะเพราที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.62 log CFU/g.วัน และ 3.02 วันตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราส่งผลให้อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ลดลง โดยยืดระยะเวลาในช่วง lag phase นานขึ้น ส่วนการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรทำให้จุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่า μ_{max} ลดต่ำลง และมีค่า L มากขึ้นกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยเพียงอย่างเดียว โดยมีค่า μ_{max} อยู่ในช่วง 0.40 - 0.57 log CFU/g.วัน และค่า L อยู่ในช่วง 3.52 -

3.87 วัน โดยที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) จะมีค่า μ_{max} ของจุลินทรีย์ทั้งหมดในกุ้งสูงกว่าและมีค่า L ของจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Erkmen และ Barazi (2008) ซึ่งทดลองนำเนื้อวัวมาเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) ที่อุณหภูมิ 4±2 °C ผลการทดลองพบว่าการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้ *S.* Typhimurium มีค่า μ_{max} เท่ากับ 0.41 log CFU/g.วัน และมีค่า L เท่ากับ 4.40 วัน ในขณะที่การเก็บเนื้อวัวที่สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า μ_{max} สูงกว่า และค่า L ต่ำกว่าคือเท่ากับ 0.60 log CFU/g.วัน และ 1.11 วัน ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากคาร์บอนไดออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ โดยคาร์บอนไดออกไซด์มีผลในการยืดระยะเวลาในช่วงระยะ lag phase และลดอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ (McMillin, 2008)

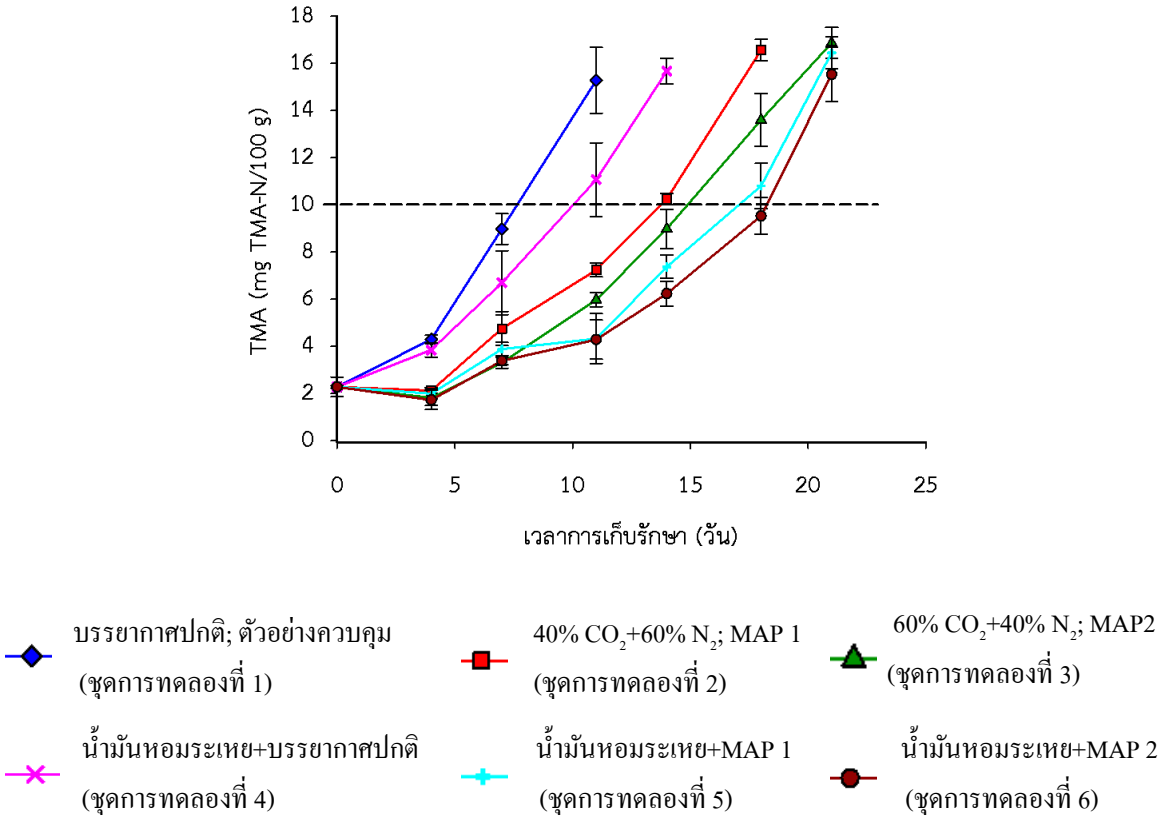
จากผลการทดลองยังพบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรจะยิ่งส่งผลให้ค่า μ_{max} ของจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำลง และมีค่า L ของจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงขึ้น โดยพบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับสภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5) และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6) จะทำให้จุลินทรีย์มีค่า μ_{max} เท่ากับ 0.30 และ 0.26 log CFU/g. วัน ตามลำดับ และค่า L ของจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 4.36 และ 4.93 วันตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yilmaz (2011) ที่พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยไธม์ร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (30% CO_2+70% N_2) ส่งผลให้ปริมาณ *S.* Typhimurium ในปลาเรนโบว์เทราต์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว โดยพบว่ามีค่า μ_{max} เท่ากับ 0.02 log CFU/g.ชั่วโมง ในขณะที่ค่า μ_{max} ของ *S.* Typhimurium ในปลาเรนโบว์เทราต์ที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยหรือการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีอยู่ในช่วง 0.04 - 0.06 log CFU/g.ชั่วโมง

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์สรุปได้ว่า การใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว โดยสภาวะที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษากุ้งสดที่อุณหภูมิ 8±2 °C ได้นานที่สุดคือ สภาวะที่กุ้งผ่านการแช่ในน้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ซึ่งมีอายุการเก็บรักษา 14 วัน

4.2.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

4.2.3.2.1 ไตรเมทิลเอมีน (Trimethylamine; TMA)

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าไตรเมทิลเอมีน (TMA) ในกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C พบว่าได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ค่าไตรเมทิลเอมีน (TMA) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

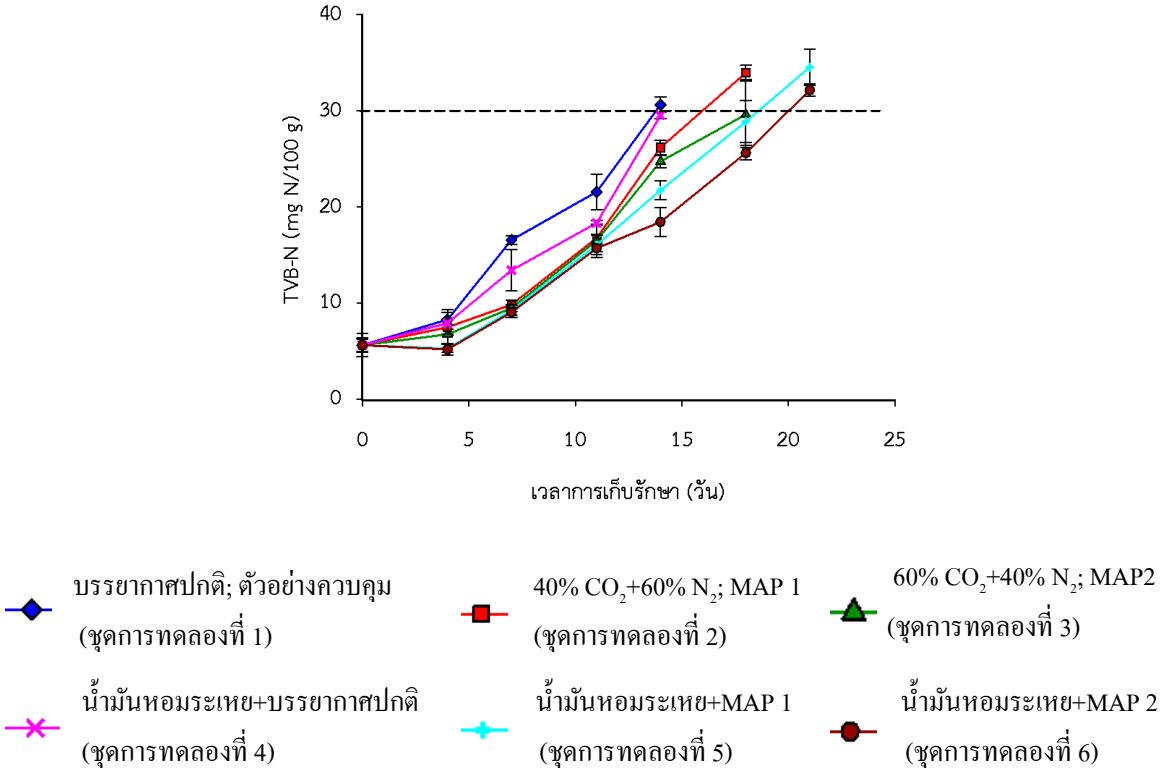
จากรูปที่ 4.3 พบว่ากุ้งสดมีค่า TMA เริ่มต้นเท่ากับ 2.11±0.13 mg TMA-N/100g หลังจากนั้นกุ้งที่เก็บรักษาในทุกสภาวะจะมีค่า TMA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเกิดการสลายตัวของไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ (Trimethylamine oxide; TMAO) โดยเอนไซม์ไตรเมทิลเอมีนออกซิเดส (Trimethyamine oxidase) ในจุลินทรีย์ ให้เป็น TMA (Villarreal และ Pozo, 1990 และ Barnett et al., 1991) ดังนั้นเมื่อกุ้งที่เก็บรักษาไว้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้มีค่า TMA เพิ่มสูงขึ้นด้วย จากงานวิจัยของ Dalgaard และคณะ (1993) พบว่าโดยทั่วไปสัตว์น้ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นจะมีคุณภาพไม่เหมาะสมต่อการบริโภคเมื่อมีค่า

TMA เกินกว่าช่วง 10 - 15 mg TMA-N/100g ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้เกณฑ์ข้างต้นมากำหนดอายุการเก็บรักษาของกุ้งแช่เย็น โดยกุ้งที่ยังมีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการบริโภคจะต้องมีค่า TMA ต่ำกว่า 10 mg TMA-N/100g ซึ่งจากการทดลองพบว่า กุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีอายุการเก็บรักษาเพียง 7 วันโดยมีค่า TMA เท่ากับ 8.98$\pm$0.65 mg TMA-N/100g เนื่องมาจากผลการวิเคราะห์ค่า TMA ในครั้งถัดไปคือวันที่ 11 ของการเก็บรักษา พบว่ามีค่า TMA เกินมาตรฐานคือเท่ากับ 15.28$\pm$1.40 mg TMA-N/100g ส่วนกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 7 วัน โดยมีค่า TMA เท่ากับ 6.69$\pm$1.36 mg TMA-N/100g ซึ่งจะเห็นว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรามีค่า TMA ต่ำกว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย

สำหรับกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร พบว่ามีอายุการเก็บรักษาระหว่าง 11 - 14 วัน โดยที่กุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) มีอายุการเก็บรักษา 11 วันโดยมีค่า TMA เท่ากับ 7.17$\pm$0.29 mg TMA-N/100g ในส่วนของกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) อายุการเก็บรักษา 14 วันโดยมีค่า TMA เท่ากับ 8.98$\pm$0.83 mg TMA-N/100g ซึ่งต่ำกว่าค่า TMA ของกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (ตารางภาคผนวก ง.41) และเมื่อนำ 2 เทคนิคมาใช้ร่วมกัน พบว่าสามารถชะลอการเพิ่มค่า TMA ในกุ้งได้มากขึ้น โดยมีอายุการเก็บรักษา 14 วันเท่ากัน กล่าวคือกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5) และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6) มีค่า TMA เท่ากับ 7.37$\pm$0.49 และ 6.23$\pm$0.52 mg TMA-N/100g ตามลำดับ สำหรับสาเหตุที่กุ้งที่เก็บในสภาวะต่างกันมีค่า TMA ต่างกันนั้นเนื่องจากสภาวะที่ใช้มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ (ตารางภาคผนวก ง.38) โดยสภาวะบรรยากาศปกติเอื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์มากที่สุด ดังนั้นจึงมีจำนวนจุลินทรีย์สูงที่สุด (รูปที่ 4.20) ซึ่งส่งผลให้มีค่า TMA สูงที่สุดด้วย (รูปที่ 4.21) ในขณะที่การแช่กุ้งในน้ำมันหอมระเหยแม้จะช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ได้แต่มีประสิทธิภาพด้อยกว่าการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ดังนั้นกุ้งตัวอย่างจึงมีค่า TMA สูงกว่ากุ้งที่เก็บภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ยังทำให้สามารถควบคุมจำนวนจุลินทรีย์ได้ดีขึ้น ดังนั้นกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 จึงมีค่า TMA ต่ำกว่ากุ้งที่เก็บภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และเนื่องจากวิธีการใช้น้ำมันหอมระเหยและการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถชะลอ/ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับกุ้งตัวอย่างได้ที่สุด (รูปที่ 4.20) ดังนั้นเมื่อนำทั้ง 2 เทคนิคมาใช้ร่วมกันก็จะยิ่งทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์ลดลง (รูปที่ 4.20) และส่งผลให้กุ้งมีค่า TMA ลดลงด้วย

4.2.3.2.2 สารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile basic nitrogen; TVB-N)

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C พบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ค่าสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

จากผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมดมีความสอดคล้องกับค่า TMA กล่าวคือมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ประกอบด้วยสารประกอบ TMA ไดเมทิลเอมีน (Dimethyl amine; DMA) เมทิลเอมีน (Methylamine) แอมโมเนียและสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้อื่นๆ (Dalgaard et al., 1993 และ Huss, 1995) ดังนั้นเมื่อกุ้งมีค่า TMA เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้มีค่า TVB-N เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน จากรูปที่ 4.4 พบว่ากุ้งมีค่า TVB-N เริ่มต้นเท่ากับ 5.61±1.21 mg N/100g หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างกันไปขึ้นกับสภาวะการเก็บรักษา ซึ่งเมื่อใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์-อุตสาหกรรมของกุ้งที่กำหนดไว้ว่ากุ้งที่ยังเหมาะสมต่อการบริโภคต้องต้องมีค่า TVB-N น้อยกว่า 30

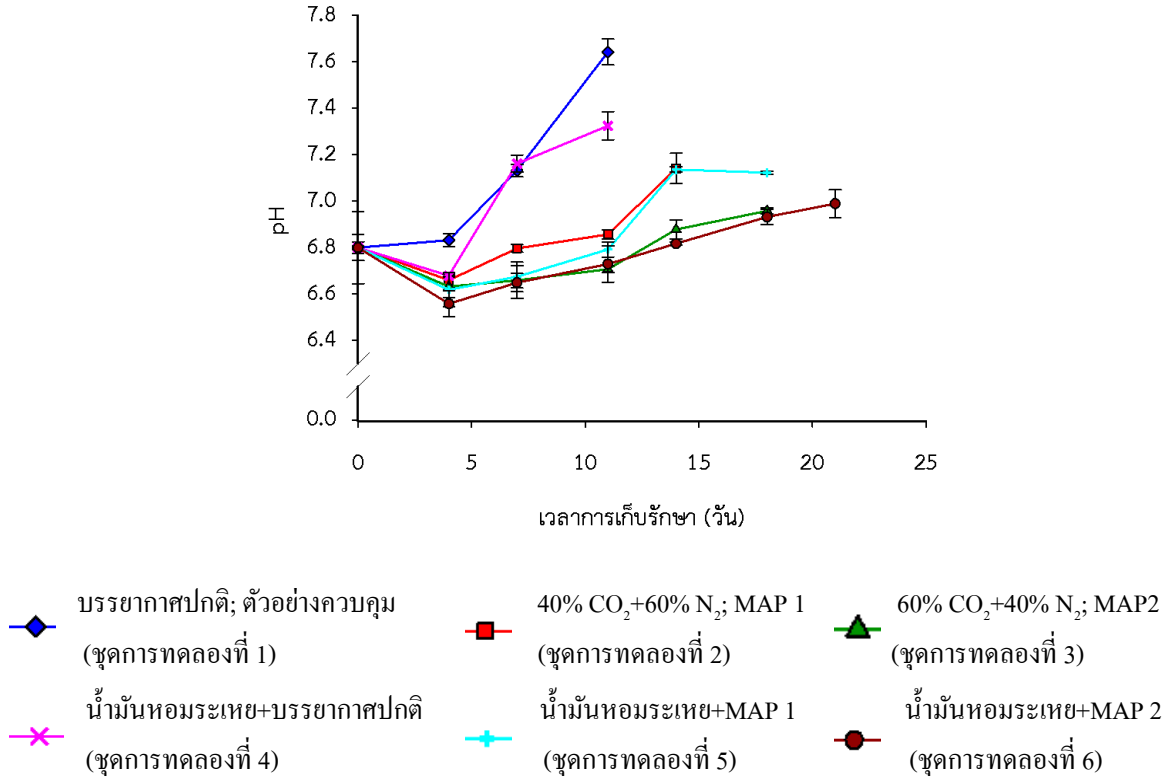
mg N/100 g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529) มากำหนดอายุการเก็บรักษา พบว่ากุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีอายุการเก็บรักษา 11 วัน โดยมีค่า TVB-N เท่ากับ 21.57±0.47 mg N/100g ส่วนกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) มีอายุการเก็บรักษา 11 วัน โดยมีค่า TVB-N เท่ากับ 18.33±0.24 mg N/100g

สำหรับกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) และ 60% CO_2+ 40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) พบว่ามีอายุการเก็บรักษา 14 วันเท่ากัน โดยมีค่า TVB-N เท่ากับ 26.73±0.37 และ 24.73±0.25 mg N/100g ตามลำดับ ผลที่ได้บ่งชี้ว่าการเก็บรักษากุ้งภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TVB-N มากกว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ นอกจากนี้เมื่อนำน้ำมันหอมระเหยมาใช้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่าสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TVB-N ในกุ้งมากขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว โดยกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ตามลำดับ) มีอายุการเก็บรักษาระหว่าง 14 - 18 วัน โดยกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยเก็บที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2 มีค่า TVB-N เท่ากับ 21.17±0.46 และ 25.61±0.75mg N/100g ตามลำดับ

4.2.3.2.3 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลการวัดค่า pH ของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C (รูปที่ 4.23) พบว่ากุ้งมีค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 6.80±0.16 หลังจากนั้นกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติจะมีค่า pH เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สำหรับการเพิ่มขึ้นของ pH นั้นเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของสารประกอบไนโตรเจนซึ่งมีสมบัติเป็นเบสเมื่อละลายน้ำ โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งจะมีปริมาณสารประกอบไนโตรเจนมากขึ้น (ดังผลค่า TMA และ TVB-N ในข้อที่ 4.2.3.2.1 และ 4.2.3.2.2 ตามลำดับ) และเนื่องจากปริมาณสารประกอบไนโตรเจนจะมีความสัมพันธ์กับจุลินทรีย์ กล่าวคือมีค่ามากเมื่อมีจำนวนจุลินทรีย์มาก ดังนั้นกุ้งสดที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย จึงมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า pH สูงกว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย กล่าวคือกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีค่า pH เพิ่มขึ้นเป็น 7.64±0.03 เมื่อเก็บรักษา 11 วัน ส่วนกุ้งสดผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) มีค่า pH เท่ากับ 7.32±0.06 เมื่อเก็บรักษา 14 วัน จากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nirmal และ Benjakul (2010) พบว่ากุ้งที่แช่สารสกัด

จากชาเขียวมีอัตราการเพิ่มค่า pH น้อยกว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่สารสกัดจากชาเขียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.23 ค่า pH ของของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สำหรับกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่ามีแนวโน้มที่แตกต่างออกไป และมีอัตราการเปลี่ยนแปลง pH ที่ช้ากว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ กล่าวคือมีการลดลงของ pH ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา จากนั้นค่า pH จะเพิ่มขึ้นแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับรายละเอียดของสภาวะการเก็บรักษา โดยกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) และกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกัน (ชุดการทดลองที่ 5) มีค่า pH ลดลงเท่ากับ 6.66$\pm$0.03 และ 6.62$\pm$0.07 ตามลำดับ ในการเก็บรักษาวันที่ 4 และมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.14$\pm$0.06 และ 7.12$\pm$0.06 เมื่อเก็บรักษา 14 และ 18 วันตามลำดับ ส่วนกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) และกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกัน (ชุดการทดลองที่ 6) มีค่า pH ลดลงเท่ากับ 6.63$\pm$0.05 และ 6.56$\pm$0.06 ตามลำดับ ในการเก็บรักษาวันที่ 4 และมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.96$\pm$0.01 และ 6.99$\pm$0.06 เมื่อเก็บรักษา 18 และ 21 วันตามลำดับ

สำหรับการลดลงของค่า pH ในช่วงแรกเป็นผลจากคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ละลายน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งมีผลในการปรับสภาวะของเนื้อเยื่อให้เป็นกรด (Sivertsvik et al., 2002 และ Masniyom, 2011) ทั้งนี้สภาวะบรรยากาศดัดแปรที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า (60% CO_2+ 40% N_2) จะทำให้กุ้งมีค่า pH ลดลงมากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น พบว่ากุ้งสดมีค่า pH เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากมีการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้เกิดสารประกอบไนโตรเจนขึ้น โดยจากการทดลองพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของ pH จะสูงสุดในกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 รองลงมาคือกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2, กุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Karabagias และคณะ (2011) ซึ่งพบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนและการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในเนื้อแกะได้ โดยการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 80% CO_2+20% N_2 สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในแกะได้มากที่สุด รองลงมาเป็นการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2, การเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 80% CO_2+20% N_2 การเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 และสภาวะบรรยากาศปกติ ตามลำดับ

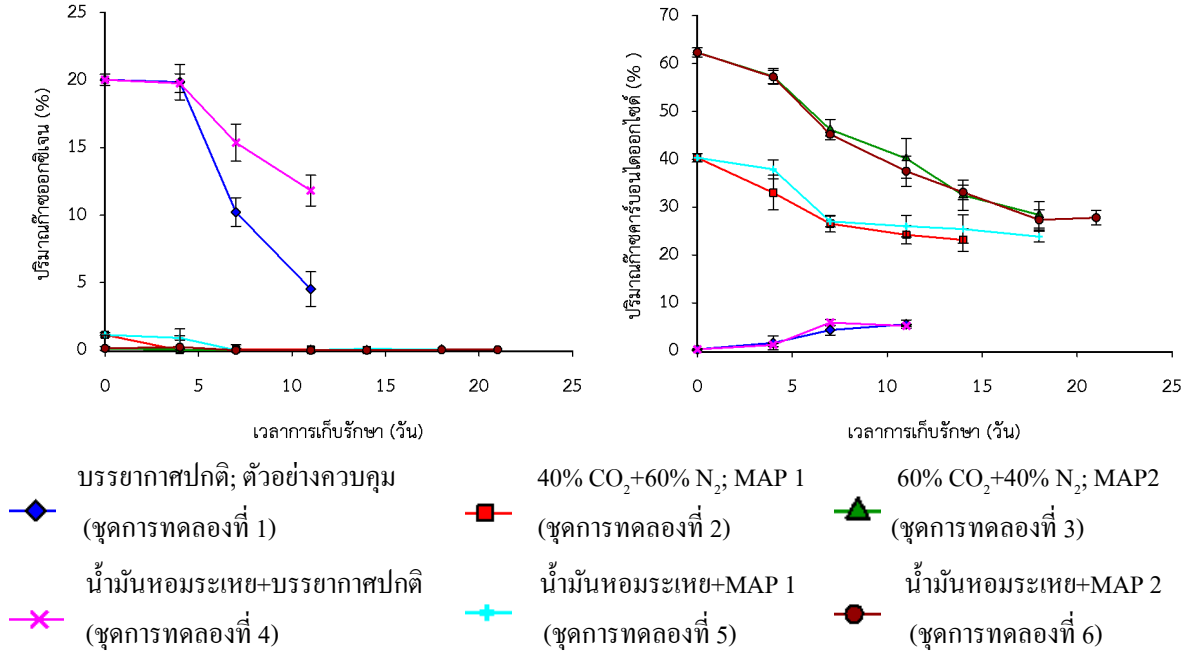
จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีสรุปได้ว่า ผลการวิเคราะห์ค่า TMA, TVB-N และ ค่า pH มีความสัมพันธ์กับจำนวนจุลินทรีย์ โดยเมื่อจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น จะทำให้มีค่า TMA, TVB-N และ pH เพิ่มขึ้น ซึ่งการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TMA, TVB-N และ ค่า pH ได้ดีกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยหรือการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว

4.2.3.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

4.2.3.3.1 ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์

เมื่อนำบรรจุภัณฑ์ของกุ้งทุกสภาวะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8$\pm$2 °C มาวิเคราะห์ปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ พบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.24 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1 และ 4 ตามลำดับ) ลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในสภาวะนี้คือ PE ซึ่งมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 3804.952 cm^3/m^2.24hr.atm และ 8310 cm^3/m^2.24hr.atm ตามลำดับ ดังนั้นในระหว่างการเก็บรักษาจึงมีการแพร่

ของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จากภายนอกเข้าออกระหว่างบรรจุภัณฑ์ได้ ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ที่ติดมากับกุ้งตัวอย่างจึงได้ใช้ออกซิเจนในการเจริญและผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (Ashie et al., 1996 และ Fraser และ Sumar, 1998) โดยบรรจุภัณฑ์ของชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณออกซิเจนลดลงจาก 20.03±0.40% เป็น 4.53±1.29% ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 0.30±0.20% เป็น 5.57±1.13% เมื่อเก็บรักษา 11 วัน ในขณะที่กุ้งในชุดการทดลองที่ 4 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของก๊าซทั้ง 2 ชนิดช้ากว่า โดยมีปริมาณออกซิเจนลดลงจาก 20.03±0.40% เป็น 11.82±1.13% ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 0.30±0.20% เป็น 3.53±0.32% เมื่อเก็บรักษา 11 วัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากชุดการทดลองที่ 4 มีจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่ากุ้งในชุดการทดลองที่ 1 (รูปที่ 4.2) ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำมันหอมระเหยกะเพราสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ดังนั้นจึงมีการใช้ออกซิเจนและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยกว่า



รูปที่ 4.24 ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

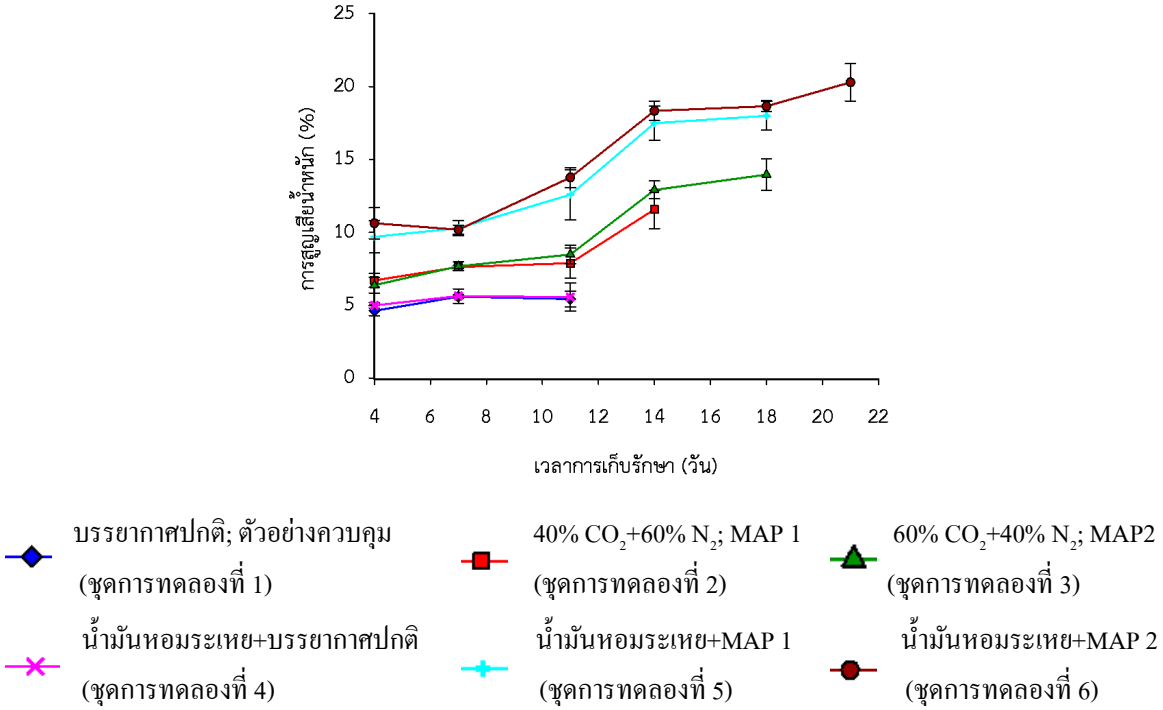
สำหรับผลการศึกษาการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรา พบว่ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน กล่าวคือมีปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ โดยบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+ 60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) และบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกัน (ชุดการทดลองที่ 5) มีปริมาณออกซิเจนลดลงจาก

1.13±0.03% เป็น 0.01±0.01% และ 0.03±0.06% ตามลำดับ ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจาก 40.53±0.47% เป็น 23.17±2.35% และ 23.87±1.07% เมื่อเก็บรักษา 14 และ 18 วันตามลำดับ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) และบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกัน (ชุดการทดลองที่ 6) มีปริมาณออกซิเจนลดลงจาก 0.13±0.15% เป็น 0.23±0.15% และ 0.03±0.03% ตามลำดับ ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจาก 60.80±0.56% เป็น 28.40±2.72% และ 27.82±0.06% เมื่อเก็บรักษา 18 และ 21 วันตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2) และบรรจุภัณฑ์ที่ใช้คือ nylon/PE ซึ่งมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 46.195 cm^3/m^2.24hr.atm และ 140 cm^3/m^2.24hr.atm ตามลำดับ ดังนั้นในระหว่างการเก็บรักษาจึงมีการแพร่ของออกซิเจนจากภายนอกซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าเข้ามาสู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ในขณะเดียวกันก็มีการแพร่ผ่านของคาร์บอนไดออกไซด์จากภายในซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าสู่ภายนอกบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนที่ละลายน้ำและแทรกซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อสัตว์ได้ ซึ่งสังเกตได้จากบรรจุภัณฑ์ที่ยุบตัวลง และค่า pH ที่ลดลงในช่วงแรก (รูปที่ 4.23)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร พบว่าบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางภาคผนวก ง.44) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรจะช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงมีการใช้ออกซิเจนและสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาน้อยกว่าสภาวะอื่นๆ

4.2.3.3.2 การสูญเสียน้ำหนัก

จากผลการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C (รูปที่ 4.25) พบว่ากุ้งสดมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเอนไซม์โปรติเอส (Protease) ที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อกุ้งและในจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนทำการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อกุ้ง ทำให้โปรตีนไม่สามารถอุ้มน้ำได้ (Huff-Lonergan และ Lonergan, 2005) จากผลการทดลองพบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าสภาวะอื่นๆ เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเท่ากัน โดยมีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ในช่วง 4.61 - 5.59%



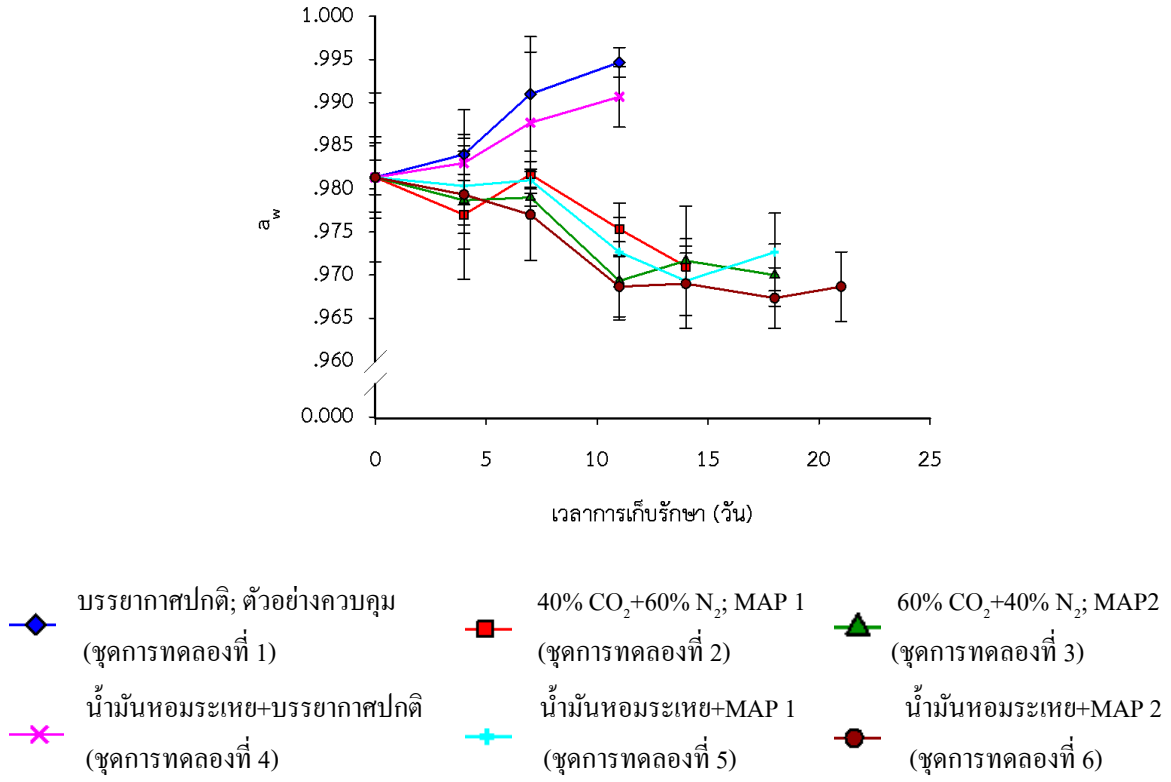
รูปที่ 4.25 การสูญเสียน้ำหนักของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สำหรับกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่า กุ้งมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางภาคผนวก ง.47) โดยกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ในช่วง 6.37 - 20.29% ทั้งนี้เนื่องจากกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อปรับสภาพบรรยากาศ โดยคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์สามารถละลายน้ำและซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อกุ้ง ส่งผลให้กุ้งมีค่า pH ต่ำในช่วงแรกของการเก็บรักษา (รูปที่ 4.23) ซึ่งค่า pH ลดลงนั้นมีผลทำให้โปรตีนในเนื้อกุ้งสูญเสียสภาพธรรมชาติ และอุ้มน้ำได้น้อยลง (Provincial et al., 2010) โดยจากรูปที่ 4.25 พบว่ากุ้งที่เก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีค่าการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่ากุ้งที่เก็บที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะที่ 60% CO_2+40% N_2 มีการใช้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า ดังนั้นจึงส่งผลกระทบกับค่า pH และค่าการสูญเสียน้ำได้มากกว่า ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fagan และคณะ (2004) ซึ่งพบว่าปลาแมคคาเรลที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าปลาที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเก็บรักษาปลาแมคคาเรลที่สภาวะ 100% CO_2 มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด รองลงมาคือที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2, 30% O_2+40% CO_2+ 30% N_2 และสภาวะบรรยากาศปกติ ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้ยังพบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่า

การสูญเสียน้ำหนักของกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกันพบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยจะมีค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดต่ำลง (Allen et al., 1998) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่า pH ของกุ้ง (รูปที่ 4.23) ที่พบว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีค่า pH ต่ำกว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย

4.2.3.3.3 ค่า a_w

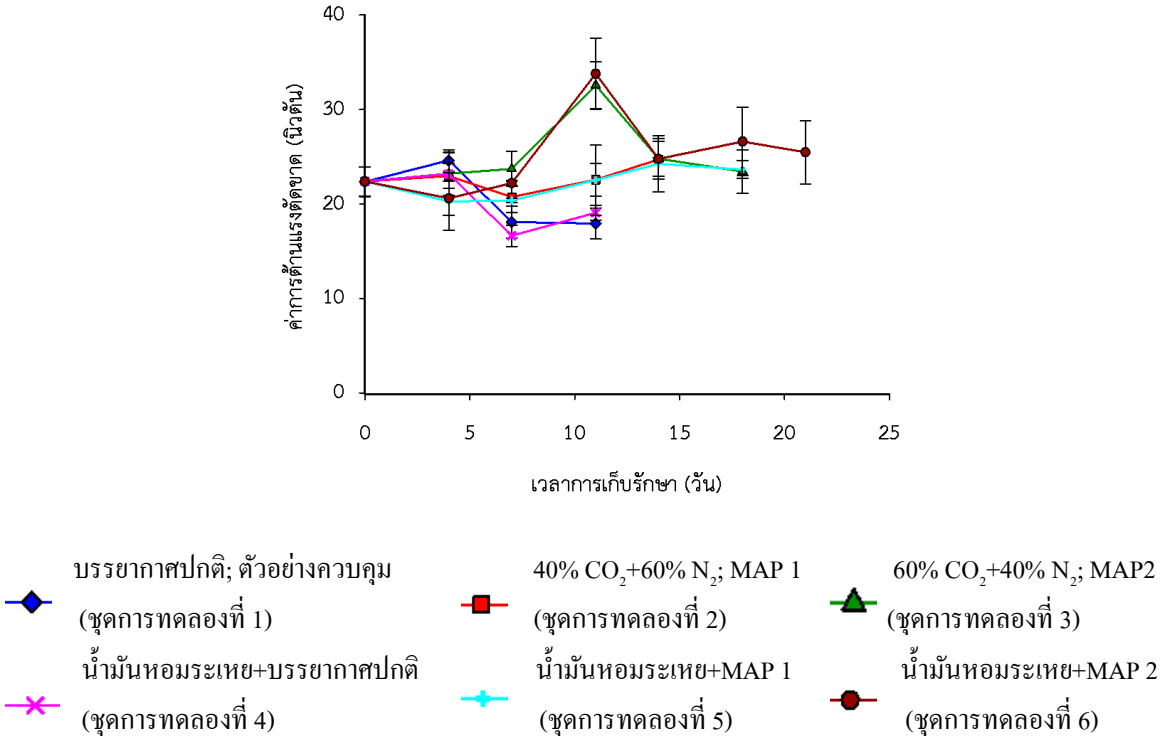
ผลการวิเคราะห์ค่า a_w ของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C (รูปที่ 4.26) เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นพบว่าค่า a_w ของกุ้งทุกสภาวะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.981 - 0.995 และ 0.981 - 0.991 ตามลำดับ ในขณะที่กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรอยู่ในช่วง 0.969 - 0.982 ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.967 - 0.981 จากผลการทดลองจะเห็นว่ากุ้งยังมีค่า a_w สูงตลอดช่วงอายุการเก็บรักษา ทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญได้เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.20)



รูปที่ 4.26 ค่า a_w ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

4.2.3.3.4 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

เมื่อนำกุ้งมาศึกษาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส โดยวัดค่าในเทอมค่าการต้านแรงตัดขาด (Cutting) ผลการทดลองพบว่ากุ้งสดมีค่าการต้านแรงตัดขาดเริ่มต้นเท่ากับ 21.18±1.52 นิวตัน (รูปที่ 4.27) และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งจะมีค่าการต้านแรงตัดขาดเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยทั้งกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีค่าการต้านแรงตัดขาดน้อยลง โดยมีค่าเท่ากับ 17.61±1.32 และ 19.07±0.78 นิวตัน ตามลำดับ ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากการเจริญของจุลินทรีย์โดยจากรูปที่ 4.20 จะเห็นว่ากุ้งทั้ง 2 สภาวะข้างต้นมีปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่าสภาวะอื่นๆ ดังนั้นเนื้อเยื่อจึงถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้มากกว่า เป็นผลให้มีค่าการต้านแรงตัดขาดต่ำ



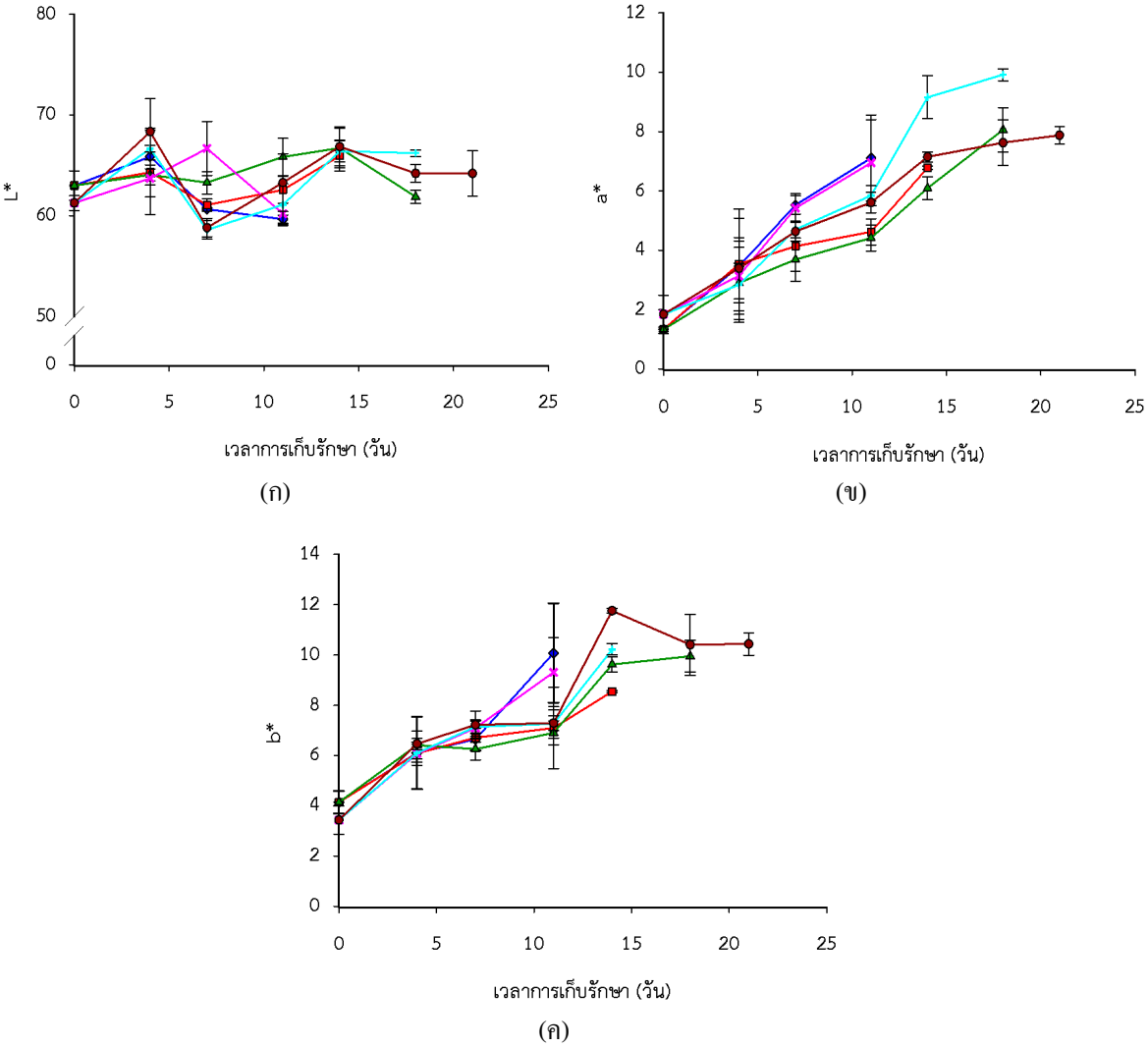
รูปที่ 4.27 ค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สำหรับการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่าช่วยรักษาค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยไว้ได้ดีกว่า โดยพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 22.53 - 33.79 นิวตัน ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้น หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง สำหรับการที่กุ้งเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถคงค่าการต้านแรงตัดขาดไว้ได้ในช่วงแรกของการเก็บรักษานั้น

อธิบายได้ว่าเป็นผลจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งทำให้เกิดสภาวะที่เป็นกรดขึ้น ทำให้โปรตีนในเนื้อกุ้งไม่สามารถอุ้มน้ำ ดังแสดงออกมาในเทอมของค่าการสูญเสียน้ำหนัก (รูปที่ 4.25) และจากการที่ภายในเนื้อเยื่อกุ้งมีน้ำแทรกในปริมาณน้อยลง จะส่งผลให้เนื้อเยื่ออัดตัวกันแน่นขึ้น ทำให้วัดค่าการต้านแรงตัดขาดได้มากขึ้น ประกอบกับเทคนิคที่ใช้คือการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียวหรือการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์บนกุ้งตัวอย่างได้มีประสิทธิภาพ (รูปที่ 4.20) อย่างไรก็ตามหลังจากนั้นจะเห็นว่าค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งตัวอย่างจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.2) โดยกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีค่าการต้านแรงตัดขาดอยู่ในช่วง 24.18 - 24.76 นิวตัน ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาสำหรับที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และในวันที่ 18 ของการเก็บรักษาสำหรับที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรจะมีค่าการต้านแรงตัดขาดอยู่ในช่วง 23.65 - 26.61 นิวตัน ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษาสำหรับกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาสภาวะ 40% CO_2+60% N_2 และในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาสำหรับกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาสภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าในช่วงท้ายการทดลอง การเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์จะมีอิทธิพลต่อการลดลงของค่าการต้านแรงตัดขาดมากกกว่าค่าการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อ

4.2.3.3.5 คุณภาพสี

การวิเคราะห์ค่าสีของกุ้งใช้เครื่องวัดสีระบบ CIE LAB (L*, a* และ b*) พบว่าค่า a* และ b* ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราแตกต่างจากกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.28 และตารางที่ 4.12 มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาดังนี้



รูปที่ 4.28 ค่าสีของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C; ก: ค่าความสว่าง (L*) ข: ค่าความเป็นสีแดง (a*) และ ค: ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบสีของกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรา

ตัวอย่าง	ความสว่าง[ns] (L*)	ความเป็นสีแดง[ns] (a*)	ความเป็นสีเหลือง[ns] (b*)
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรา	62.98±1.46	1.36±0.08	4.34±0.45
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรา	61.26±0.73	1.84±0.64	3.43±0.56

[ns] แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.12 พบว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรามีสีไม่แตกต่างจากกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย กล่าวคือกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรามีสีขาว โดยเมื่อนำกุ้งมาวัดค่า L* (ความสว่าง) จะบ่งบอกความสว่างของตัวอย่างโดยมีสเกล 0 - 100, ค่า a* (ค่า a- หมายถึงสีเขียวและ a+ หมายถึงสีแดง) และค่า b* (ค่า b- หมายถึงสีน้ำเงิน และ b+ หมายถึงสีเหลือง) พบว่ากุ้งทั้ง 2 ตัวอย่างมีค่า L*, a* และ b* ใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 61.26 - 62.98, 1.36 - 1.84 และ 3.43 - 4.34 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4)

สำหรับผลการเก็บรักษากุ้งทั้ง 2 ส่วนข้างต้นในสภาวะที่แตกต่างกันพบว่าได้ผลดังนี้

ก. ค่า L*

จากรูปที่ 4.28 ก พบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า L* เพิ่มขึ้นช่วงแรก หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเท่ากับ 59.64±2.21 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) ซึ่งออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลที่อยู่ในกุ้งในสภาวะที่มีออกซิเจนเกิดเป็นเมลานิน ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีสีคล้ำขึ้น (García-Carreño, et el., 2008) ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีการเปลี่ยนแปลงของสีแตกต่างไปเล็กน้อย กล่าวคือมีค่า L* เพิ่มขึ้นช่วงแรก หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเท่ากับ 65.14±2.47 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา โดยการนำกุ้งมาแช่น้ำมันหอมระเหย จะทำให้มีน้ำมันหอมระเหยส่วนหนึ่งเคลือบที่ผิวกุ้ง ทำให้กุ้งไม่ได้สัมผัสอากาศโดยตรง ดังนั้นจึงชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไปได้ ส่งผลให้กุ้งยังคงความสว่างสูงกว่า ในส่วนของการเก็บรักษากุ้งที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่ากุ้งมีค่า L* สูงกว่ากุ้งที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติ ที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้นจะช่วยชะลอการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Thepnuan et al., 2008) ส่งผลให้กุ้งมีสีคล้ำช้าลง โดยค่า L* ของกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรอยู่ในช่วง 63.38 - 70.94 ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา

ข. ค่า a*

จากรูปที่ 4.28 ข พบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า a* เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยมีค่าเท่ากับ 6.74±0.67 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำประกอบด้วยไมโอโกลบิน (Myoglobin) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีม่วงแดง สามารถรวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็นออกซีไมโอโกลบิน (Oxymyoglobin) ซึ่งมีสีแดงสด (Sen, 2005) ดังนั้นกุ้งจึงมีค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีการเพิ่มขึ้นของค่า a* น้อยกว่า โดยมีค่าเท่ากับ 2.19±0.69 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา โดยการนำกุ้งมาแช่น้ำมันหอมระเหย จะทำให้มีน้ำมันหอมระเหยส่วนหนึ่งเคลือบที่ผิวกุ้ง ทำให้กุ้งไม่ได้สัมผัสอากาศโดยตรง ดังนั้นจึงชะลอการเกิดออกซิไมโอโกลบิน ส่งผลให้กุ้งมีค่าความเป็นสีแดงน้อยกว่า ในส่วนของการเก็บรักษากุ้งที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่ามีค่า a* ต่ำกว่ากุ้งที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติ ทั้งนี้เนื่องออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีปริมาณน้อยกว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (การทดลองที่ 4.2.3.3.1) จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของไมโอ-

โกลบินช้าลง โดยค่า a* ของกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาสภาวะที่บรรยากาศดัดแปรอยู่ในช่วง 6.19 - 6.86 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาสภาวะที่บรรยากาศดัดแปรมีค่า a* อยู่ในช่วง 3.16 - 5.16 ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา

ค. ค่า b*

จากรูปที่ 4.20 ค พบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า b* เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.95 - 8.81 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินในกุ้ง ส่งผลให้กุ้งมีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในส่วนของการเก็บรักษากุ้งที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่ามีค่า b* มีค่าต่ำกว่าการเก็บรักษากุ้งภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ซึ่งอธิภายได้เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่า a* ของกุ้งที่เก็บที่สภาวะบรรยากาศดัดแปร กล่าวคือเป็นสภาวะที่ส่งผลให้กุ้งมีการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินเป็นออกซิไมโอโกลบินช้าลง โดยค่า b* ของกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรอยู่ในช่วง 8.42 - 9.16 ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาสภาวะที่บรรยากาศดัดแปรมีค่า b* อยู่ในช่วง 9.88 - 10.02 ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพสรุปได้ว่า การเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้การสูญเสียน้ำหนัก, ค่า a_w และคุณภาพเนื้อสัมผัสแตกต่างจากการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าการสูญเสียน้ำหนักของกุ้งจะสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ กล่าวคือความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงส่งผลให้กุ้งมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น โดยมีผลให้กุ้งมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นขึ้น จึงมีการต้านแรงตัดขาดสูง

4.2.3.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

เมื่อนำกุ้งสดเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) กุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาสภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) กุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) กุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5) กุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) และกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2

(ชุดการทดลองที่ 6) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C ลวกในน้ำร้อนเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น สี รสชาติ และ เนื้อสัมผัส โดยใช้แบบทดสอบ 5-scale scoring ในส่วนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมใช้แบบทดสอบ 5-scale hedonic ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.13 โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาแสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราในกุ้งที่บรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C โดยใช้แบบทดสอบ 5-scale scoring และ 5-scale hedonic

สภาวะ	การเก็บรักษา (วัน)	กลิ่น	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	$4.73^{c}\pm0.46$	$4.47^{c}\pm0.52$	$4.33^{c}\pm0.49$	$4.20^{b}\pm0.41$	$4.67^{c}\pm0.49$
	4	$3.27^{b}\pm0.70$	$3.13^{b}\pm0.83$	$3.27^{b}\pm0.96$	$2.93^{a}\pm0.88$	$3.23^{b}\pm0.59$
	7	$2.80^{a}\pm0.86$	$2.53^{a}\pm0.92$	$2.27^{a}\pm0.59$	$2.93^{a}\pm0.80$	$2.20^{a}\pm0.86$
40% CO_2+60% N_2; MAP 1 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	$4.73^{c}\pm0.46$	$4.47^{c}\pm0.52$	$4.33^{b}\pm0.49$	$4.20^{b}\pm0.41$	$4.67^{c}\pm0.49$
	4	$3.00^{a}\pm1.00$	$4.53^{c}\pm0.51$	$4.40^{b}\pm0.83$	$3.67^{a}\pm0.62$	$3.33^{b}\pm0.49$
	7	$3.27^{ab}\pm0.80$	$3.93^{b}\pm0.80$	$2.53^{a}\pm0.99$	$3.60^{a}\pm0.83$	$3.47^{b}\pm1.41$
	11	$2.80^{a}\pm1.01$	$3.37^{a}\pm0.97$	$2.53^{a}\pm1.06$	$4.20^{b}\pm0.86$	$2.60^{a}\pm0.99$
60% CO_2+40% N_2; MAP2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	$4.73^{c}\pm0.46$	$4.47^{c}+0.64$	$4.33^{c}\pm0.49$	$4.20^{b}\pm0.41$	$4.67^{c}\pm0.49$
	4	$4.60^{c}\pm0.63$	$4.67^{c}\pm0.49$	$4.87^{d}\pm0.52$	$4.07^{b}\pm0.26$	$3.53^{c}\pm1.06$
	7	$3.33^{b}\pm0.72$	$3.67^{b}\pm0.49$	$2.80^{b}\pm0.68$	$3.73^{ab}\pm0.59$	$3.33^{bc}\pm1.05$
	11	$2.40^{a}\pm0.91$	$4.40^{c}\pm1.12$	$2.53^{b}\pm0.92$	$3.80^{ab}\pm0.77$	$3.07^{b}\pm1.03$
	14	$2.07^{a}\pm0.80$	$3.07^{a}\pm0.80$	$1.80^{a}\pm0.77$	$3.46^{a}\pm0.74$	$2.40^{a}\pm1.05$
น้ำมันหอมระเหย+บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	$4.80^{c}\pm0.41$	$4.20^{bc}\pm0.63$	$4.87^{c}\pm0.35$	$4.12^{c}\pm0.04$	$2.97^{b}\pm0.59$
	4	$4.67^{c}\pm0.49$	$4.53^{c}\pm0.52$	$4.61^{c}\pm0.35$	$3.67^{b}\pm0.62$	$3.11^{b}\pm0.27$
	7	$4.27^{b}\pm0.70$	$4.00^{b}\pm1.00$	$4.10^{b}\pm0.51$	$3.53^{b}\pm0.64$	$2.27^{a}\pm0.96$
	11	$3.13^{a}\pm0.12$	$3.11^{a}\pm0.17$	$3.67^{a}\pm0.34$	$3.00^{a}\pm0.54$	$2.10^{a}\pm0.77$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราในกุ้งที่บรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C โดยใช้แบบทดสอบ 5-scale scoring และ 5-scale hedonic

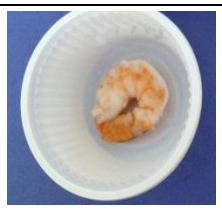
สภาวะ	การเก็บรักษา (วัน)	กลิ่น	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
น้ำมันหอมระเหย +MAP1 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	$4.80^{d}\pm0.41$	$4.20^{b}\pm0.63$	$4.87^{d}\pm0.35$	$4.12^{b}\pm0.04$	$2.97^{ab}\pm0.59$
	4	$3.13^{ab}\pm0.92$	$3.80^{ab}\pm1.15$	$4.80^{d}\pm0.56$	$4.33^{c}\pm0.72$	$3.10^{b}\pm1.08$
	7	$4.33^{c}\pm0.62$	$3.47^{a}\pm0.74$	$4.33^{c}\pm0.82$	$4.07^{b}\pm0.80$	$3.47^{c}\pm0.83$
	11	$4.15^{c}\pm0.99$	$4.07^{b}\pm0.80$	$3.62^{b}\pm0.68$	$3.80^{a}\pm1.10$	$2.67^{a}\pm1.54$
	14	$2.87^{a}\pm0.74$	$3.67^{a}\pm0.51$	$2.87^{a}\pm0.74$	$3.61^{a}\pm0.86$	$2.67^{a}\pm1.05$
น้ำมันหอมระเหย +MAP2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	$4.80^{d}\pm0.41$	$4.20^{c}\pm0.63$	$4.87^{d}\pm0.35$	$4.12^{b}\pm0.04$	$2.97^{ab}\pm0.59$
	4	$4.07^{bc}\pm0.46$	$4.00^{bc}\pm0.93$	$4.87^{d}\pm0.52$	$4.27^{b}\pm0.70$	$3.27^{c}\pm0.83$
	7	$4.73^{cd}\pm0.26$	$3.73^{b}\pm0.80$	$4.13^{c}\pm0.39$	$4.07^{b}\pm0.59$	$3.20^{c}\pm1.07$
	11	$3.60^{ab}\pm1.59$	$3.73^{b}\pm0.80$	$4.27^{c}\pm0.59$	$4.40^{c}\pm0.23$	$3.01^{b}\pm0.72$
	14	$3.60^{ab}\pm0.83$	$3.47^{b}\pm1.19$	$3.80^{b}\pm0.41$	$4.13^{b}\pm0.52$	$3.00^{b}\pm1.37$
	18	$3.13^{a}\pm0.74$	$2.53^{a}\pm1.03$	$2.87^{a}\pm0.74$	$3.93^{a}\pm0.26$	$2.46^{a}\pm0.70$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 4.14 ลักษณะของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะการเก็บรักษา		เริ่มต้นการเก็บรักษา	สิ้นสุดการเก็บรักษา	
บรรยากาศปกติ	ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 1)			เก็บรักษาวันที่ 4
	ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 4)			เก็บรักษาวันที่ 11

ตารางที่ 4.14 (ต่อ) ลักษณะของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพราและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะการเก็บรักษา		เริ่มต้นการเก็บรักษา	สิ้นสุดการเก็บรักษา	
บรรยากาศดัดแปร 40% CO_2+60% N_2	ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 2)			เก็บรักษาวันที่ 11
	ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 5)			เก็บรักษาวันที่ 14
บรรยากาศดัดแปร 60% CO_2+40% N_2	ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 3)			เก็บรักษาวันที่ 14
	ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ชุดการทดลองที่ 6)			เก็บรักษาวันที่ 18

จากตารางที่ 4.13 พบว่ากุ้งทุกตัวอย่างมีคะแนนกลิ่น สีรสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สำหรับการทดสอบด้านกลิ่นพบว่า กุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรามีกลิ่นแตกต่างกัน กล่าวคือกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรามีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสดและไม่เกิดกลิ่นอับกลิ่นคาว ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรามีกลิ่นของสมุนไพร และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นพบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีกลิ่นสดลดลง โดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 1 มีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสดและไม่เกิดกลิ่นอับกลิ่นคาว เปลี่ยนแปลงเป็นเริ่มมีกลิ่นอับกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 4 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นกุ้งจะมีการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นซึ่งมีผลต่อการผลิต TMA ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและกลิ่นคาวเพิ่มขึ้น สำหรับกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 พบว่ามีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสดและไม่เกิดกลิ่นอับกลิ่นคาว เปลี่ยนแปลงเป็นกุ้งมีกลิ่นอับกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเปรี้ยวชัดเจนเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 4 และกุ้งในชุดการทดลองที่ 3 มีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสดและไม่เกิดกลิ่นอับกลิ่นคาวเปลี่ยนแปลงเป็นมี

กลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 7 ผลที่ได้บ่งชี้ว่า สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้กุ้งเกิดกลิ่นอับกลิ่นคาวช้ากว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ในส่วนของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งมีกลิ่นของสมุนไพรลดลง โดยพบว่ากุ้งในชุดการทดลองที่ 4 มีกลิ่นของสมุนไพรชัดเจนจนกระทั่งเปลี่ยนแปลงเป็นมีกลิ่นสมุนไพรเล็กน้อยและมีกลิ่นอับกลิ่นคาวปนอยู่เล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 11 โดยกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นช้ากว่า กล่าวคือในชุดการทดลองที่ 5 พบว่ากุ้งมีกลิ่นของสมุนไพรชัดเจนจนกระทั่งเปลี่ยนแปลงเป็นมีกลิ่นสมุนไพรเล็กน้อยและเกิดกลิ่นอับกลิ่นคาวเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 11 ส่วนกุ้งในชุดการทดลองที่ 6 มีกลิ่นของสมุนไพรชัดเจนจนกระทั่งเปลี่ยนแปลงเป็นมีกลิ่นสมุนไพรเล็กน้อยและเกิดกลิ่นอับกลิ่นคาวเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 18

สำหรับคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีพบว่า กุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรามีสีไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.14) กล่าวคือกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรามีสีขาว และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นพบว่ากุ้งมีสีขาวลดลง โดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงเป็นเนื้อมีสี เหลืองอมขาวเล็กน้อย ลายมีสีส้มซีดจาง เมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 4 สำหรับกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 พบว่ากุ้งมีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อโดยที่สีขาวลดลง ลายมีสีส้มอ่อน ในการเก็บรักษาวันที่ 11 เท่ากัน ผลที่ได้บ่งชี้ว่าสภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้กุ้งมีการเปลี่ยนแปลงสีช้ากว่าการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ในส่วนของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งมีสีเหลืองลดลงโดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 4 พบว่ากุ้งมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองอมขาวเล็กน้อย ลายมีสีส้มซีดจางเมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 11 โดยกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีการเปลี่ยนแปลงสีช้ากว่ากล่าวคือในชุดการทดลองที่ 5 และ 6 พบว่ากุ้งมีสีเหลืองลดลงเมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 14 เท่ากัน

ในส่วนของการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ พบว่ากุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรามีรสชาติแตกต่างกัน กล่าวคือกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรามีรสชาติของเนื้อกุ้งออกหวานปนเค็มเล็กน้อย ไม่มีรสชาติอื่นรบกวน ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรามีรสชาติคลุกเคล้าสมุนไพร และเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นพบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีรสชาติเปลี่ยนแปลงเป็นรสเปรี้ยว โดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 1 รสชาติของเนื้อกุ้งออกหวานปนเค็มเล็กน้อย ไม่มีรสชาติอื่นรบกวนและเปลี่ยนแปลงเป็นมีรสชาติอื่นเช่น รสเปรี้ยวเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 4 สำหรับกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 พบว่ากุ้งมีรสชาติของเนื้อกุ้งออกหวานปนเค็มเล็กน้อย ไม่มีรสชาติอื่นรบกวนเปลี่ยนแปลงเป็นมีรสชาติอื่นเช่น รสเปรี้ยวเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 4 เช่นเดียวกัน ในส่วนของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานาน

ขึ้น กุ้งมีรสชาติของสมุนไพรลดลง โดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 4 ผู้ทดสอบพบว่ากุ้งมีรสชาติคลุกเคล้าสมุนไพรและเปลี่ยนแปลงเป็นรสชาติของกุ้ง ไม่มีรสชาติอื่นรบกวนเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 11 ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปร (ชุดการทดลองที่ 5 และ 6) พบว่ารสชาติของสมุนไพรลดลงเมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 11 - 14

จากตารางที่ 4.13 พบว่ากุ้งมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นโดยกุ้งในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 เนื้อกุ้งเกาะรวมตัวแน่น กัดแล้วรู้สึกถึงความยืดหยุ่นแน่น เนื้อไม่นิ่มเละ จากนั้นเนื้อกุ้งไม่เกาะรวมตัวกัน เนื้อนิ่ม เริ่มเปื่อยยุ่ยเล็กน้อย เมื่อเก็บถึงวันที่ 4, 7 และ 14 ตามลำดับ ในส่วนของกุ้งชุดการทดลองที่ 4, 5 และ 6 ผู้ทดสอบพบว่าเนื้อกุ้งเกาะรวมตัวแน่นกัดแล้ว รู้สึกถึงความยืดหยุ่นแน่น เนื้อไม่นิ่มเละ จากนั้นเนื้อกุ้งเกาะรวมตัวกันปานกลาง เริ่มไม่มีความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้ง และเนื้อเริ่มนิ่มเมื่อเก็บถึงวันที่ 11, 14 และ 18 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลที่ได้ พบว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยมีเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่นและมีความแน่นเนื้อมากกว่ากุ้งสดธรรมดา นอกจากนี้ยังพบว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงส่งผลให้เนื้อกุ้งเริ่มนิ่มและเปื่อยยุ่ยช้ากว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ

จากผลคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวม พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยสูงกว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (ตารางที่ 4.13) ซึ่งอาจเป็นเพราะกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรามีกลิ่นของสมุนไพรชัดเจน ให้ผู้บริโภคให้การยอมรับลดลง และเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นพบว่าคะแนนการยอมรับของกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยลดลงอาจเป็นเพราะคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น สี รสชาติ และเนื้อสัมผัสของกุ้งลดลงลงเมื่อเวลาผ่านไป ในส่วนของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยพบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับเพิ่มขึ้นจากนั้นคะแนนการยอมรับกลับมาลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะเมื่ออายุการเก็บรักษาผ่านไป กลิ่นของสมุนไพรจางลง แต่เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น สี รสชาติ และเนื้อสัมผัสของกุ้งเริ่มลดลง จึงส่งผลให้ผู้บริโภคให้การยอมรับลดลง แต่เมื่อใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร พบว่ากุ้งมีกลิ่นของสมุนไพรจางลง ซึ่งกุ้งในชุดการทดลองที่ 6 ได้รับการยอมรับมากกว่าสภาวะอื่น กล่าวคือกุ้งชุดการทดลองที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อเก็บรักษาจนถึงวันที่ 4, 7, 11, 4, 7 และ 14 ตามลำดับ

จากผลการทดลองคุณสมบัติทางจุลินทรีย์ เคมี และกายภาพของกุ้งสดที่กล่าวมาดังข้อ 4.2.3.1 - 4.2.3.3 พบว่า น้ำมันหอมระเหยกะเพราหรือการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของกุ้งได้นานขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม และจากผลคะแนนการยอมรับโดยรวมของ

ผู้บริโภคจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับกุ้งที่ถูกแช่ในน้ำมันหอมระเหยกะเพราและบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร 60% CO_2+40% N_2 นานที่สุด คือ 14 วัน

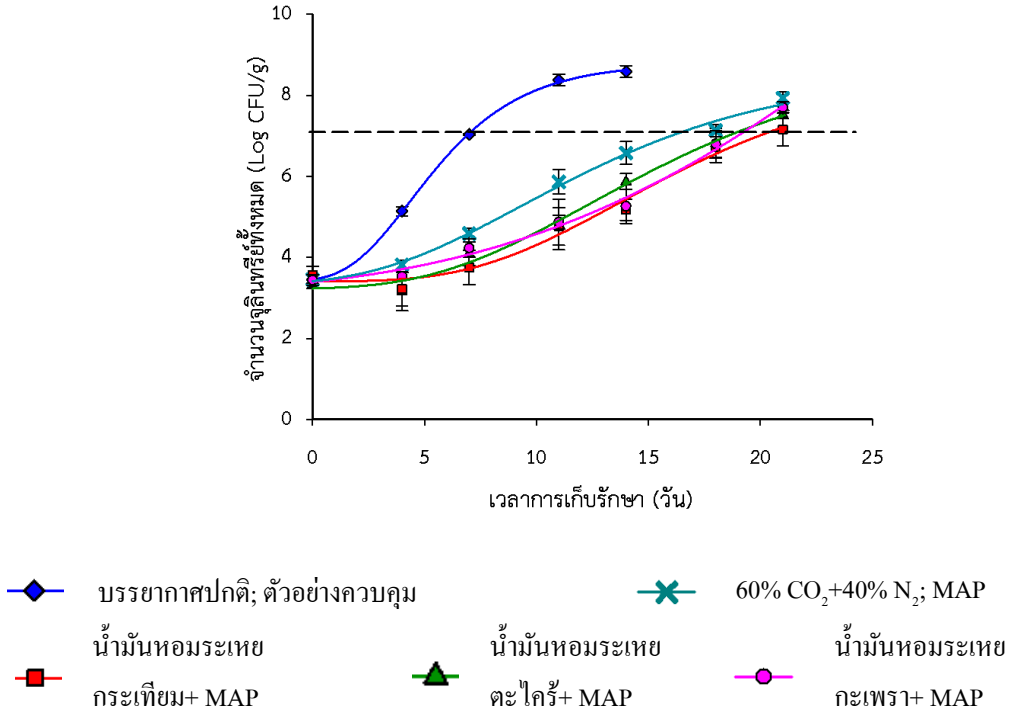
4.2.4 การเปรียบเทียบคุณภาพของกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิด

จากผลการทดลองที่ 4.2.1 - 4.2.3 ซึ่งศึกษาผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการเก็บในสภาวะบรรยากาศดัดแปร พบว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ เคมี และกายภาพดีที่สุด อย่างไรก็ตามเนื่องจากยังขาดข้อมูลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้น้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิด ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงนำเอาข้อมูลจากการทดลองที่ 4.2.1 - 4.2.3 มาวิเคราะห์ ซึ่งได้ผลทั้งหมดดังนี้

4.2.4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

4.2.4.1.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count)

จากรูปที่ 4.29 พบว่ากุ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8$\pm$2 ^{o}C ในแต่ละชุดการทดลองมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น และเมื่อใช้เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับอาหารประเภทกุ้ง ซึ่งกำหนดไว้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 7 log CFU/g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์-อุตสาหกรรม, 2529) เป็นตัวกำหนดอายุการเก็บรักษาของกุ้งสด พบว่ากุ้งสดที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ มีอายุการเก็บรักษาเพียง 4 วัน โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 5.14$\pm$0.12 log CFU/gส่วนกุ้งสดที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) มีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 14 วันโดยมีจุลินทรีย์เท่ากับ 6.58$\pm$0.28 log CFU/g ทั้งนี้เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์สามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะซึมเข้าสู่เยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ส่งผลให้ pH ภายในเซลล์มีค่าลดลง จุลินทรีย์จึงไม่สามารถเจริญได้ (McMillin, 2008) ในขณะที่กุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (กระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา) และเก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีอายุการเก็บรักษา 14 - 18 วัน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยและคาร์บอนไดออกไซด์ต่างมีคุณสมบัติเป็นสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Burt, 2004; McMillin, 2008)



รูปที่ 4.29 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) พบว่าค่า μ_{max} และค่า L ของจุลินทรีย์ที่ตรวจพบในกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยทุกชนิดที่เก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.15) โดยจุลินทรีย์ที่ตรวจพบในกุ้งที่ผ่านการแช่ในน้ำมันหอมระเหยกะเพรามีช่วง Lag phase สั้นกว่าจุลินทรีย์ที่ตรวจพบในกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยชนิดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 4.1 ที่ทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และพบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพรามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์น้อยที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหย พบว่าชนิดของน้ำมันหอมระเหยมีผลต่อจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.16) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความเข้มข้นของสารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดอาจไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด จึงทำให้มีจุลินทรีย์เหลือรอดและเกิดการเจริญได้ เนื่องจากยังมีอาหารเพียงพอ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดมีจำนวนจุลินทรีย์แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ จากผลการทดลองทั้งหมดจึงสรุปได้ว่าสามารถเลือกชนิดของน้ำมันหอมระเหยชนิดใดก็ได้ร่วมกับการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพื่อช่วยชะลอการเสื่อมเสียและยืดอายุการเก็บรักษากุ้งแช่เย็นให้นานขึ้น

ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของจุลินทรีย์ที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากกุ้งในแต่ละชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

ชุดการทดลอง	μ_{max} (log CFU/g.วัน)	L (วัน)
สภาวะควบคุม	0.77^{c}	1.38^{a}
สภาวะ 60% CO_2+40% N_2	0.39^{b}	3.68^{b}
น้ำมันหอมระเหยกระเทียมที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2	0.23^{a}	6.71^{d}
น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2	0.25^{a}	6.63^{d}
น้ำมันหอมระเหยกะเพราที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2	0.26^{a}	4.93^{c}

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.16 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อจำนวนจุลินทรีย์ของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

น้ำมันหอมระเหย	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g) ^{ns}
กระเทียม	4.82±1.37
ตะไคร้	4.87±1.51
กะเพรา	4.94±1.42

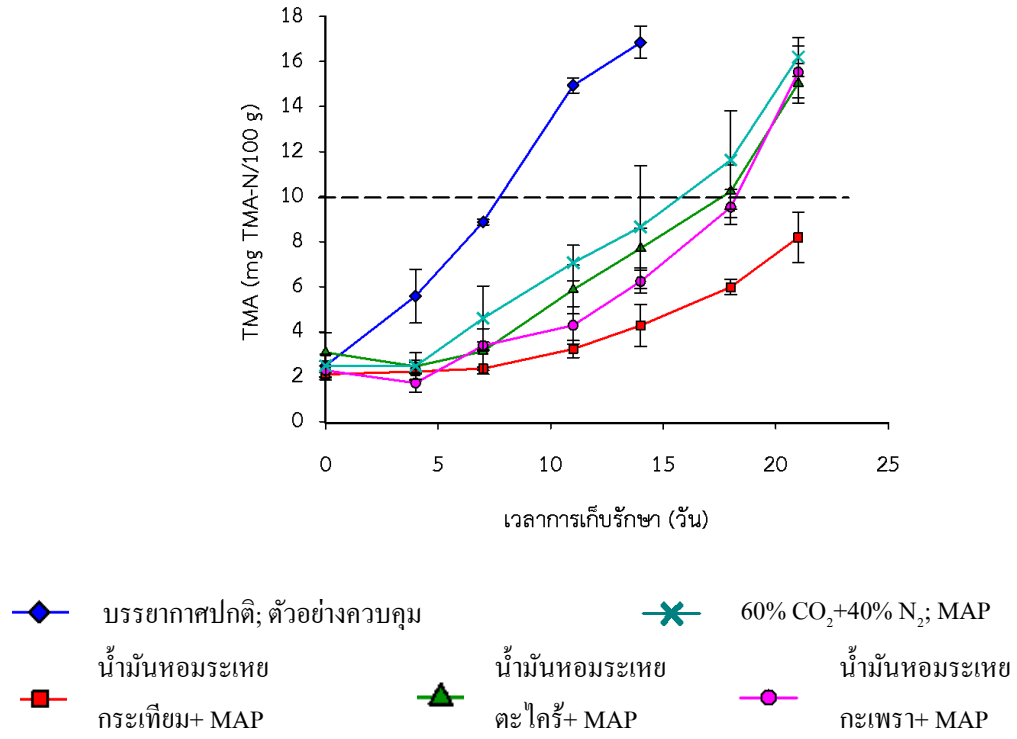
*^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.2.4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

4.2.4.2.1 ไตรเมทิลเอมีน (Trimethylamine; TMA)

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ค่า TMA ของกุ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C ในแต่ละชุดการทดลองมาเปรียบเทียบกัน พบว่ากุ้งทุกชุดการทดลองมีค่า TMA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ (Trimethylamine oxide; TMAO) โดยเอนไซม์ไตรเมทิลเอมีนออกซิเดส (Trimethyamine oxidase) ในจุลินทรีย์ ให้เป็น TMA (Villarreal และ Pozo, 1990 และ Barnett et al., 1991) ดังนั้นเมื่อกุ้งที่เก็บรักษาไว้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้มีค่า TMA เพิ่มสูงขึ้นด้วย จากงานวิจัยของ Dalgaard และคณะ (1993) พบว่าโดยทั่วไปสัตว์น้ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นจะมีคุณภาพไม่เหมาะสมต่อการบริโภคเมื่อมีค่า TMA เกินกว่าช่วง 10 - 15 mg TMA-N/100g ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้เกณฑ์ข้างต้นมากำหนดอายุการเก็บรักษาของกุ้งแช่เย็น โดยกุ้งที่ยังมีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการบริโภคจะต้องมีค่า

TMA ต่ำกว่า 10 mg TMA-N/100g ซึ่งจากการทดลองพบว่า กุ้งสดที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีอายุการเก็บรักษาเพียง 7 วันโดยมีค่า TMA เท่ากับ 8.87±0.13 mg TMA-N/100g ในขณะที่การเก็บกุ้งสดภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) สามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (รูปที่ 4.29) จึงส่งผลให้ชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TMA โดยมีค่าเท่ากับ 7.06±0.79 mg TMA-N/100g เมื่อเก็บรักษา 11 วัน ส่วนกุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (กระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา) และเก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 พบว่ามีอายุการเก็บรักษานานขึ้นอีกโดยมีค่าอยู่ในช่วง 14-21 วัน โดยมีค่า TMA อยู่ระหว่าง 4.27 - 8.19 mg TMA-N/100g ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการชะลอ/ ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับกุ้งตัวอย่าง (รูปที่ 4.30) ดังนั้นจึงสามารถทำหน้าที่ร่วมกับสภาวะบรรยากาศดัดแปรในการชะลอการเพิ่มของค่า TMA



รูปที่ 4.30 ค่าไตรเมทิลเอมีน (TMA) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

เมื่อพิจารณาอิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหย พบว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่แตกต่างกันมีค่า TMA แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.17) ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 4.15 - 4.16 ซึ่งพบว่าชนิดของน้ำมันหอมระเหยมีผลต่อจำนวนจุลินทรีย์และค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

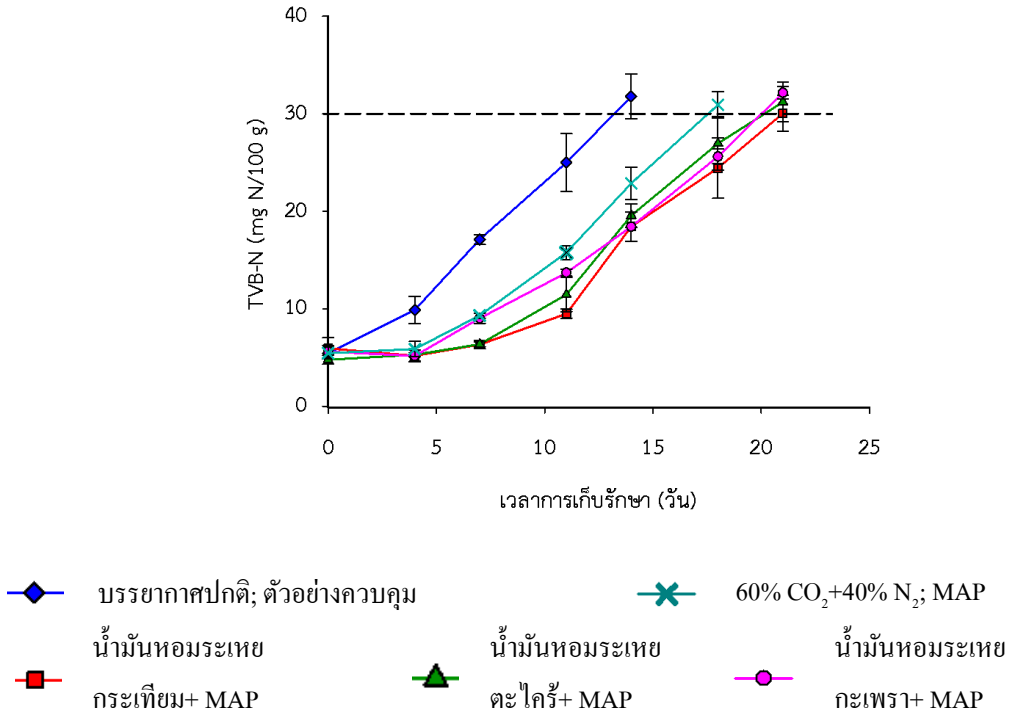
ตารางที่ 4.17 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อค่า TMA ของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

น้ำมันหอมระเหย	TMA (mg TMA-N/100g)^{ns}
กระเทียม	4.75±2.44
ตะไคร้	5.05±3.70
กะเพรา	5.50±3.41

*^{ns}แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.2.4.2.2 สารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile basic nitrogen; TVB-N)

สำหรับผลการเปรียบเทียบค่า TVB-N ของกุ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C แต่ละชุดการทดลอง พบว่าได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ค่าสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

จากผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า TVB-N สอดคล้องกับค่า TMA กล่าวคือเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ค่า TVB-N เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) ประกอบด้วยสารประกอบ TMA ไดเมทิลเอมีน (Dimethyl amine; DMA)

เมทิลเอมีน (methylamine) แอมโมเนียและสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้อื่นๆ (Dalgaard et al., 1993 และ Huss, 1995) ดังนั้นเมื่อกุ้งมีค่า TMA เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้มีค่า TVB-N เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งเมื่อใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกุ้งที่กำหนดไว้ว่า กุ้งที่ยังเหมาะสมต่อการบริโภคต้องต้องมีค่า TVB-N น้อยกว่า 30 mg N/100 g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529) มากำหนดอายุการเก็บรักษา พบว่ากุ้งสดที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีอายุการเก็บรักษา 11 วัน โดยมีค่า TVB-N เท่ากับ 24.99±2.97 mg N/100g ส่วนกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) มีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 14 วัน โดยมีค่า TVB-N เท่ากับ 22.87±1.62 mg N/100g ผลที่ได้บ่งชี้ว่าการเก็บรักษากุ้งภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TVB-N ได้มากกว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ นอกจากนี้เมื่อนำน้ำมันหอมระเหย (กระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา) มาใช้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 พบว่าจะสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TVB-N ในกุ้งได้มากขึ้นด้วย โดยมีค่าอยู่ในช่วง 24.44 - 25.95 mg N/100g ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 18 วัน ทั้งนี้พบว่าชนิดของน้ำมันหอมระเหยมีผลต่อปริมาณ TVB-N อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.18)

ตารางที่ 4.18 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อค่า TVB-N ของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

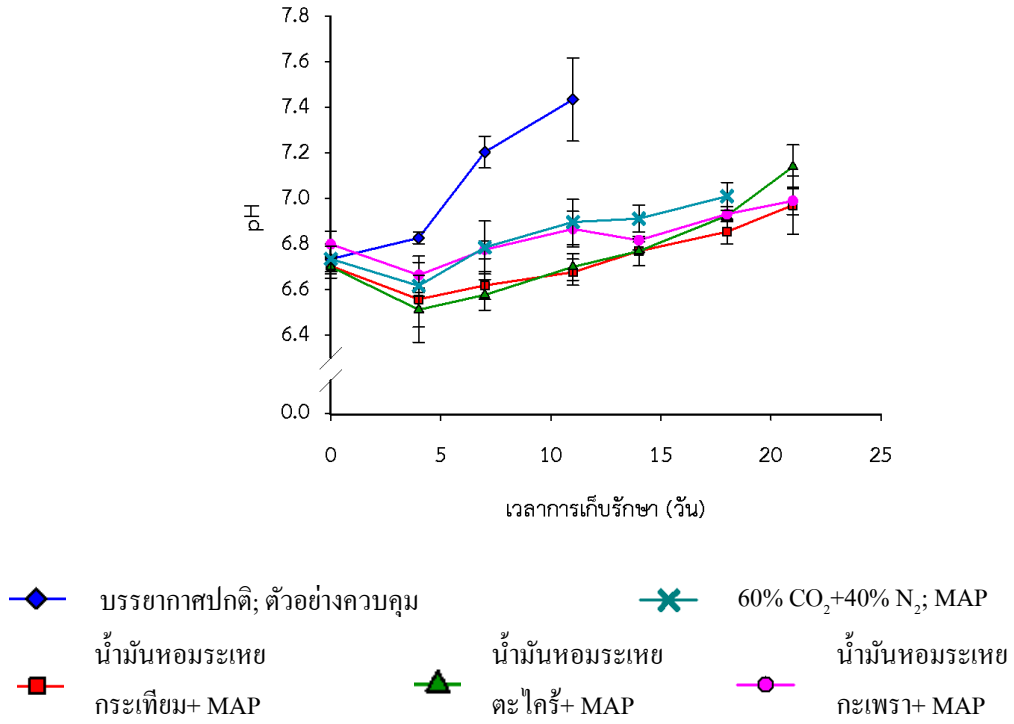
น้ำมันหอมระเหย	TVB-N (mg N/100g)^{ns}
กระเทียม	14.47±9.27
ตะไคร้	14.63±9.34
กะเพรา	15.44±9.60

*^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.2.4.2.3 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลการเปรียบเทียบค่า pH ของกุ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C ในแต่ละชุดการทดลอง พบว่ากุ้งสดที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า pH เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (รูปที่ 4.32) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 7.44±0.18 ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา สำหรับการเพิ่มขึ้นของ pH เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของสารประกอบไนโตรเจนซึ่งมีสมบัติเป็นเบสเมื่อละลายน้ำ โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นกุ้งจะมีปริมาณสารประกอบไนโตรเจนมากขึ้น (รูปที่ 4.31) สำหรับกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ

บรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) พบว่ามีแนวโน้มที่แตกต่างออกไป และมีอัตราการเปลี่ยน-แปลงของ pH ช้ากว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ กล่าวคือมีการลดลงของ pH ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา จากนั้นค่า pH จะเพิ่มขึ้น โดยกุ้งสดที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีค่า pH ลดลงเป็น 6.62±0.05 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 7.01±0.06 ภายหลังเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 21 วัน ในขณะที่กุ้งสดที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (กระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา) และเก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีค่า pH ลดลงอยู่ในช่วง 6.41 - 6.56 วันที่ 4 ของการเก็บรักษา และมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 6.97 - 7.14 ภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 21 วัน สำหรับการลดลงของค่า pH ในช่วงแรกเป็นผลจากคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ละลายในน้ำที่มีอยู่ในเนื้อกุ้ง เกิดเป็นกรดคาร์บอนิก (Sivertsvik et al., 2002; Masniyom, 2011) อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น พบว่ากุ้งสดมีค่า pH เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้เกิดสารประกอบไนโตรเจนขึ้น แต่เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้มีปริมาณ TMA และ TVB-N ซึ่งมีสมบัติเป็นเบสต่ำกว่าสภาวะที่ใช้บรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว (รูปที่ 4.30 และ 4.31 ตามลำดับ) ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่า pH ของตัวอย่างเพิ่มขึ้นช้าลง จากผลการทดลองยังพบว่าชนิดของน้ำมันหอมระเหยมีผลต่อค่า pH อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.19)



รูปที่ 4.32 ค่า pH ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

ตารางที่ 4.19 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อค่า pH ของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

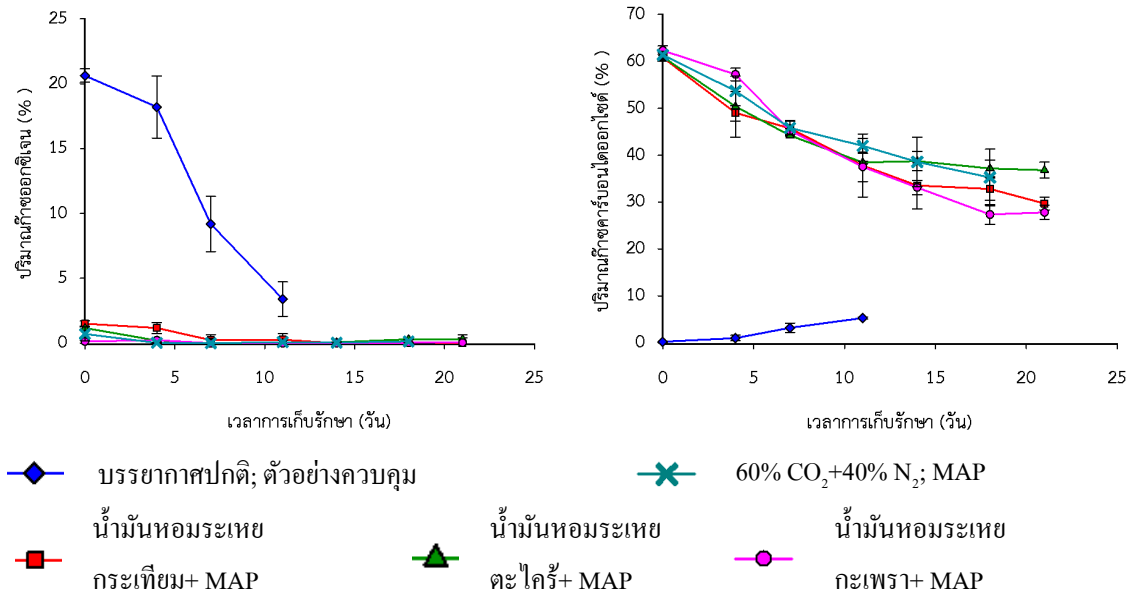
น้ำมันหอมระเหย	pH[ns]
กระเทียม	6.86±0.17
ตะไคร้	6.87±0.23
กะเพรา	6.90±0.28

*[ns] แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.2.4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

4.2.4.3.1 ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์

เมื่อนำบรรจุภัณฑ์ของกุ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C แต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ พบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.33 โดยการเก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์แตกต่างจากสภาวะบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กล่าวคือเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ติดมากับกุ้งตัวอย่างได้ใช้ออกซิเจนในการเจริญและผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (Ashie et al., 1996; Fraser และ Sumar, 1998) โดยมีปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์เปลี่ยนแปลงจาก 20.62±0.51% และ 0.24±0.13% ตามลำดับ เป็น 3.39±1.33% และ 5.30±0.25% ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 11 วัน สำหรับบรรจุภัณฑ์ของกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (กระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา) ที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) พบว่ามีปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.71 - 1.17% และ 60.80 - 60.97% ตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 0.01 - 0.30% และ 27.82 - 36.80% ตามลำดับ



รูปที่ 4.33 ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์คือความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้น รวมไปถึงการซึมผ่านของก๊าซจากบรรจุภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา (พัชรี มีชัย และ พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์, 2550) ดังนั้นสภาวะการเก็บรักษาที่ต่างกันจึงส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ทั้งนี้บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบในสภาวะบรรยากาศปกติ คือ PE มีคุณสมบัติในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็น 3804.952 cm^3/m^2.24hr.atm และ 8310 cm^3/m^2.24hr.atm ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่า nylon/PE ที่ใช้ในสภาวะบรรยากาศดัดแปร ซึ่งมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอน-ไดออกไซด์เท่ากับ 46.195 cm^3/m^2.24hr.atm และ 140 cm^3/m^2.24hr.atm ตามลำดับ ดังนั้นจึงมีปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ระหว่างบรรจุภัณฑ์ต่างกัน โดยจากการทดลองพบว่าออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ PE มีแนวโน้มลดลง ซึ่งแสดงว่าจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนบนกุ้งใช้ออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ไปในปริมาณที่มากกว่าออกซิเจนที่แพร่เข้าสู่บรรจุภัณฑ์ ในขณะที่ออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ nylon/ PE ซึ่งมีปริมาณน้อยตอนเริ่มต้นจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ PE มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นเป็นผลมาจากจุลินทรีย์ผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ออกมานั่นเอง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาอิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยพบว่ามีผลต่อปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.20) กล่าวคือการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มไปทาง

เดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะการเก็บรักษาเป็นสภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกันคือ 60% CO_2+40% N_2

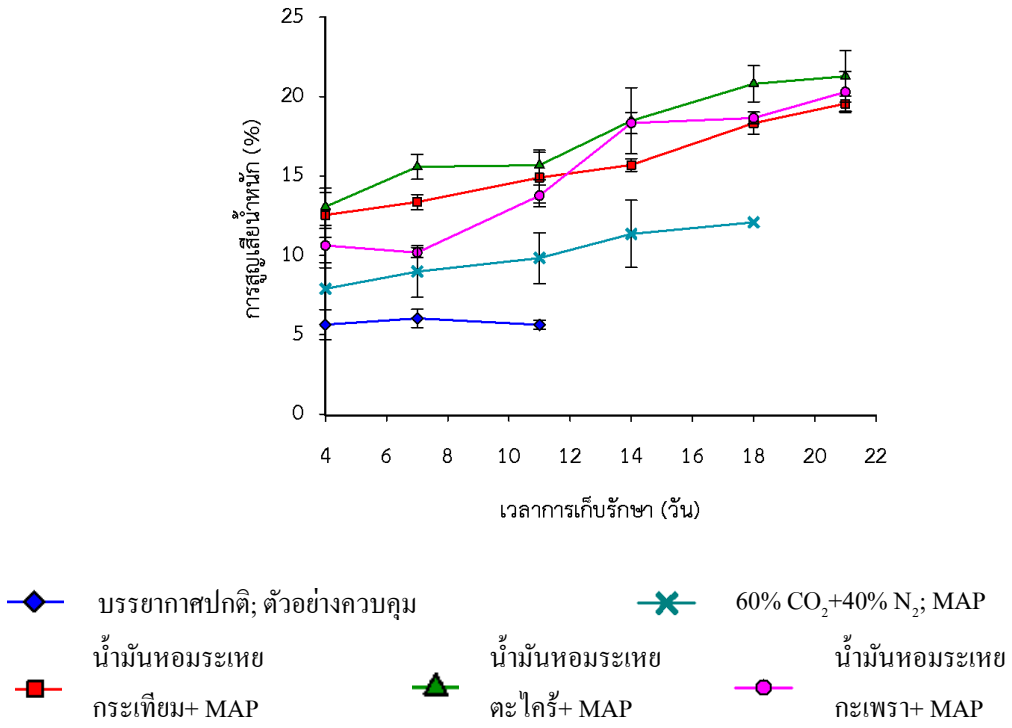
ตารางที่ 4.20 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

น้ำมันหอมระเหย	ออกซิเจน (%)^{ns}	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)^{ns}
กระเทียม	0.28±0.61	43.82±8.67
ตะไคร้	0.36±0.44	37.97±19.58
กะเพรา	0.45±0.40	41.19±11.14

*^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.2.4.3.2 การสูญเสียน้ำหนัก

เมื่อนำค่าการสูญเสียน้ำหนักของกุ้งในแต่ละชุดการทดลองมาเปรียบเทียบกัน (รูปที่ 4.34) พบว่ากุ้งสดมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเอนไซม์โปรติเอสที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อกุ้งและในจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนทำการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อกุ้ง ทำให้โปรตีนไม่สามารถอุ้มน้ำได้ (Huff-Lonergan และ Lonergan, 2005) โดยกุ้งสดที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าสภาวะอื่นๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.63±0.28% เมื่ออายุการเก็บรักษา 11 วัน สำหรับกุ้งสดที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่า มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (กระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา) ที่เก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ในช่วง 7.90 - 20.29% ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักของกุ้งสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ โดยคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ทำให้เกิดสภาวะที่เป็นกรดส่งผลทำให้โปรตีนในเนื้อกุ้งสูญเสียสภาพธรรมชาติและอุ้มน้ำได้น้อยลง (Provincial et al., 2010) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหย พบว่ากุ้งมีการสูญเสียน้ำหนักแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.21) ซึ่งเป็นผลมาจากทั้ง 3 ชุดการทดลองเก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกันคือ 60% CO_2+40% N_2 ดังนั้นจึงไม่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักของกุ้ง



รูปที่ 4.34 การสูญเสียน้ำหนักของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

ตารางที่ 4.21 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อการสูญเสียน้ำหนักของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

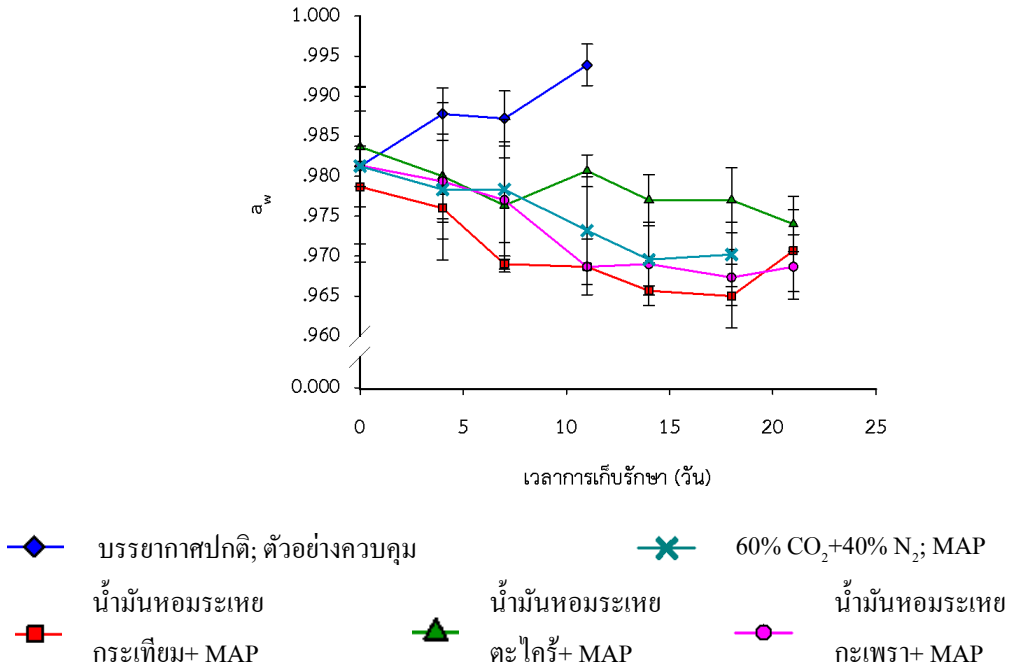
น้ำมันหอมระเหย	การสูญเสียน้ำหนัก (%)^{ns}
กระเทียม	16.63±2.44
ตะไคร้	17.46±2.41
กะเพรา	15.94±3.50

*^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.2.4.3.3 ค่า a_w

จากรูปที่ 4.35 พบว่าค่า a_w ของกุ้งสดที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติซึ่งเป็นสภาวะที่มีการเจริญของจุลินทรีย์สูงที่สุดมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.981 - 0.994 ในขณะที่กุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.970 - 0.981 ส่วนกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (กระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา) และเก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.965 - 0.984 จากผลการทดลองจะเห็นว่ากุ้งยังมีค่า a_w สูงตลอด

ช่วงอายุการเก็บรักษา ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญของแบคทีเรีย โดยกุ้งที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า a_w สูงกว่าสภาวะบรรยากาศดัดแปร ทั้งนี้เนื่องจากการที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงนั้นมีผลในการสูญเสียน้ำหนักของกุ้งมากยิ่งขึ้น โดยคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนหนึ่งในบรรจุภัณฑ์จะละลายน้ำและเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ส่งผลให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติและสูญเสียคุณสมบัติในการจับน้ำ ซึ่งอาจจะมีผลต่อปริมาณน้ำในอาหารส่วนหนึ่งสูญเสียออกมาจึงมีผลให้ปริมาณน้ำอิสระในอาหารลดลงไปด้วย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยพบว่าชนิดของน้ำมันหอมระเหยส่งผลให้ค่า a_w ของกุ้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.22) ซึ่งเป็นผลมาจากทั้ง 3 ชุดการทดลองเก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกันคือ 60% CO_2+40% N_2 ดังนั้นจึงส่งผลให้กุ้งมีการเปลี่ยนแปลงของค่า a_w ไปทางเดียวกัน



รูปที่ 4.35 ค่า a_w ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+ 40% N_2 ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

ตารางที่ 4.22 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อ a_w ของกุ้งสด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

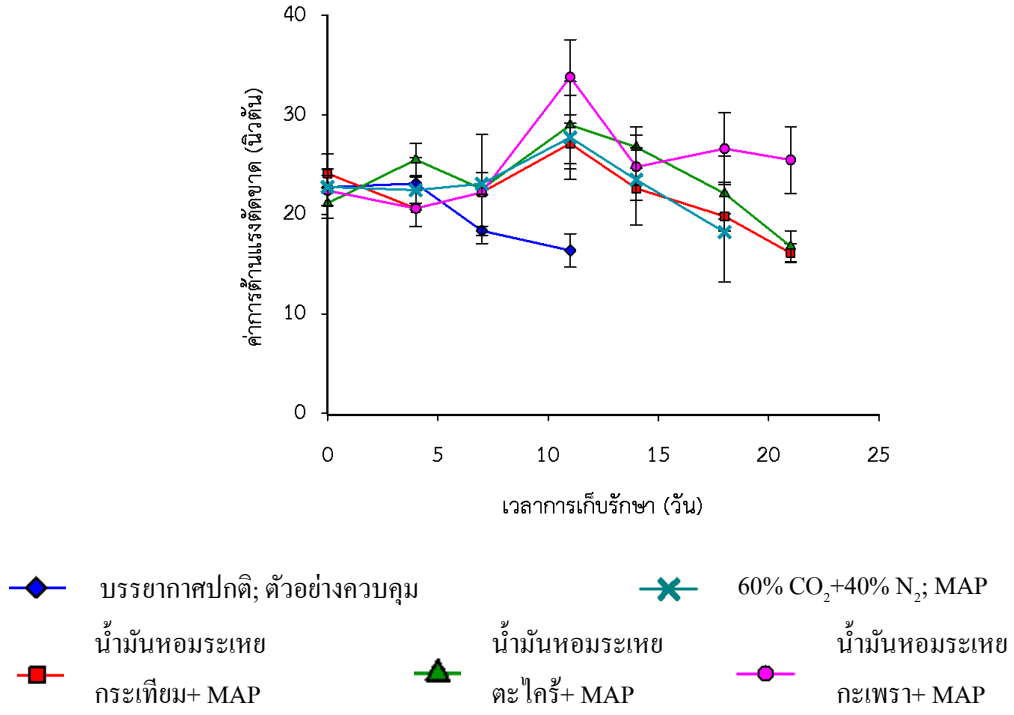
น้ำมันหอมระเหย	a_w^{ns}
กระเทียม	0.971±0.006
ตะไคร้	0.974±0.007
กะเพรา	0.973±0.008

*^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.2.4.3.4 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

เมื่อนำกุ้งในแต่ละชุดการทดลองมาศึกษาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส โดยวัดค่าในเทอมค่าการต้านแรงตัดขาด (Cutting) ผลการทดลองพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น กุ้งจะมีค่าการต้านแรงตัดขาดเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (รูปที่ 4.36) โดยกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติมีค่าการต้านแรงตัดขาดน้อยลงเท่ากับ 16.38 ± 1.67 นิวตัน ในวันที่ 11 ของการเก็บรักษา ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจากรูปที่ 4.29 จะเห็นว่ากุ้งในชุดการทดลองข้างต้นมีปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่าสภาวะอื่นๆ ดังนั้นเนื้อเยื่อจึงถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้มากกว่า เป็นผลให้มีค่าการต้านแรงตัดขาดต่ำ สำหรับการใช้สภาวะบรรยากาศดัดแปรพบว่าช่วยรักษาค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยไว้ได้ดีกว่า โดยกุ้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย (กระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา) ที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) มีค่าการต้านแรงตัดขาดอยู่ในช่วง 16.11 - 24.11 นิวตัน ในช่วงวันที่ 18 - 21 ของการเก็บรักษา สำหรับการที่ตัวอย่างที่สภาวะข้างต้นมีค่าการต้านแรงตัดขาดสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บภายใต้สภาวะบรรยากาศปกตินั้น นอกจากจะเป็นผลจากจำนวนจุลินทรีย์ที่น้อยกว่าแล้ว ยังมีสาเหตุมาจากสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่ใช้ โดยคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนหนึ่งจะละลายในน้ำที่มีอยู่ในตัวอย่าง ทำให้เกิดสภาวะที่เป็นกรด ซึ่งมีผลทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติและสูญเสียคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ และจากการที่เนื้อเยื่อกุ้งมีน้ำแทรกในปริมาณน้อยลง ส่งผลให้เนื้อเยื่ออัดตัวกันแน่นขึ้น ดังนั้นค่าการต้านแรงตัดขาดจึงมากขึ้น

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอิทธิพลของน้ำมันหอมระเหย พบว่ามีค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.23) กล่าวคือมีการเปลี่ยนแปลงไปในแนวทางเดียวกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยที่ต่างชนิดกันแต่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกัน มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของกุ้งอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงส่งผลให้กุ้งมีค่าการต้านแรงตัดขาดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.36 ค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

ตารางที่ 4.23 อิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อค่าแรงตัดขาดของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

น้ำมันหอมระเหย	ค่าการต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)^{ns}
กระเทียม	21.88^{b}±3.25
ตะไคร้	23.40^{b}±4.19
กะเพรา	22.27^{b}±3.92

*^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.2.4.3.5 คุณภาพสี

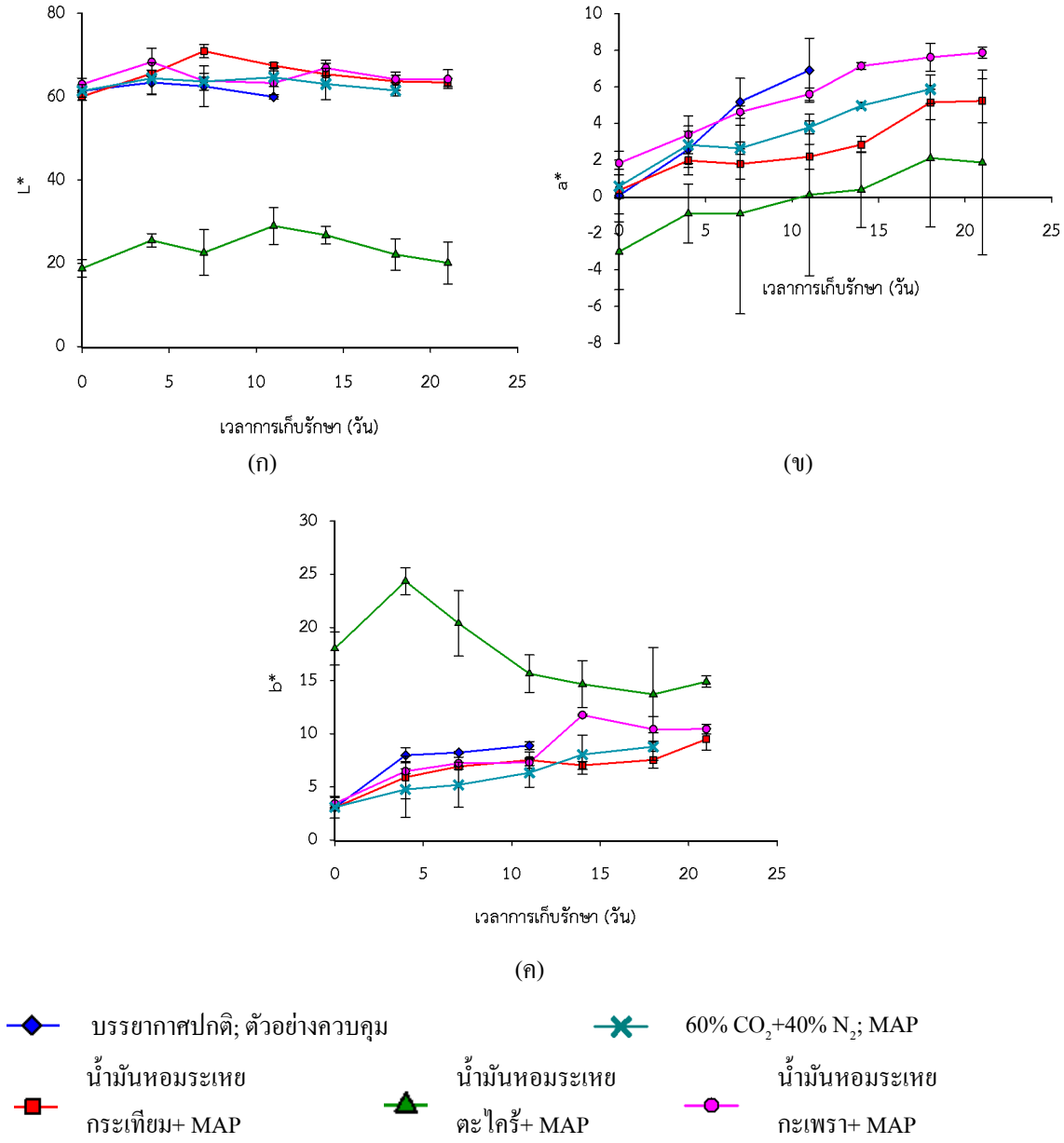
เมื่อพิจารณาคุณภาพด้านสีของกุ้งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C ในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าค่า L*, a* และ b* ของกุ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.37 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาดังนี้

ตารางที่ 4.24 การเปรียบเทียบสีของกุ้งแต่ละชุดการทดลอง

ตัวอย่าง	ความสว่าง* (L*)	ความเป็นสีแดง* (a*)	ความเป็นสีเหลือง* (b*)
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	$61.38^{b}\pm1.49$	$0.57^{b}\pm1.16$	$3.08^{a}\pm1.04$
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2; MAP	$61.38^{b}\pm1.49$	$0.57^{b}\pm1.16$	$3.08^{a}\pm1.04$
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียม + MAP	$61.29^{b}\pm1.05$	$0.81^{b}\pm0.60$	$2.78^{a}\pm0.36$
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ + MAP	$18.71^{a}\pm1.53$	$-0.31^{a}\pm1.27$	$18.01^{b}\pm1.57$
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรา + MAP	$61.26^{b}\pm0.73$	$1.84^{b}\pm0.64$	$3.43^{a}\pm0.56$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.24 พบว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีสีแตกต่างจากกุ้งในชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยมีบทบาทในการกำหนดสีหรือกลิ่นให้แตกต่างกันออกไป (Bakkali et al., 2008) โดยองค์ประกอบทางเคมีของซิตรัลในน้ำมันหอมระเหยตะไคร้เป็นสารในกลุ่มสารให้สีเหลือง จึงพบว่ากุ้งมีค่า b* (ค่า b- หมายถึงสีน้ำเงิน และ b+ หมายถึงสีเหลือง) สูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 18.01±1.57 ส่งผลให้มีค่า L* (ความสว่าง) และ a* (ค่า a- หมายถึงสีเขียวและ a+ หมายถึงสีแดง) ต่ำที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 18.71±1.53 และ 18.01±1.57 ตามลำดับ



รูปที่ 4.37 ค่าสีของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ที่อุณหภูมิ 8±2 °C ; ก: ค่าความสว่าง (L*) ข: ค่าสีแดง (a*) และ ค: ค่าสีเหลือง (b*)

สำหรับผลเปรียบเทียบค่าสีกุ้งทั้ง 4 ชุดการทดลองข้างต้นพบว่าได้ผลดังนี้

ก. ค่า L*

จากรูปที่ 4.37 ก พบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ค่า L* มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) ซึ่งออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลที่อยู่ในกุ้งในสภาวะที่มีออกซิเจนเกิดเป็นเมลานิน ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีสีคล้ำขึ้น (García-Carreño, et el., 2008) ส่วนกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) พบว่ามีค่า L* สูงกว่ากุ้งที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติ ที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้นจะช่วยชะลอการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Thepnuan, 2007) ส่งผลให้กุ้งมีสีคล้ำช้าลง สำหรับที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย กระเทียมและกะเพราที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 พบว่ากุ้งยังคงความสว่างสูงกว่า 2 ชุดการทดลองข้างต้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการนำกุ้งมาแช่น้ำมันหอมระเหย จะทำให้มีน้ำมันหอมระเหยส่วนหนึ่งเคลือบที่ผิวกุ้ง ทำให้กุ้งไม่ได้สัมผัสอากาศโดยตรง ประกอบกับเก็บรักษาที่สภาวะออกซิเจนต่ำ ดังนั้นจึงสามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากขึ้น ในขณะเดียวกันแม้ว่ากุ้งที่ผ่านการแช่ในน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีค่าความสว่างต่ำที่สุดแต่เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นพบว่ากุ้งมีค่าความสว่างค่อนข้างคงที่ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากน้ำมันหอมระเหยและสภาวะบรรยากาศดัดแปรดังที่อธิบายข้างต้นสามารถรักษาสีของกุ้งไว้ได้

ข. ค่า a*

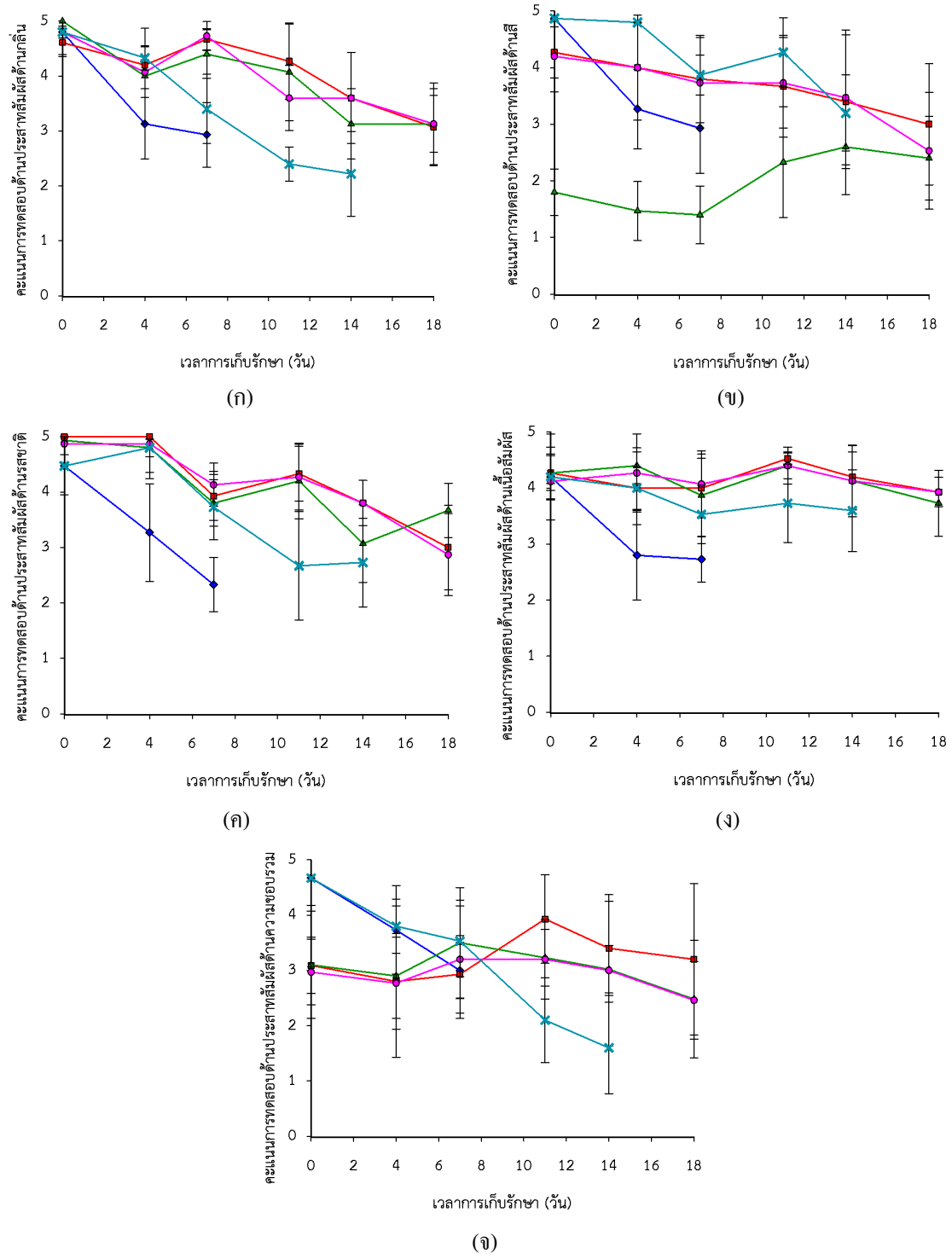
จากรูปที่ 4.37 ข กุ้งทุกชุดการทดลองที่มีค่า a* เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำประกอบด้วยไมโอโกลบิน (Myoglobin) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีม่วงแดง สามารถรวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็นออกซิไมโอโกลบิน (Oxymyoglobin) ซึ่งมีสีแดงสด (Sen, 2005) ดังนั้นกุ้งจึงมีค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น แต่เมื่อนำกุ้งแช่น้ำมันหอมระเหยและ/หรือเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) พบว่าค่า a*มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า ซึ่งอาจเป็นเพราะมีน้ำมันหอมระเหยส่วนหนึ่งเคลือบที่ผิวกุ้ง ทำให้กุ้งไม่ได้สัมผัสอากาศโดยตรง ทั้งนี้สภาวะในการเก็บรักษาเป็นสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ ดังนั้นจึงสามารถชะลอการเกิดออกซิไมโอโกลบิน ส่งผลให้กุ้งมีค่าความเป็นสีแดงน้อย

ค. ค่า b*

จากรูปที่ 4.37 ค พบว่ากุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีค่า b* เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินในกุ้ง (พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของค่า a* ที่เพิ่มขึ้น) ส่วนกุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและกะเพราที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) พบว่ามีค่า b* ต่ำกว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีน้ำมันหอมระเหยเคลือบที่ผิวกุ้งประกอบกับสภาวะที่ใช้มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินเป็นออกซิไมโอโกลบินช้าลง ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่ในน้ำมันหอมระเหยตะไคร้และเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 มีค่า b* ลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ถึงแม้ว่าการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินในกุ้ง ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่า a* ส่งผลให้ค่า b* สูงขึ้นเช่นกัน แต่การนำกุ้งมาแช่ในน้ำมันหอมระเหยตะไคร้นั้นพบว่า กุ้งมีสีเหลืองจากน้ำมันหอมระเหยตั้งแต่เริ่มต้น และในระหว่างการเก็บรักษากุ้งมีการเปลี่ยนแปลงสีที่คล้ำขึ้น ซึ่งพิจารณาจากค่า L* ที่ลดลง จึงอาจมีผลให้สีเหลืองของตัวกุ้งมีค่าลดลง

4.2.4.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8$\pm$2 ^{o}C ในแต่ละชุดการทดลอง พบว่า คุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งมีคะแนนกลิ่น สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2ที่อุณหภูมิ 8±2 °C; ก: ด้านกลิ่น, ข: ด้านสี, ค: รสชาติ, ง: เนื้อสัมผัส และ จ: ความชอบรวม

จากรูปที่ 4.38 พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) ถึงวันที่ 7 ของการเก็บรักษาเท่ากัน เนื่องจากกุ้งเริ่มมีกลิ่นอับและกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเล็กน้อย โดยมีรสชาติเปรี้ยวขึ้นและเนื้อสัมผัสเริ่มนิ่มและมีการเปื่อยยุ่ยเล็กน้อย นอกจากนี้ลักษณะของกุ้งมีสีแดงชัดเจนขึ้น ในขณะที่การแช่น้ำมันหอมระเหย (กระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา) ร่วมกับการเก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษากุ้งได้นานถึง 14 - 18 วัน โดยพิจารณาจากคะแนนการยอมรับของผู้บริโภค อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 4.38 พบว่าคะแนนการยอมรับกุ้งทั้ง 3 ชุดการทดลองลดลงในช่วงแรกของการเก็บรักษา ทั้งนี้เป็นผลมาจากกลิ่นฉุนของน้ำมันหอมระเหย แต่เมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นพบว่าคะแนนการยอมรับเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการระเหยออกไปของน้ำมันหอมระเหย ทำให้มีกลิ่นจางลง แต่เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นอีกกุ้งจะมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น สี รสชาติและเนื้อสัมผัสลดลงอีกครั้ง ซึ่งเป็นผลจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ยังหลงเหลือในกุ้งและเพิ่มจำนวนขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้จากตารางที่ 4.25 พบว่าชนิดของน้ำมันหอมระเหยมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี และความชอบโดยรวมของกุ้งสดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยผู้บริโภคให้การยอมรับกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้น้อยที่สุด ซึ่งเป็นเพราะน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ส่งผลให้กุ้งมีสีเหลืองมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยอีก 2 ชนิด จึงเป็นสาเหตุให้ผู้บริโภคให้การยอมรับน้อยลง

ตารางที่ 4.25 ชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

น้ำมันหอมระเหย	กลิ่น^{ns}	สี	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	ความชอบโดยรวม
กระเทียม	3.83±0.73	3.23^{b}±0.98	4.17±0.52	3.90±0.45	3.02^{b}±0.97
ตะไคร้	3.72±0.68	2.00^{a}±0.67	4.00±0.69	4.09±0.61	2.74^{a}±0.88
กะเพรา	3.91±0.87	3.31^{b}±0.82	4.13±0.67	4.15±0.51	3.07^{b}±0.81

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากผลเปรียบเทียบคุณสมบัติทางจุลินทรีย์ เคมี และกายภาพของกุ้งสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C ในแต่ละชุดการทดลองพบว่า การใช้น้ำมันหอมระเหยและสภาวะบรรยากาศดัดแปรมีผลต่อคุณสมบัติทางจุลินทรีย์ เคมี และกายภาพของกุ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการใช้น้ำมันหอมระเหยที่แตกต่างกันแต่เก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรเดียวกันส่งผลให้คุณสมบัติทาง

จุลินทรีย์ เคมี และกายภาพของกุ้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีค่าสีแตกต่างจากกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมและกะเพราอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) จึงส่งผลให้ผู้บริโภคให้การยอมรับน้อยที่สุด

4.3 ศึกษาผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* ที่ถูกสร้างการปนเปื้อนในกุ้ง

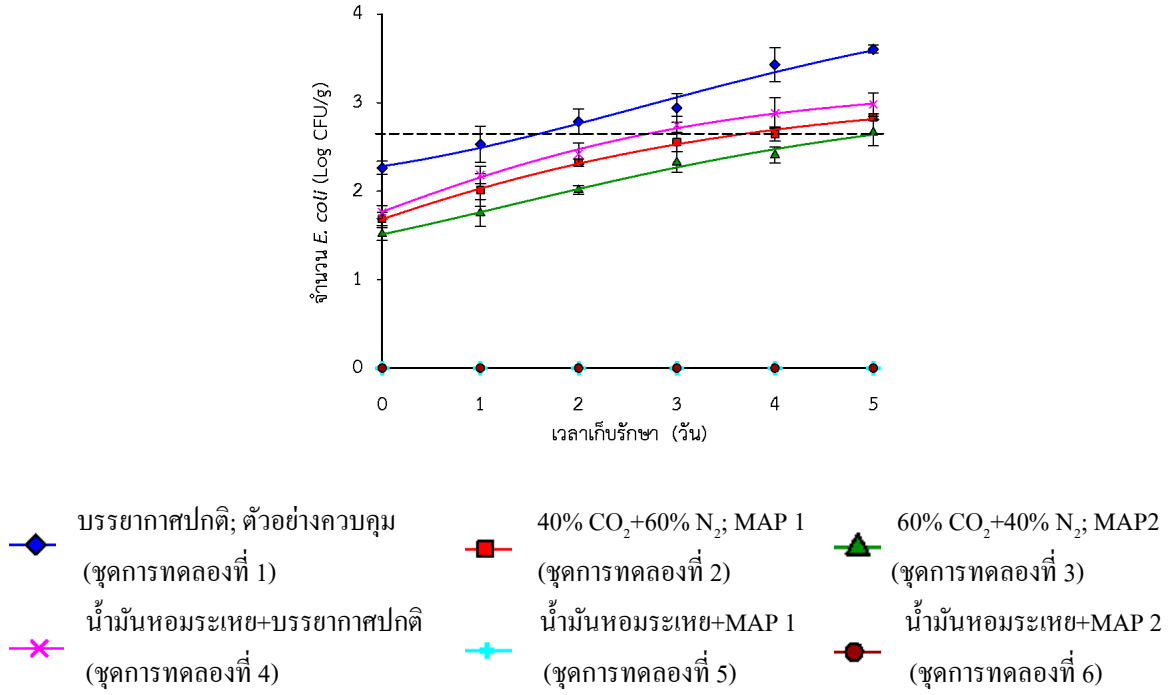
ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียม ตะไคร้และกะเพราร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* ที่ถูกสร้างการปนเปื้อนในกุ้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองในขั้นตอนที่ 4.1 พบว่า *E. coli* มีความสามารถในการต้านฤทธิ์การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหยทั้ง 3 ชนิดได้สูงที่สุด ดังนั้นจึงนำกุ้งมาสร้างการปนเปื้อน *E. coli* เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการยับยั้ง *E. coli*

4.3.1 ผลการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli*

4.3.1.1 จำนวน *E. coli*

การทดลองการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* พบว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีจำนวน *E. coli* เริ่มต้นเท่ากับ 2.26±0.07 log CFU/g (รูปที่ 4.29) โดยการใช้น้ำมันหอมระเหยและ/ หรือการเก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้ *E. coli* เริ่มต้นลดจำนวนลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม กล่าวคือกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) จำนวน *E. coli* เริ่มต้นลดลงเท่ากับ 1.76±0.40 log CFU/g แสดงว่าน้ำมันหอมระเหยกะเพรามีประสิทธิภาพในการชะลอการเจริญของ *E. coli* สำหรับกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) จำนวน *E. coli* เริ่มต้นลดลงเท่ากับ 1.69±0.11 และ 1.52±0.13 log CFU/g ตามลำดับ โดยการลดลงของ *E. coli* เริ่มต้นของกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 เป็นผลมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้สามารถชะลอการเจริญของ *E. coli* ได้ ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+ 60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5) และกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษา

ภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6) ไม่พบการเจริญของ *E. coli* ตั้งแต่เริ่มต้นของการเก็บรักษา แม้ว่าจะผ่านการสร้างการปนเปื้อนหลังจากการแช่น้ำมันหอมระเหยและนำไปบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร



รูปที่ 4.39 การเจริญของเชื้อ *E. coli* ของการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมภายใต้และสภาวะบรรยากาศดัดแปรในกุ้ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น พบว่าจำนวน *E. coli* ของกุ้งในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อใช้เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำที่กำหนดว่าตัวอย่างต้องตรวจพบจำนวน *E. coli* มีไม่เกิน 2.7 log CFU/g (ICMSF, 1986) มาพิจารณาอายุการเก็บรักษา พบว่ากุ้งในชุดการทดลองที่ 1 มีจำนวน *E. coli* เพิ่มขึ้นเป็น 2.53±0.21 log CFU/g เมื่อเก็บรักษา 1 วัน ส่วนกุ้งในชุดการทดลองที่ 4 มีจำนวน *E. coli* เพิ่มขึ้นเป็น 2.55±0.10 log CFU/g ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา ซึ่งแสดงว่าน้ำมันหอมระเหยสามารถชะลอการเจริญของ *E. coli* สำหรับกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 พบว่ามีจำนวน *E. coli* เพิ่มขึ้นเป็น 2.64±0.04 และ 2.56±0.15 log CFU/g ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์มีผลในการยืดระยะเวลาในช่วงระยะ lag phase ในขณะที่กุ้งในชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ไม่พบการเจริญของ *E. coli* ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้ *E. coli* ถูกทำลายได้หมด ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kykkidou และคณะ (2009) ที่ศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบไธม์ร่วมกับสภาวะบรรยากาศ

ดัดแปร (5% O_2+50% CO_2+45% N_2) ในการเก็บรักษาปลากระโทงดาบที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C ซึ่งผลการทดลองพบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบไธม์ร่วมกับสภาวะบรรยากาศดัดแปรมีประสิทธิภาพในการลดจำนวน *Pseudomonas* spp. และแบคทีเรียที่ผลิต H_2S อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบไธม์หรือสภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ Mejlholm และ Dalgaard (2002) พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) สามารถลดการเจริญของ *Photobacterium phosphoreum* ในปลาคอด (ที่อุณหภูมิ 2 ^{o}C) ลง 2 log CFU/g เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาปลาคอดที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรอย่างเดียว

4.3.1.2 อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดและช่วงเวลาที่เกิด lag phase ของ *E. coli*

เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองที่ 4.3.1.1 มาสร้างกราฟที่เหมาะสม (curve fitting) กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Gompertz (Zwietering et al., 1990) พบว่ามีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.8231 - 1.0000 โดยมีค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (Maximum specific growth rate: μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด lag phase (Lag phase duration: L) แสดงดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 การใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่ออัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของ *E. coli*

สภาวะ	μ_{max} (log CFU/g.วัน)	L (วัน)	R^2
บรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1)	0.30	0.58	0.9844
สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0.23	2.03	0.9864
สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0.19	2.59	0.8354
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4)	0.26	1.62	0.8231
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	-2.26	-	1.0000
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	-2.26	-	1.0000

* μ_{max}: อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด และ L: ช่วงเวลาที่เกิด lag phase

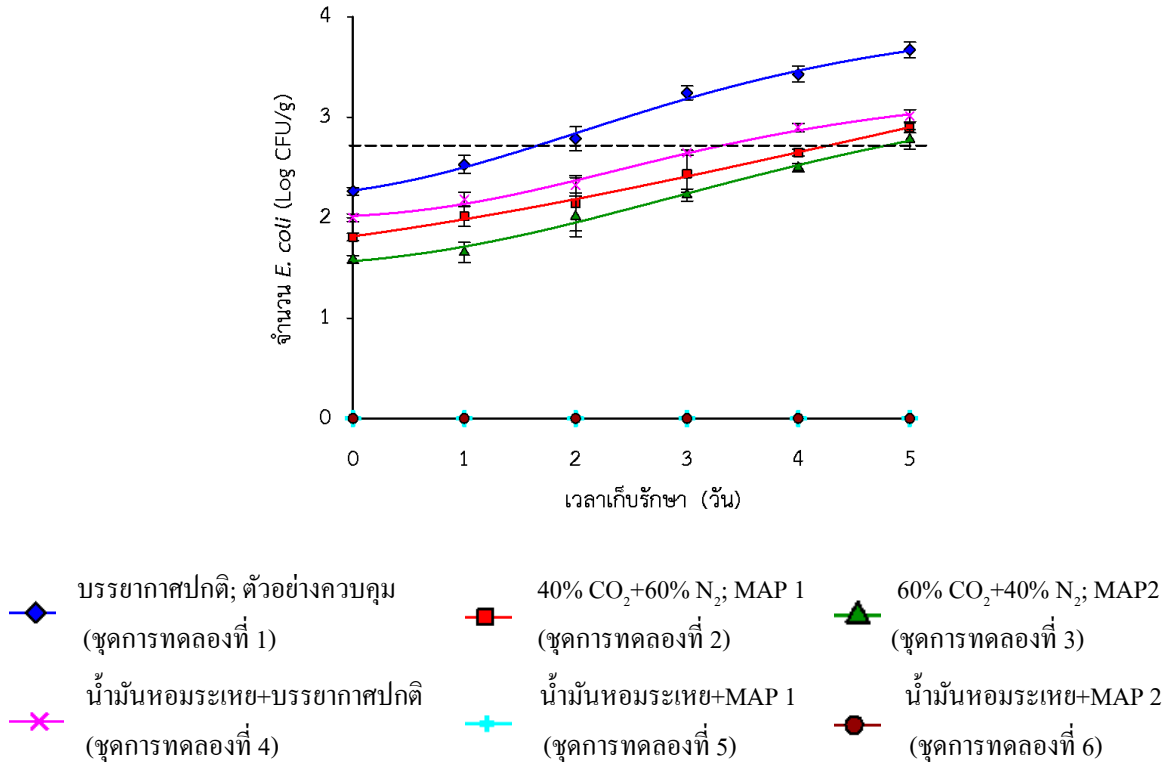
จากตารางที่ 4.26 พบว่าค่า μ_{max}ของ *E. coli* ในกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีค่าสูงที่สุด คือ 0.30 log CFU/g.วัน ในขณะที่ค่า L มีค่าต่ำสุด คือมีค่าเท่ากับ 0.58 วัน ในขณะที่ค่า μ_{max} ของ *E. coli* ในกุ้งที่ผ่านการแช่ในน้ำมันหอมระเหยกระเทียมที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) มีค่าเท่ากับ 0.26 log CFU/g.วัน และมีค่า L เท่ากับ 1.62 วัน แสดงว่าน้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ส่งผลให้มีอัตราการเจริญของ *E. coli* ลดลง โดยสามารถยืดระยะเวลาการเกิด lag phase ได้นานขึ้น จากตารางที่ 4.26 ยังพบว่าการใช้การบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (ชุดการทดลองที่ 2 และ 3) ทำให้ *E. coli* มีค่า μ_{max} ลดลง และ ค่า L มากขึ้นกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหย ซึ่งมีค่า μ_{max} อยู่ในช่วง 0.19 - 0.23 log CFU/g.วัน และค่า L อยู่ในช่วง 2.03 - 2.59 วัน ซึ่งเป็นผลมาจากคาร์บอนไดออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้ (Kimura, 1999) โดยคาร์บอนไดออกไซด์มีผลในการยืดระยะเวลาในช่วงระยะ lag phase จึงส่งผลให้อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ลดลง (McMillin, 2008) ซึ่งที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 จะมีค่า μ_{max} ของ *E. coli* สูงกว่าและมีค่า L ของ *E. coli* มากกว่าที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ในขณะที่การใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรทั้ง 2 สภาวะ (ชุดการทดลองที่ 5 และ 6) ไม่พบการเจริญของ *E. coli* ตลอดอายุการเก็บรักษา แสดงถึงการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้ *E. coli* ถูกทำลายได้หมดโดยมีอัตราการลดลงเท่ากับ 2.26 log CFU/g.วัน (วิเคราะห์ภายหลังการแช่น้ำมันหอมระเหย)

จากผลการทดลองของการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมหรือการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียวสามารถลดค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดของ *E. coli* ได้โดยมีช่วงเวลาที่เกิด lag phase มากกว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ในขณะที่การใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้ตลอดช่วงอายุการเก็บรักษา

4.3.2 ผลการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli*

4.3.2.1 จำนวน *E. coli*

การทดลองการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* แสดงรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 การเจริญของเชื้อ *E. coli* ของการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ภายใต้และสภาวะบรรยากาศดัดแปรในกุ้ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

จากรูปที่ 4.40 พบว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีจำนวน *E. coli* เริ่มต้นเท่ากับ 2.31±0.04 log CFU/g โดยการใช้น้ำมันหอมระเหยและ/ หรือการเก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้ *E. coli* เริ่มต้นลดจำนวนลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม กล่าวคือกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) จำนวน *E. coli* เริ่มต้นลดลงเท่ากับ 2.00±0.27 log CFU/g แสดงว่าน้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีประสิทธิภาพในการชะลอการเจริญของ *E. coli* สำหรับกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้

สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) จำนวน *E. coli* เริ่มต้นลดลงเท่ากับ 1.81±0.14 และ 1.59±0.20 log CFU/g ตามลำดับ โดยการลดลงของ *E. coli* เริ่มต้นของกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 เป็นผลมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้สามารถชะลอการเจริญของ *E. coli* ได้ ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+ 60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5) และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6) ไม่พบการเจริญของ *E. coli* ตั้งแต่เริ่มต้น แม้ว่าจะผ่านการสร้างการปนเปื้อนหลังจากการแช่น้ำมันหอมระเหยและนำไปบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น พบว่าจำนวน *E. coli* ของกุ้งในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อใช้เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำที่กำหนดว่าตัวอย่างต้องตรวจพบจำนวน *E. coli* มีไม่เกิน 2.7 log CFU/g (ICMSF, 1986) มาพิจารณาอายุการเก็บรักษา พบว่ากุ้งในชุดการทดลองที่ 1 มีจำนวน *E. coli* เพิ่มขึ้นเป็น 2.54±0.09 log CFU/g เมื่อเก็บรักษา 1 วัน ส่วนกุ้งในชุดการทดลองที่ 4 มีจำนวน *E. coli* เพิ่มขึ้นเป็น 2.65±0.03 log CFU/g ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ซึ่งแสดงว่าน้ำมันหอมระเหยสามารถชะลอการเจริญของ *E. coli* สำหรับกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 พบว่ามีจำนวน *E. coli* เพิ่มขึ้นเป็น 2.62±0.03 และ 2.54±0.14 log CFU/g ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์มีผลในการยืดระยะเวลาในช่วงระยะ lag phase ในขณะที่กุ้งในชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ไม่พบการเจริญของ *E. coli* ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้ *E. coli* ถูกทำลายได้หมด ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kykkidou และคณะ (2009) ที่ศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบไธม์ร่วมกับสภาวะบรรยากาศดัดแปร (5% O_2+50% CO_2+45% N_2) ในการเก็บรักษาปลากระโทงดาบที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C ซึ่งผลการทดลองพบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบไธม์ร่วมกับสภาวะบรรยากาศดัดแปรมีประสิทธิภาพในการลดจำนวน *Pseudomonas* spp. และแบคทีเรียที่ผลิต H_2S อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบไธม์หรือสภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ Mejlholm และ Dalgaard (2002) พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) สามารถลดการเจริญของ *Photobacterium phosphoreum* ในปลาคอด (ที่อุณหภูมิ 2 ^{o}C) ลง 2 log CFU/g เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาปลาคอดที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรอย่างเดียว

4.3.2.2 อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดและช่วงเวลาที่เกิด lag phase ของ *E. coli*

เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองที่ 4.3.2.1 มาสร้างกราฟที่เหมาะสม (Curve fitting) กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Gompertz (Zwietering et al., 1990) พบว่ามีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.8024 - 1.0000 โดยมีค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (Maximum specific growth rate: μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด lag phase (Lag phase duration: L) แสดงดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 การใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่ออัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของ *E. coli*

สภาวะ	μ_{max} (log CFU/g.วัน)	L (วัน)	R^2
บรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1)	0.36	0.53	0.9895
สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0.31	1.44	0.8690
สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0.24	2.03	0.8024
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4)	0.29	1.33	0.9463
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	-2.26	-	1.0000
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	-2.26	-	1.0000

* μ_{max}: อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด และ L: ช่วงเวลาที่เกิด lag phase

จากตารางที่ 4.27 พบว่าค่า μ_{max}ของ *E. coli* ในกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีค่าสูงที่สุด คือ 0.36 log CFU/g.วัน ในขณะที่ค่า L มีค่าต่ำสุด คือมีค่าเท่ากับ 0.53 วัน ในขณะที่ค่า μ_{max} ของ *E. coli* ในกุ้งที่ผ่านการแช่ในน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) มีค่าเท่ากับ 0.29 log CFU/g.วัน และมีค่า L เท่ากับ 1.33 วัน แสดงว่าน้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ส่งผลให้มีอัตราการเจริญของ *E. coli* ลดลง โดยสามารถยืดระยะเวลาการเกิด lag phase ได้นานขึ้น จากตารางที่ 4.27 ยังพบว่าการใช้การบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (ชุดการทดลองที่ 2 และ 3) ทำให้ *E. coli* มีค่า μ_{max} ลดลง และ ค่า L มากขึ้นกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหย ซึ่งมีค่า μ_{max} อยู่ในช่วง 0.24 - 0.31 log CFU/g. วัน และค่า L อยู่ในช่วง 1.44 - 2.03 วัน ซึ่งเป็นผลมาจากคาร์บอนไดออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้ (Kimura, 1999) โดยคาร์บอนไดออกไซด์มีผลในการยืดระยะเวลาในช่วงระยะ lag

phase จึงส่งผลให้อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ลดลง (McMillin, 2008) ซึ่งที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 จะมีค่า μ_{max} ของ *E. coli* สูงกว่าและมีค่า L ของ *E. coli* มากกว่าที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ในขณะที่การใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรทั้ง 2 สภาวะ (ชุดการทดลองที่ 5 และ 6) ไม่พบการเจริญของ *E. coli* ตลอดอายุการเก็บรักษา แสดงถึงการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้ *E. coli* ถูกทำลายได้หมดโดยมีอัตราการลดลงเท่ากับ 2.26 log CFU/g.วัน (วิเคราะห์ภายหลังการแช่น้ำมันหอมระเหย)

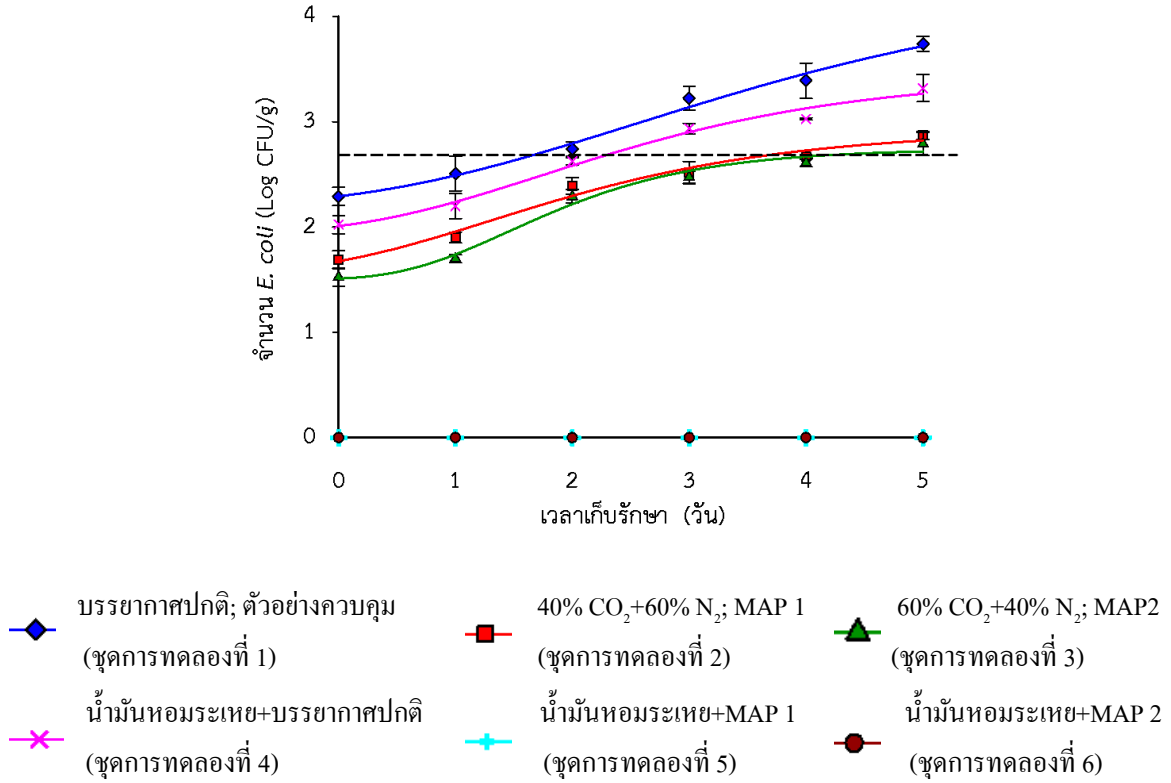
จากผลการทดลองของการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้หรือการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียวสามารถลดค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดของ *E. coli* ได้โดยมีช่วงเวลาที่เกิด lag phase มากกว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ในขณะที่การใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้ตลอดช่วงอายุการเก็บรักษา

4.3.3 ผลการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli*

4.3.3.1 จำนวน *E. coli*

การทดลองการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* แสดงรูปที่ 4.41 โดยผลการทดลองพบว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีจำนวน *E. coli* เริ่มต้นเท่ากับ 2.29$\pm$0.09 log CFU/g โดยการใช้น้ำมันหอมระเหยและ/ หรือการเก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้ *E. coli* เริ่มต้นลดจำนวนลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม กล่าวคือกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) จำนวน *E. coli* เริ่มต้นลดลงเท่ากับ 2.02$\pm$0.19 log CFU/g แสดงว่าน้ำมันหอมระเหยกะเพรามีประสิทธิภาพในการชะลอการเจริญของ *E. coli* สำหรับกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2) และ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3) จำนวน *E. coli* เริ่มต้นลดลงเท่ากับ 1.69$\pm$0.11 และ 1.52$\pm$0.10 log CFU/g ตามลำดับ โดยการลดลงของ *E. coli* เริ่มต้นของกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 เป็นผลมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้สามารถชะลอการเจริญของ *E. coli* ได้ ในขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 40% CO_2+ 60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5) และกุ้งที่ผ่านการแช่

น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6) ไม่พบการเจริญของ *E. coli* ตั้งแต่เริ่มต้น แม้ว่าจะผ่านการสร้างการปนเปื้อนหลังจากการแช่น้ำมันหอมระเหยและนำไปบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร



รูปที่ 4.41 การเจริญของเชื้อ *E. coli* ของการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราภายใต้และสภาวะบรรยากาศดัดแปรในกุ้ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น พบว่าจำนวน *E. coli* ของกุ้งในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อใช้เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำที่กำหนดว่าตัวอย่างต้องตรวจพบจำนวน *E. coli* มีไม่เกิน 2.7 log CFU/g (ICMSF, 1986) มาพิจารณาอายุการเก็บรักษา พบว่ากุ้งในชุดการทดลองที่ 1 มีจำนวน *E. coli* เพิ่มขึ้นเป็น 2.51±0.17 log CFU/g เมื่อเก็บรักษา 1 วัน ส่วนกุ้งในชุดการทดลองที่ 4 มีจำนวน *E. coli* เพิ่มขึ้นเป็น 2.62±0.05 log CFU/g ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา ซึ่งแสดงว่าน้ำมันหอมระเหยสามารถชะลอการเจริญของ *E. coli* สำหรับกุ้งในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 พบว่ามีจำนวน *E. coli* เพิ่มขึ้นเป็น 2.42±0.16 และ 2.54±0.06 log CFU/g ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์มีผลในการยืดระยะเวลาในช่วงระยะ lag phase ในขณะที่กุ้งในชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ไม่พบการเจริญของ *E. coli* ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะ

บรรยากาศดัดแปรส่งผลให้ *E. coli* ถูกทำลายได้หมด ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kykkidou และคณะ (2009) ที่ศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบไธม์ร่วมกับสภาวะบรรยากาศดัดแปร (5% O_2+50% CO_2+45% N_2) ในการเก็บรักษาปลากระโทงดาบที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C ซึ่งผลการทดลองพบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบไธม์ร่วมกับสภาวะบรรยากาศดัดแปรมีประสิทธิภาพในการลดจำนวน *Pseudomonas* spp. และแบคทีเรียที่ผลิต H_2S อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบไธม์หรือสภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ Mejlholm และ Dalgaard (2002) พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยออริกาโนร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (60% CO_2+40% N_2) สามารถลดการเจริญของ *Photobacterium phosphoreum* ในปลาคอด (ที่อุณหภูมิ 2 ^{o}C) ลง 2 log CFU/g เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาปลาคอดที่สภาวะบรรยากาศดัดแปรอย่างเดียว

4.3.3.2 อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดและช่วงเวลาที่เกิด lag phase ของ *E. coli*

เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองที่ 4.3.3.1 มาสร้างกราฟที่เหมาะสม (curve fitting) กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Gompertz (Zwietering et al., 1990) พบว่ามีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.9123 - 1.0000 โดยมีค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (Maximum specific growth rate: μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด lag phase (Lag phase duration: L) แสดงดังตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 การใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่ออัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของ *E. coli*

สภาวะ	μ_{max} (log CFU/g.วัน)	L (วัน)	R^2
บรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1)	0.38	0.63	0.9505
สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0.23	1.45	0.9998
สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0.21	1.81	0.9306
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4)	0.31	1.10	0.9123
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	-2.26	-	1.0000
น้ำมันหอมระเหยที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	-2.26	-	1.0000

* μ_{max}: อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด และ L: ช่วงเวลาที่เกิด lag phase

จากตารางที่ 4.28 พบว่าค่า μ_{max}ของ *E. coli* ในกุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) มีค่าสูงที่สุด คือ 0.38 log CFU/g.วัน ในขณะที่ค่า L มีค่าต่ำสุด คือมีค่าเท่ากับ 0.63 วัน ในขณะที่ค่า μ_{max} ของ *E. coli* ในกุ้งที่ผ่านการแช่ในน้ำมันหอมระเหยกะเพราที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดการทดลองที่ 4) มีค่าเท่ากับ 0.31 log CFU/g.วัน และมีค่า L เท่ากับ 1.10 วัน แสดงว่าน้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ส่งผลให้มีอัตราการเจริญของ *E. coli* ลดลง โดยสามารถยืดระยะเวลาการเกิด lag phase ได้นานขึ้น จากตารางที่ 4.28 ยังพบว่าการใช้การบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (ชุดการทดลองที่ 2 และ 3) ทำให้ *E. coli* มีค่า μ_{max} ลดลง และ ค่า L มากขึ้นกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหย ซึ่งมีค่า μ_{max} อยู่ในช่วง 0.21 - 0.23 log CFU/g.วัน และค่า L อยู่ในช่วง 1.45 - 1.81 วัน ซึ่งเป็นผลมาจากคาร์บอนไดออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้ (Kimura, 1999) โดยคาร์บอนไดออกไซด์มีผลในการยืดระยะเวลาในช่วงระยะ lag phase จึงส่งผลให้อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ลดลง (McMillin, 2008) ซึ่งที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 จะมีค่า μ_{max} ของ *E. coli* สูงกว่าและมีค่า L ของ *E. coli* มากกว่าที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ในขณะที่การใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรทั้ง 2 สภาวะ (ชุดการทดลองที่ 5 และ 6) ไม่พบการเจริญของ *E. coli* ตลอดอายุการเก็บรักษา แสดงถึงการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรส่งผลให้ *E. coli* ถูกทำลายได้หมดโดยมีอัตราการลดลงเท่ากับ 2.26 log CFU/g.วัน (วิเคราะห์ภายหลังการแช่น้ำมันหอมระเหย)

จากผลการทดลองของการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราหรือการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพียงอย่างเดียวสามารถลดค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดของ *E. coli* ได้โดยมีช่วงเวลาที่เกิด lag phase มากกว่ากุ้งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ในขณะที่การใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้ตลอดช่วงอายุการเก็บรักษา

4.3.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดในการยับยั้งการเจริญ *E. coli*

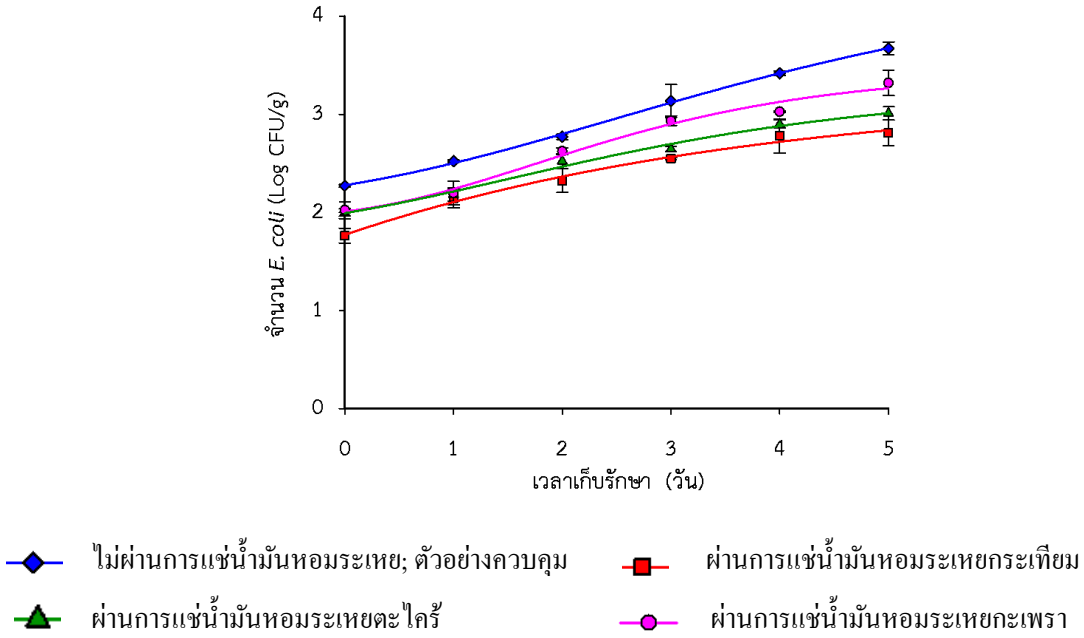
จากการทดลองที่ 4.3.1 - 4.3.3 ซึ่งศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร พบว่ากุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและถูกสร้างการปนเปื้อนด้วย *E.coli* ที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรไม่พบการเจริญของ *E. coli* ตลอดช่วงอายุการเก็บรักษา

อย่างไรก็ตามเนื่องจากยังขาดข้อมูลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้น้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดต่อจำนวน *E. coli* ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงนำเอาข้อมูลจากการทดลองที่ 4.3.1 - 4.3.3 มาวิเคราะห์ ซึ่งได้ผลดังนี้

4.3.2.1 จำนวน *E. coli*

จากรูปที่ 4.42 พบว่าการนำกุ้งแช่ในน้ำมันหอมระเหยส่งผลให้ *E. coli* เริ่มต้นลดจำนวนลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม แสดงถึงน้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพในการชะลอการเจริญของ *E. coli* และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น พบว่าจำนวน *E. coli* ของกุ้งทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยกุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติมีจำนวน *E. coli* เพิ่มขึ้นสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.67 ± 0.07 log CFU/g เมื่อเก็บรักษา 5 วัน ในขณะที่การใช้น้ำมันหอมระเหยสามารถลดจำนวน *E. coli* ลงได้อยู่ในช่วง 2.94 - 3.35 log CFU/g เมื่อเก็บรักษา 5 วันเท่ากัน ซึ่งการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมสามารถลดจำนวน *E. coli* ลงมากที่สุด รองลงมาเป็นน้ำมันหอมระเหยตะไคร้และกะเพรา ตามลำดับ

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) พบว่าค่า μ_{max} และค่า L ของ *E. coli* ในกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยทุกชนิดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.29) โดยการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมส่งผลให้ *E. coli* มีค่า μ_{max} ต่ำที่สุดและมีค่า L นานที่สุด (ตารางที่ 4.29) โดยมีค่าเท่ากับ 0.26 log CFU/g.วัน และ 1.62 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาอิทธิพลชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อการเจริญของ *E. coli* พบว่าชนิดของน้ำมันหอมระเหยมีผลต่อจำนวน *E. coli* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.30) โดยน้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 4.1 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ที่สุด โดยใช้ความเข้มข้นน้อยและเวลาสั้นที่สุด จึงจะสามารถทำลาย *E. coli* ได้หมด



รูปที่ 4.42 จำนวน *E. coli* ของกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยและนำมาสร้างการปนเปื้อน เก็บรักษาภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

ตารางที่ 4.29 การเปรียบเทียบค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และช่วงเวลาที่เกิด Lag phase (L) ของ *E. coli* ที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากกุ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

ชุดการทดลอง	μ_{max} (log CFU/g.วัน)	L (วัน)
สภาวะควบคุม	0.38^{c}	0.58^{a}
น้ำมันหอมระเหยกระเทียมที่สภาวะบรรยากาศปกติ	0.26^{a}	1.62^{d}
น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่สภาวะบรรยากาศปกติ	0.29^{a}	1.33^{c}
น้ำมันหอมระเหยกะเพราที่สภาวะบรรยากาศปกติ	0.31^{a}	1.10^{b}

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.30 ชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่อการเจริญของ *E. coli* ที่ถูกปนเปื้อนในกุ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C

น้ำมันหอมระเหย	จำนวน *E. coli* (log CFU/g)
กระเทียม	2.39^{a}±0.40
ตะไคร้	2.54^{b}±0.42
กะเพรา	2.69^{c}±0.51

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง คือขั้นตอนแรกได้ศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ กระเทียม ตะไคร้ และกะเพรา ขั้นตอนที่ 2 เป็นการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรเพื่อยืดอายุการเก็บรักษากุ้งแช่เย็นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C โดยแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ในการบรรจุเป็น 2 ระดับคือ 40% CO_2+ 60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2 เปรียบเทียบกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ (สภาวะควบคุม) ส่วนขั้นตอนสุดท้ายเป็นการศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* ที่ถูกสร้างการปนเปื้อนในกุ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 °C ผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ดังนี้

5.1.1 น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ และกะเพรา ตามลำดับ โดยน้ำมันหอมระเหยกระเทียมมีค่า MIC/MBC ในการยับยั้ง *Escherichia coli, Staphylcoccus aureus, Salmonella* Typhimurium, *Vibrio parahaemolyticus* และ *Shewanella putrefaciens* เป็น 5/15, 2.5/5, 5/10, 2.5/10 และ 5/10 mg/mL ตามลำดับ ในส่วนของการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำมันหอมระเหย พบว่าค่า D ของน้ำมันหอมระเหยกระเทียมของเชื้อ *E. coli* มีค่ามากที่สุด โดยมีค่า D ในช่วง 1.05 - 1.75 ชั่วโมง รองลงมาเป็น *S. putrefaciens* มีค่า D ในช่วง 0.95 - 1.57 ชั่วโมง *S.* Typhimurium มีค่า D ในช่วง 0.87 - 1.51 ชั่วโมง *V. parahaemolyticus* ค่า D ในช่วง 0.86 - 1.43 ชั่วโมง และ *S. aureus* มีค่า D ในช่วง 0.58-1.02 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีค่า Z สำหรับเชื้อจุลินทรีย์ข้างต้นเท่ากับ 7.57, 7.53, 7.52, 6.33 และ 5.88 mg/mL ตามลำดับ

5.1.2 การใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรสามารถยืดอายุการเก็บรักษากุ้งได้อย่างมีนัยสำคัญ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ การใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ส่วนชนิดของน้ำมันหอมระเหยมีผลต่อคุณภาพของกุ้งอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยกุ้งตัวอย่างที่เก็บรักษาที่สภาวะนี้มีอายุการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 14 - 18 วัน โดยมีค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดและช่วงเวลาการเกิด lag phase ของจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 0.23 - 0.26 log CFU/g.วัน และ 4.93 - 6.71 วัน ตามลำดับ ค่า TMA อยู่ในช่วง 6.23 - 8.19 mg TMA-N/100g, ค่า pH อยู่ในช่วง 6.97 - 7.14 และค่าการต้านแรงตัดขาดอยู่ในช่วง 16.11 - 24.11 นิวตัน ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา

5.1.3 กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับเก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ได้รับคะแนนทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด รองลงมาคือกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยกะเพรา สำหรับกุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ได้รับคะแนนการยอมรับต่ำที่สุด เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ส่งผลให้กุ้งมีสีเหลืองมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันหอมระเหยอีก 2 ชนิด

5.1.4 การศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* ที่ถูกสร้างการปนเปื้อน พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียม ตะไคร้ และกะเพราส่งผลให้ *E. coli* มีค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.26, 0.29 และ 0.31 log CFU/g.วัน ตามลำดับ โดยมีช่วงเวลาการเกิด lag phase เท่ากับ 1.62, 1.33 และ 1.10 วัน ตามลำดับ ส่วนการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร (40% CO_2+60% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2) ส่งผลให้ค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดและช่วงเวลาการเกิด lag phase ของ *E. coli* อยู่ในช่วง 0.19 - 0.31 log CFU/g.วัน และ 1.44 - 2.59 วัน ตามลำดับ ในขณะที่การใช้น้ำมันหอมระเหยทั้ง 3 ชนิดร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรทั้ง 2 สภาวะไม่พบการเจริญของ *E. coli* ตลอดอายุการเก็บรักษา

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลสัมฤทธิ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ทำให้เห็นความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันหอมระเหยมาใช้ในอาหาร แต่เนื่องจากอาหารแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันทั้งในด้านองค์ประกอบในอาหาร ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพื่อคัดเลือกชนิดและความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่เหมาะสมในอาหารแต่ละชนิดต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กรภัทร์ อคะรินทร์, 2552, **ส่งออกกุ้งไทยยังคงเติบโตต่อเนื่อง** [Online], Available: http://www.tnnthailand.com/news/details.php?id=6118 [26 มิถุนายน 2555].

งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2538, **ก๊าซกับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร**, โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, หน้า 17-40.

เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา, ภาวนา อัศวประภา และวรพจน์ สุวจิตตานนท์, 2543, **คู่มือพืชสมุนไพรและเครื่องเทศ ชุดที่ 3: พืชสมุนไพรน้ำมันหอมระเหย**, กลุ่มพืชสมุนไพรและเครื่องเทศ กองส่งเสริมพืชสวนกรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพมหานคร, หน้า 1-7.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ และ พรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547, **อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย**, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพมหานคร, หน้า 1-206.

ดวงฤดี หวั้นหนู, อรพิน เกิดชูชื่น, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และศิริวรรณ ตั้งแสงประทีป, 2553, "องค์ประกอบทางเคมีและประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหย 5 ชนิด", **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, ปีที่ 41, ฉบับที่ 3/1 (พิเศษ), กันยายน-ธันวาคม, หน้า 633-636.

เนตรนรินทร์ ขุนสูงเนิน, 2546, **การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อปลานิลซึ่งเก็บรักษาภายใต้การปรับเปลี่ยนบรรยากาศ**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, หน้า 20.

บัญญัติ สุขศรีงาม, 2518, **ประสิทธิภาพของเครื่องเทศบางชนิดในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 43-56.

ปทุม อรุณวัชรินทร์, อาภากร สุภาพิพัฒน์ และจิตศิริ ราชตนะพันธุ์, 2550, "การยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทย", **การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45**, 30 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2550, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, หน้า 508-515.

พัชรี มีชัย และ พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์, 2550, “ผลของสัดส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนต่ออายุการเก็บรักษาลูกชิ้นปลานิลที่เก็บภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร”, **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.**, ปีที่ 30, ฉบับที่ 3, กรกฎาคม-กันยายน, หน้า 449-462.

พายัพ มาศนิยม, สุธิดา คงทอง, จารุวรรณ มณีศรี และ อมมี เบญจมะ, 2552, “ผลร่วมของน้ำมันตะไคร้และการบรรจุดัดแปลงบรรยากาศต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของหอยแมลงภู่”, **การประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี**, 4 กรกฎาคม 2552, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, หน้า 1-12.

มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2549, “ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยสินค้าเกษตรและอาหาร”, **สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกระทรวงเกษตรและสหกรณ์** [Electronic], เล่มที่ 123 ตอนพิเศษ 7ง, หน้า 1-37, Available: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [12 กันยายน 2555].

มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2550, “มาตรฐานกุ้งขาวแวนนาไม”, **สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกระทรวงเกษตรและสหกรณ์** [Electronic], เล่มที่ 125 ตอนพิเศษ 3ง, หน้า 1-7, Available: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [12 กันยายน 2555].

วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม, 2542, **พจนานุกรมสมุนไพรไทย**, สำนักพิมพ์รวมสาส์น, กรุงเทพมหานคร, หน้า 1-215.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529, “กุ้งเยือกแข็ง”, **กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร, หน้า 1-24,

Adegoke, G.O. and Odesola, B.A., 1996, “Storage of Maize and Cowpea and Inhibition of Microbial Agents of Biodeterioration Using the Powder and Essential Oil of Lemon Grass (*Cymbopogon citratus*)”, **International Biodeterioration and Biodegradation**, Vol. 37, No. 2, pp. 81-84.

Aiemsaard, J., Aiumlamai, S., Aromdee, C., Taweechaisupapong, S. and Khunkitti, W., 2011, "The Effect of Lemongrass Oil and Its Major Components on Clinical Isolate Mastitis Pathogens and their Mechanisms of Action on *Staphylococcus aureus* DMST 4745", **Research in Veterinary Science**, Vol. 91, No. 3, pp. e31-e37.

Akin-Osanaiye, B.C., Agbaji, A.S. and Dakare, M.A., 2007, "Antimicrobial Activity of Oils and Extracts of *Cymbopogon citratus* (Lemon Grass), *Eucalyptus citriodora* and *Eucalyptus Camaldulensis*", **Journal of Medical Sciences**, Vol. 7, No. 4, pp. 694-697.

Allen, C.D., Fletcher, D.L., Northcutt, J.K. and Russell, S.M., 1998, "The Relationship of Broiler Breast Color to Meat Quality and Shelf-Life", **Poultry Science**, Vol. 77, No. 2, pp. 361-366.

Ankri, S. and Mirelman, D., 1999, "Antimicrobial Properties of Allicin from Garlic", **Microbes and Infection**, Vol. 1, No. 2, pp. 125-129.

AOAC, 1995, **Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists**, 16th ed., Washington, DC.

Ashie, I.N., Smith, J.P. and Simpson, B.K., 1996, "Spoilage and Shelf-life Extension of Fresh Fish and Shellfish", **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Vol. 36, No. 1, pp. 87-121.

Atrea, I., Papavergou, A., Amvrosiadis, I. and Savvaidis, I.N., 2009, "Combined Effect of Vacuum-Packaging and Oregano Essential Oil on the Shelf-Life of Mediterranean Octopus (*Octopus vulgaris)* from the Aegean Sea Stored at 4^{o}C", **Food Microbiology**, Vol. 26, No. 2, pp. 166-172.

Ayoola, G.A., Lawore, F.M., Adelowotan, T., Aibinu, I.E., Adenipekun, E., Coker, H.A.B. and Odugbemi, T.O., 2008, "Chemical Analysis and Antimicrobial Activity of the Essential oil of *Syzigium aromaticum* (Clove)", **African Journal of Microbiology Research**, Vol. 2, No. 1, pp. 162-166.

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D. and Idaomar, M., 2008, "Biological Effects of Essential Oils", **Food and Chemical Toxicology**, Vol. 46, No. 2, pp. 446-475.

BAM, 2002, **Bacteriological Analytical Manual chapter 3; US Food and Drug Administration** [Online], Available: http://www.fda.gov/Food/ScienceResearch/LaboratoryMethods/BacteriologicalAnalyticalManualBAM/ucm063346.htm [2012, January, 7].

Banks, H., Nickelson, R. and Finne, G., 1980, "Shelf-Life Studies on Carbon Dioxide Packaged Finfish from the Gulf of Mexico", **Journal of Food Science,** Vol. 45, No. 2, pp. 157-162.

Barnett, H.J., Conrad, J.W. and Nelson, R.W., 1981, "Use of Laminated High and Low Density Polyethylene Flexible Package to Store Trout (*Salmo Gairdneri*) in a Modified Atmosphere", **Journal of Food Science**, Vol. 50, No. 8, pp. 645-651.

Bezic, N., Skocibusic, M., Dinkic, V. and Radonic, A., 2003, "Composition and Antimicrobial Activity of *Achillea clavennae* L. Essential Oil", **Phytotherapy Research**, Vol. 17, No. 9, pp. 1037-1040.

Blakistone, B.A., 1998, "Introduction", In **Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods**, 2nd ed, Blakistone, B.A. (Ed.), An Aspen Publication Gaithersburg, Maryland, pp. 1-301.

Boskou, G. and Debevere, J., 1997, "Reduction of Trimethylamine Oxide by *Shewanella* spp. under Modified Atmospheres in Vitro", **Food Microbiology**, Vol. 14, No. 6, pp. 543-553.

Boskou, G. and Debevere, J., 1998, "In Vitro Study of TMAO Reduction by *Shewanella putrefaciens* Isolated from Cod Fillets Packed in Modified Atmosphere", **Food Additives and Contaminants**, Vol. 15, No. 2, pp. 229-236.

Boskou, G. and Debevere, J., 2000, "Shelf-Life Extension of Cod Fillets with Acetate Buffer Spray Prior to Packaging under Modified Atmospheres", **Food Additives and Contaminants**, Vol. 17, No. 1, pp. 17-25.

Burt, S., 2004, "Essential oils: their Antibacterial Properties and Potential Applications in Foods-a Review", **International Journal of Food Microbiology**, Vol. 94, No. 1, pp. 223-253.

Cadun, A., KıŞla, D. and Çakli, S., 2008, "Marination of Deep-Water Pink Shrimp with Rosemary Extract and the Determination of Its Shelf-Life", **Food Chemistry**, Vol. 109, No. 1, pp. 81-87.

Chinivasagam, H.N., Bremner, H.A., Wood, A.F. and Nottingham, S.M., 1998, "Volatile Components Associated with Bacterial Spoilage of Tropical Prawns", **International Journal of Food Microbiology**, Vol. 42, No. 1, pp. 45-55.

Chouliara, E., Karatapanis, A., Savvaidis, I.N. and Kontominas, M.G., 2007, "Combined Effect of Oregano Essential Oil and Modified Atmosphere Packaging on Shelf-Life Extension of Fresh Chicken Breast Meat Stored at 4^{o}C", **Food Microbiology**, Vol. 24, No. 6, pp. 607-617.

Church, N., 1994, "Developments in Modified-Atmosphere Packaging and Related Technologies", **Trends in Food Science and Technology**, Vol. 5, No. 11, pp. 345-352.

Cimanga, K., Kambu, K., Tona, L., Apers, S., De Bruyne, T., Hermans, N., Totté, J., Pieters, L. and Vlietinck, A.J., 2002, "Correlation between Chemical Composition and Antibacterial Activity of Essential Oils of Some Aromatic Medicinal Plants Growing in the Democratic Republic of Congo", **Journal of Ethnopharmacology**, Vol. 79, No. 2, pp. 213-220.

Coventry, M.J., Hickey, M.W., Mawson, R., Drew, P., Wan, J., Krause, D. and Boghossian, V., 1998, "The Comparative Effects of Nitrogen and Oxygen on the Microflora of Beef Steaks in Carbon Dioxide-Containing Modified Atmosphere Vacuum Skin-Packaging (MA-VSP) Systems", **Letters in Applied Microbiology**, Vol. 26, No. 6, pp. 427-431.

Dalgaard, P., Gram, L. and Huss, H.H., 1993, "Spoilage and Shelf-Life of Cod Fillets Packed in Vacuum or Modified Atmospheres", **International Journal of Food Microbiology**, Vol. 19, No. 4, pp. 283-294.

Direkbusarakom, S., Ezura, Y., Yoshimizu, M. and Herunsalee, A., 1998, "Efficacy of Thai Traditional Herb Extracts Against Fish and Shrimp Pathogenic Bacteria", **Fish Pathology**, Vol. 33, No. 4, pp. 437-441.

Dobre, A.A., Gagiu, V. and Petru, N., 2011, "Antimicrobial Activity of Essential Oils Against Food-Borne Bacteria Evaluated by Two Preliminary Methods", **Romanian Biotechnological Letters**, Vol. 16, No. 5, pp. 119-125.

Elsom, G.K., Hide, D. and Salmon, D.M., 2000, "An Antibacterial Assay of Aqueous Extract of Garlic Against Anaerobic/microaerophilic and Aerobic Bacteria", **Microbial Ecology in Health and Disease**, Vol. 12, No. 2, pp. 81-84.

Erkmen, O. and Barazi, A., 2008, "Modeling the Effects of Modified Atmosphere on *Salmonella typhimurium* in Packaged Meat during Storage in the Refrigerator and at 12^{o}C", **Annals of Microbiology**, Vol. 58, No. 1, pp.73-81.

Fagan, J.D., Gormley, T.R. and Mhuircheartaigh, M.M.U., 2004, "Effect of Modified Atmosphere Packaging with Freeze-Chilling on Some Quality Parameters of Raw White, Mackerel and Salmon Portion", **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Vol. 5, No. 2, pp. 205-214.

Farber, J.M., Warburton, D.W., Gour, L. and Milling, M., 1990, "Microbiology Quality of Foods Packaged under Modified Atmospheres", **Food Microbiology**, Vol. 7, No. 4, pp. 327-334.

Fisher, K. and Phillips, C., 2006, "The Effect of Lemon, Orange and Bergamot Essential Oils and their Components on the Survival of *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* O157, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus* and *Staphylococcus aureus* in Vitro and in Food Systems", **Journal of Applied Microbiology**, Vol. 101, No. 6, pp. 1232-1240.

FAO, 2001, **Handling and Processing Shrimp** [Online], Available: http://www.fao.org/wairdocs/tan/x5931e/x5931e01.htm [2012, September, 8].

Fraser, O.P. and Sumar, S., 1998, "Composition Changes and Spoilage Fish (Part II) Microbiological Induced Deterioration, **Nutrition and Food Science,** Vol. 98, No. 6, pp. 325-329.

García-Carreño, F.L., Cota, K. and Navarrete del Toro, M.A., 2008, "Phenoloxidase Activity of Hemocyanin in Whiteleg Shrimp *Penaeus vannamei*: Conversion, Characterization of Catalytic Properties, and Role in Postmortem Melanosis, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Vol. 56, No.15 , pp. 6454-6459

Giatrakou, V., Ntzimani, A. and Savvaidis, I.N., 2010, "Effect of Chitosan and Thyme Oil on a Ready to Cook Chicken Product", **Food Microbiology,** Vol. 27, No. 1, pp. 132-136.

Gill, C.O. and Tan, K.H., 1980, "Effect of Carbon Dioxide on Growth of Meat Spoilage Bacteria", **Applied and Environmental Microbiology**, Vol. 39, No. 2, pp. 317-319.

Gill, A.O., Delaquis, P., Russo, P. and Holley, R.A., 2002, "Evaluation of Antilisterial Action of Cilantro Oil on Vacuum Packed Ham", **International Journal of Food Microbiology**, Vol. 73, No. 1, pp. 83-92.

Goel, A., Kumar, S. and Bhatia, A.K., 2010, "Effect of *Ocimum sanctum* on the Development of Protective Immunity Against *Salmonella typhimurium* Infection through Cytokines", **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, Vol. 3, No. 9, pp. 682-286.

Goulas, A.E. and 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", **Food Chemistry,** Vol. 100, No. 1, pp. 287-296.

Gram, L. and Dalgaard, P., 2002, "Fish Spoilage Bacteria-Problems and Solutions", **Current Opinion in Biotechnology,** Vol.13, No. 3, pp. 262-266.

Hasegawa, H., 1987, **Laboratory Manual on Analytical Method and Procedures for Fish and Fish Products**, Marine Fisheries Research Department Southeast Asian Fisheries Development Center, Singapore, pp. C7.1 - C7.3.

Holley, R.A. and Patel, D., 2005, "Improvement in Shelf-Life and Safety of Perishable Foods by Plant Essential Oils and Smoke Antimicrobials", **Food Microbiology**, Vol. 22, No. 4, pp. 273-292.

Holub, B.J., Arnott, K., Davis, J.P., Nagpurkar, A. and Peschell, J., 2002, **"**Organosulfur Compounds from Garlic**",** In **Functional Foods: Biochemical and Processing Aspects,** Shi, J., Mazza, G. and Maguer, M.L. (Eds.), New York, pp. 213-238.

Huber, I., Spanggaard, B., Appel, K.F., Rossen, L., Nielsen, T. and Gram, L., 2004, "Phylogenetic Analysis and In Situ Identification of the Intestinal Microbial Community of Rainbow Trout *(Oncorhynchus mykiss,* Walbaum)", **Journal of Applied Microbiology**, Vol. 96, No. 1, pp. 117-132.

Huff-Lonergan, E. and Lonergan, S.M., 2005, "Mechanisms of Water-Holding Capacity of Meat: the Role of Post-Mortem Biochemical and Structural Changes", **Meat Science**, Vol. 71, No. 2, pp. 194-204.

Hussain, A.I., Anwar, F., Sherazi, S.T.H. and Przybylski, R., 2008, "Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Basil (*Ocimum basilicum*) Essential Oils depends on Seasonal Variations", **Food Chemistry**, Vol. 108, No. 3, pp. 986-995.

ICMSF, 1986, **International Committee on Microbiological Specifications for foods; Microorganisms in food sampling for Microbiological Analysis: Principles and Scientific Applications**, 2nd eds., Blackwell Scientific Publications, Toronto: University of Toronto Press, Toronto.

Isler, O., Ruegg, R. and Schwieter, U., 1982, "Carotenoids as Food Colorants", **Pure and Applied Chemistry**, Vol. 14, No. 1, pp. 245-263.

Iwalokun B.A., Ogunledun, A., Ogbolu, D.O., Bamiro, S.B. and Jimi-Omojola, J., 2004, "In Vitro Antimicrobial Properties of Aqueous Garlic Extract Against Multi-Drug-Resistant Bacteria and *Candida* species from Nigeria", **Journal of Medicinal Food**, Vol. 7, No. 3, pp. 327-333.

Jaffe, A., Chabbert Y.A. and Semonin, O., 1982, "Role of Porin Proteins OmpF and OmpC in the Permeation of-Lactams", **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**, Vol. 22, No. 6, pp. 942-948.

James, S.J. and James, C., 2002, "Drip Production in Meat Refrigeration", In **Meat refrigeration,** James, S.J. and James, C. (Eds.), Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp. 21-42.

Karabagias, I.,Badeka, A. and Kontominas, M.G., 2011, "Shelf Life Extension of Lamb Meat Using Thyme or Oregano Essential Oils and Modified Atmosphere Packaging", **Meat Science**, Vol. 88, No. 1, pp. 109-116.

Kasali, A.A., Oyedeji, A.O. and Ashilokun, A.O., 2001, "Volatile Leaf Oil constituents of *Cymbopogon citratus* (DC) stapt", **Flavour and Fragrance Journal**, Vol. 16, No. 5, pp. 377-378.

Kimura, B., Yoshiyama, T. and Fujii, T., 1999, "Carbon Dioxide Inhibition of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* on a pH-Adjusted Surface in a Model System", **Journal of Food Science**, Vol. 64, No. 2, pp. 367-370.

Kostaki, M., Giatrakou, V., Savvaidis, I.N. and 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**, Vol. 26, No. 5, pp. 475-482.

Krisch, J., Pardi, Z., Tserennadmid, R., Papp, T. and Vágvölgyi, C., 2010, "Antimicrobial Effects of Commercial Herbs, Spices and Essential Oils in Minced Pork", **Acta Biologica Szegediensis**, Vol. 54, No. 2, pp. 131-134.

Kykkidou, S., Giatrakou, V., Papavergou, A., Kontominas, M.G. and Savvaidis, I.N., 2009, "Effect of Thyme Essential Oil and Packaging Treatments on Fresh Mediterranean Swordfish Fillets during Storage at 4ºC", **Food Chemistry**, Vol. 115, No. 1, pp. 169-175.

Lawson, L.D., 1996, "The Composition and Chemistry of Garlic Cloves and Processed Garlic", In **Garlic, the science and therapeutic application of *Allium sativum* L. and related species,** 2nd ed., Koch, H.P. and Lawson, D.L.(Eds.), William and Wilkins, Baltimore, pp. 37-107.

Martinez, O., Salmeron, J., Guillen, M.D. and Casas, C., 2010, "Effect of Freezing on the Physicochemical, Textural and Sensorial Characteristics of Salmon (*Salmo salar*) Smoked with a Liquid Smoke Flavouring", **LWT - Food Science and Technology**, Vol.43, No. 6, pp. 910-918.

Masniyom, P., Benjakul, S. and Visessanguan, W., 2002, "Shelf-Life Extension of Refrigerated Sea Bass Slices under Modified Atmosphere Packaging", **Journal of the Science of Food and Agriculture,** Vol. 82, No. 8, pp. 873-880.

Masniyom, P., 2011, "Deterioration and Shelf-Life Extension of Fish and Fishery Products by Modified Atmosphere Packaging", **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, Vol. 33, No. 2, pp. 181-192.

Mastromatteo, M., Danza, A., Conte, A., Muratore, G. and Del Nobile, M.A., 2010, "Shelf Life of Ready to Use Peeled Shrimps as Affected by Thymol Essential Oil and Modified Atmosphere Packaging", **International Journal of Food Microbiology**, Vol. 144, No. 2, pp. 250-256.

McGimpsey, J.A., Douglas, H.M., Van Klink, J.W., Beauregard, D.A. and Perry, N.B., 1994, "Seasonal Variation in Essential Oil Yield and Composition from Naturalized *Thymus vulgaris* L. in New Zealand", **Flavour and Fragrance Journal**, Vol. 9, No. 6, pp. 347-352.

McMillin, K.W., 2008, "Where is MAP Going: A Review and Future Potential of Modified Atmosphere Packaging for Meat", **Meat Science**, Vol. 80, No. 1, pp. 43-65.

Mejlholm, O. and Dalgaard, P., 2002, "Antimicrobial Effect of Essential Oils on the Seafood Spoilage Micro-organism *Photobacterium phosphoreum* in Liquid Media and Fish Products**",** **Letters in Applied Microbiology**, Vol. 34, No. 1, pp. 27-31.

Mejlholm, O., Bøknæs, N. and Dalgaard, P., 2005, "Shelf Life and Safety Aspects of Chilled Cooked and Peeled Shrimps (*Pandalus borealis*) in Modified Atmosphere Packaging", **Journal of Applied Microbiology**, Vol. 99, No. 1, pp. 66-76.

Miron, T., Rabinkov, A., Mirelman, D., Wilchek, M. and Weiner, L., 2000, "The Mode of Action of Allicin: Its Ready Permeability through Phospholipid Membranes may Contribute to Its Biological Activity", **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes**, Vol. 1463, No. 1, pp. 20-30.

Nguefack, J., Leth, V., Amvam Zollo, P.H., Mathur, S.B., 2004, "Evaluation of Five Essential Oils from Aromatic Plants of Cameroon for Controlling Food Spoilage and Mycotoxin Producing Fungi" **International Journal of Food Microbiology**, Vol. 94, No. 3, pp. 329-334.

Nirmal, N.P. and Benjakul, S., 2010, "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 and Bioprocess Technology**, Vol. 5, No. 8 , pp. 2941-2951.

Nirmal, N.P. and Benjakul, S., 2011, "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**, Vol. 149, No. 3, pp. 247-253.

Pradhan K.J., Variyar P.S. and Bandekar J.R., 1999, "Antimicrobial Activity of Novel Phenolic Compounds from Green Pepper (*Piper nigrum* L.)", **LWT- Food Science and Technology**, Vol. 32, No. 2, pp. 121-123.

Provincial, L., Gill, M., Guillen, E., Alonso, V., Roncales, P. and Beltran, J.A., 2010, "Effect of Modified Atmosphere Packaging Using Different CO_2 and N_2 Combinations on Physical, Chemical, Microbiological and Sensory Changes of Fresh Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) Fillets", **International Journal of Food Science and Technology**, Vol. 45, No. 9, pp. 1828-1836.

Rattanachaikunsopon, P., Phumkhachorn, P., 2009, "Antimicrobial Activity of Elephant Garlic Oil Against *Vibrio cholerae* Both in Vitro and in Food Model, **Bioscience Biotechnology and Biochemistry**, Vol. 73, No. 7, pp. 623-1627.

Reddy, N.R., Roman., M.G., Villanueva, M. and Rhodehamel., 1997, "Shelf life and *Clostridium botulinum* Toxin Development During Storage of Modified Atmosphere-Packaged Fresh Catfish fillets", **Journal of Food Science**, Vol. 62, No. 8, pp. 878-883.

Rhyu, H.Y., 1979, "Gas Chromatographic Characterization of Sages of Various Geographic Origins", **Journal of Food Science**, Vol. 44, No. 3, pp. 758-762.

Ross, Z.M., O'Gara, E.A., Hill, D.J., Sleightholme, H.V. and Maslin, D.J., 2001, "Antimicrobial Properties of Garlic Oil Against Human Enteric Bacteria: Evaluation of Methodologies and Comparisons with Garlic Oil Sulfides and Garlic Powder", **Applied and Environmental Microbiology**, Vol. 67, No. 1, pp. 475-480.

Rotabakk, B.T., Birkeland, S., Jeksrud, W. and Sivertsvik, M., 2006, "Effect of Modified Atmosphere Packaging and Soluble Gas Stabilization on the Shelf Life of Skinless Chicken Breast Fillets", **Journal of Food Science**, Vol. 71, No. 2, pp. 124-131.

Saddiq, A.A. and Khayyat, S.A., 2010, "Chemical and Antimicrobial Studies of Monoterpene: Citral", **Pesticide Biochemistry and Physiology**, Vol. 98, No. 1, pp. 89-93.

Salgueiro, L.R., Vila, R., Tomi, F., Cristina Figueiredo, C., Barroso, J.G., Cañigueral, S., Casanova, J., Cunha, A.P. and Adzet, T., 1997, "Variability of Essential Oils of *Thymus caespititius* from Portugal", **Phytochemistry,** Vol. 45**,** No. 2, pp. 307-311.

Sallam, Kh.I., Ishioroshi, M. and Samejima, K., 2004, "Antioxidant and Antimicrobial Effects of Garlic in Chicken Sausage", **LWT - Food Science and Technology**, Vol. 37, No. 8, pp. 849-855.

Sen, D.P., 2005, "Chemical Composition and their Technological Significants", In **Advances in Fish Processing Technology,** Sachdev, S. (Ed.), Allied Publishers, New Delhi, pp. 43-119.

Shekarforoush, S.S., Nazer, A.H.K., Firouzi, R. and Rostami, M., 2007, "Effects of Storage Temperatures and Essential Oils of Oregano and Nutmeg on the Growth and Survival of *Escherichia coli* O157:H7 in Barbecued Chicken Used in Iran", **Food Control**, Vol. 18, No.11, pp. 1428-1433.

Shirazinejad, A. and Ismail, N., 2010, "Effect of Lactate Treatments on Survival of Food-Borne Pathogens in Frozen Shrimp (*Penaeus merguiensis*)", **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, Vol. 5, No. 2, pp. 242-246.

Sikkema, J., de Bont, J.A.M. and Poolman, B., 1995, "Mechanisms of Membrane Toxicity of Hydrocarbons", **Microbiological Reviews**, Vol. 59, No. 2, pp. 201-222.

Singh, A., Singh, R.K., Bhuniaa, A.K. and Singh, N., 2003, "Efficacy of Plant Essential Oils as Antimicrobial Agents Against *Listeria monocytogenes* in Hotdogs", **LWT- Food Science and Technology**, Vol. 36, No. 8, pp. 787-794.

Sivertsvik, M., Jeksrud, W.K. and Rosnes, J.T., 2002, "A review of Modified Atmosphere Packaging of Fish and Fishery Products-Significance of Microbial Growth, Activities and Safety", **International Journal of Food Science and Technology**, Vol. 37, No. 2, pp. 107-127.

Smith, J.P., Ramaswamy, H.S. and Simpson, B.K., 1990, "Developments in Food Packaging Technology. Part II: Storage Aspects", **Trends in Food Science and Technology**, Vol. 1, pp. 111-118.

Song, J.Y., An, G.H. and Kim, C.J., 2003, "Color, Texture, Nutrient Contents, and Sensory Values of Vegetable Soybeans [*Glycine max* (L.) Merrill] as Affected by Blanching", **Food Chemistry**, Vol. 83, No. 1, pp. 69-74.

Sotelo, C.G. and Rehbein, H., 2000, "TMAO-Degrading Enzymes", In **Seafood Enzymes: Utilization and Influence on Postharvest Seafood Quality**, Haard N.F. and Simpson B.K. (Eds.), Marcel Dekker, New York, pp. 167-190.

Stiles, M.E., 1991, "Modified Atmosphere Packaging of Meat, Poultry and their Products", In **Modified atmosphere packaging of foods**, Ooraikul, B. and Stiles, M.E. (Eds.), Eills Horwood, New York, pp. 23-196.

Tassou, C.C., Koutsoumanis, J. and Nychas, G.J.E., 2000, "Inhibition of *Salmonella enteritidis* and *Staphylococcus aureus* in Nutrient Broth by Mint Essential Oil", **Food Research International**, Vol. 33, Vol. 3, pp. 273-280.

Thepnuan, R., Benjakul, S., Visessanguan, W., 2008, "Effect of Pyrophosphate and 4-Hexylresorcinol Pretreatment on Quality of Refrigerated White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Kept under Modified Atmosphere Packaging", **Journal of Food Science**, Vol. 73, No. 3, pp. S124-S133.

Thongson, C., Davidson, P.M., Mahakarnchanakul, W. and Vibulsreth, P., 2005, "Antimicrobial Effect of Thai Spices Against *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* Typhimurium DT104", **Journal of Food Protection,** Vol. 68, No. 10, pp. 2054-2058.

Torrieri, E., Cavella, S., Villani, F. and Masi, P., 2006, "Influence of Modified Atmosphere Packaging on the Chilled Shelf Life of Gutted Farmed Bass (*Dicentrarchus labrax*)", **Journal of Food Engineering**; Vol. 77, No. 4, pp. 1078-1086.

Tzortzakis, N.G. and Economakis, C.D., 2007, "Antifungal Activity of Lemongrass (*Cympopogon citratus* L.) Essential Oil Against Key Postharvest Pathogens", **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Vol. 8, No. 2, pp. 253-258.

U.S. Food and Drug Administration, 2001, **Analysis and Evaluation of Preventive Control Measures for the Control and Reduction/Elimination of Microbial Hazards on Fresh and Fresh-cut Produce: Chapter VI Microbiological Safety of Controlled and Modified Atmosphere Packaging of Fresh and Fresh-cut Produce** [Online], Available: http://www.fda.gov/Food/ScienceResearch/ResearchAreas/SafePractices for Food Processes/ ucm091368.htm. [2012, August 15].

Venskutonis, P.R., 1997, "Effect of Drying on the Volatile Constituents of Thyme (*Thymus vulgaris* L.) and Sage (*Salvia officinalis* L.)", **Food Chemistry**, Vol. 59, No. 2, pp. 219-227.

Venugopal, V., 2006, "Modified-Atmosphere Packaging", In **Seafood processing: adding value through quick freezing, retort able packaging, cook-chilling, and other methods**, Venugopal, V. (Ed.), CRC Press Taylor and Francis Group, Florida, pp. 167-196.

Vergara, H., Berruga M.I. and Linares, M.B., 2005, "Effect of Gas Composition on Rabbit Meat Quality in Modified Atmosphere Packaging", **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Vol. 85, No. 12, pp. 1981-1986.

Villarreal, B and Pozo, R., 1990, "Chemical Composition and Ice Spoilage of Albacore (*Thunnus alalunge*)", **Journal of Food Science**, Vol. 55, No. 3, pp. 678-682.

Vrinda Menon, K. and Garg, S.R., 2001, "Inhibitory Effect of Clove Oil on *Listeria monocytogenes* in Meat and Cheese", **Food Microbiology**, Vol. 18, No. 6, pp. 647-650.

Vuddhakul, V., Bhoopong, P., Hayeebilan, F. and Subhadhirasakul, S., 2007, "Inhibitory Activity of Thai Condiments on Pandemic Strain of *Vibrio parahaemolyticus*", **Food Microbiology**, Vol. 24, No. 4, pp. 413-418.

Wan Norhana, M.N., Poole, S.E., Deeth, H.C. and Dykes, G.A., 2010, "The Effects of Temperature, Chlorine and Acids on the Survival of *Listeria* and *Salmonella* Strains Associated with Uncooked Shrimp Carapace and Cooked Shrimp Flesh", **Food Microbiology**, Vol. 27, No. 2, pp. 250-256.

Willis, E.D., 1956, "Enzyme Inhibition by Allicin, the Active Principle of Garlic", **Biochemical Journal**, Vol. 63, No. 3, pp. 514-520.

Wolfe, S.K., 1980, "Use of CO and CO_2 Enriched Atmospheres for Meats, Fish and Produce", **Food Technology**, Vol. 34, No. 5, pp. 55-58.

Yano, Y., Satomi, M. and Oikawa, H., 2006, "Antimicrobial Effect of Spices and Herbs on *Vibrio parahaemolyticus*", **International Journal of Food Microbiology**, Vol. 111, No. 1, pp. 6-11.

Yilmaz, M.T., 2011, "Identifiability of Baranyi Model and Compression with Empirical Model in Predicting Effect of Essential Oils on Growth of *Salmonella typhimurium* in Rainbow Trout Store under Aerobic, Modified Atmosphere and Vacuum Packed Conditions", **African Journal of Biotechnology**, Vol. 10, No.38, pp. 7468-7497.

Yin, M.C., Cheng, H.C. and Tsao, S.M., 2002, "Inhibitory Effects of Aqueous Garlic Extract, Garlic Oil and Four Diallyl Sulphides Against Four Enteric Pathogens", **Journal of Food and Drug Analysis**, Vol. 10, No. 2, pp. 120-126.

Zwietering M.H., Jongenburger I., Rombouts F.M. and Van'T Riet, K., 1990, "Modeling of Bacterial Growth Curve", **Applied and Environmental Microbiology**, Vol. 56, No. 6, pp. 1875-1881.

ภาคผนวก ก
การเตรียมความเข้มข้น

ก1. การเตรียมความขุ่นมาตรฐานแมคฟาแลนด์ (McFarland Nephelometer Standard)

ส่วนประกอบ

- กรดซัลฟิวริก 1% (1%H_2SO_4)
- แบเรียมคลอไรด์ 1% (1%$BaCl_2$)

วิธีการวิเคราะห์

1% กรดซัลฟิวริก 99.5 มิลลิลิตรผสมกับ 1% แบเรียมคลอไรด์ 0.5 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองแก้ว ใส เก็บไว้ในที่มืด ซึ่ง McFarland number 0.5 ได้ปริมาณเชื้อประมาณ $1.5x10^8$ Cfu/mL

ก2. การเตรียมความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหย

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$D = m/v \quad (1)$$

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad (2)$$

เมื่อ D คือ Specific gravity

m คือ ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหย

v คือ ปริมาณของน้ำมันหอมระเหย (µl)

C_1 คือ ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่ระดับ 1 (mg/mL)

V_1 คือ ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่ระดับความเข้มข้น 1 (µl)

C_2 คือ ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่ระดับ 2 (mg/mL)

V_2 คือ ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่ระดับความเข้มข้น 2 (µl)

กระเทียม

จากน้ำมันหอมระเหยกระเทียม

น้ำมันหอมระเหยกระเทียมมี Specific gravity = 1.0954

- เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 200 mg/mL ปริมาตร 10 ml.

จาก D = m /v

v = m/D

= 200/1.0954

= 182.58 µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยกระเทียมปริมาตร (182.58 x 10) = 1,825.8 µl. ~ 1,826 µl. ใส่ใน volume matrix flask ขนาด 10 ml. แล้วปรับปริมาตรด้วย Nutrient broth + 1% tween 80

- เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 150 mg/mL ปริมาณ 2,000 µl.จาก Stock solution 200 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$200\ V_1 = (150)(2,000)$

$V_1 = 1,500$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 200 mg/mL ปริมาตร 1,500 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 500 µl.

- เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 100 mg/mL ปริมาณ 2,000 µl.จาก Stock solution 200 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$200\ V_1 = (100)(2,000)$

$V_1 = 1,000$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 200 mg/mL ปริมาตร 1,000 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 1000 µl.

- เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 50 mg/mL ปริมาณ 2,000 µl.จาก Stock solution 100 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V2$

$100\ V_1 = (50)(2000)$

$V_1 = 1,000$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 200 mg/mL ปริมาตร 1,000 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 1,000 µl.

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 25 mg/mL ปริมาณ 2,000 µl.จาก Stock solution 50 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$50\ V_1 = (25)(2,000)$

$V_1 = 1,000$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 50 mg/mL ปริมาตร 1,000 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 1,000 µl.

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 12.5 mg/mL ปริมาณ 2,000 µl.จาก Stock solution 25 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$25\ V_1 = (12.5)(2,000)$

$V_1 = 1,000$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 25 mg/mL ปริมาตร 1,000 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 1,000 µl.

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 6.25 mg/mL ปริมาณ 2,000 µl.จาก Stock solution 12.5 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$12.5\ V_1 = (6.25)(2,000)$

$V_1 = 1,000$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 12.5 mg/mL ปริมาตร 1,000 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 1,000 µl.

กะเพรา

น้ำมันหอมระเหยกระเพรามี Specific gravity = 0.9678

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 400 mg/mL ปริมาตร 10 ml.

จาก $D = m/v$

$v = m/D$

$= 400/0.9678$

$= 413.308$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยกระเพราปริมาตร (413.308 x 10) = 4,133.08 µl. ~ 4,133 µl. ใส่ใน volume matrix flask ขนาด 10 ml. แล้วปรับปริมาตรด้วย Nutrient broth + 1% tween 80

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 350 mg/mL ปริมาณ 2,000 µl.จาก Stock solution 400 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$400\ V_1 = (350)(2,000)$

$V_1 = 1,750$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 400 mg/mL ปริมาตร 1,750 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 250 µl.

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 300 mg/mL ปริมาณ 5,000 µl.จาก Stock solution 400 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$400\ V_1 = (300)(5,000)$

$V_1 = 3,750$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 200 mg/mL ปริมาตร 3,750 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 1,250 µl.

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 250 mg/mL ปริมาณ 2,000 µl.จาก Stock solution 400 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$400\ V_1 = (250)(2,000)$

$V_1 = 1,250$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 400 mg/mL ปริมาตร 1,250 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 750 µl.

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 200 mg/mL ปริมาณ 5,000 µl. จาก Stock solution 400 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$400\ V_1 = (200)(5,000)$

$V_1 = 2,500$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 400 mg/mL ปริมาตร 2,500 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 2,500 µl.

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 150 mg/mL ปริมาณ 2,000 µl.จาก Stock solution 300 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$300\ V_1 = (150)(2,000)$

$V_1 = 1,000$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 300 mg/mL ปริมาตร 1,000 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 1,000 µl.

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 100 mg/mL ปริมาณ 5,000 µl.จาก Stock solution 200 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$200\ V_1 = (100)(5,000)$

$V_1 = 2500$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 200 mg/mL ปริมาตร 2,500 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 2,500 µl.

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 50 mg/mL ปริมาณ 2,000 µl.จาก Stock solution 100 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$100\ V_1 = (50)(2,000)$

$V_1 = 1000$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 200 mg/mL ปริมาตร 1,000 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 1,000 µl.

ตะไคร้

น้ำมันหอมระเหยตะไคร้มี Specific gravity = 0.8768

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 250 mg/mL ปริมาตร 10 ml.

จาก $D = m/v$

$v = m/D$

$= 250/0.8768$

$= 285.128$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยกระเพราปริมาตร (285.128 x 10) = 2,851.28 µl. ~ 2,851 µl. ใส่ใน volume matrix flask ขนาด 10 ml. แล้วปรับปริมาตรด้วย Nutrient broth + 1% tween 80

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 250 mg/mL ปริมาณ 5,000 µl.จาก Stock solution 200 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$250\ V_1 = (200)(5,000)$

$V_1 = 4,000$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 250 mg/mL ปริมาตร 4,000 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 1,000 µl.

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 150 mg/mL ปริมาณ 2,000 µl.จาก Stock solution 250 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$250\ V_1 = (150)(2,000)$

$V_1 = 1,200$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 250 mg/mL ปริมาตร 1,200 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 800 µl.

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 200 mg/mLปริมาณ 2,000 µl.จาก Stock solution 100 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$200\ V_1 = (100)(5,000)$

$V_1 = 2,500$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 200 mg/mL ปริมาตร 2,500 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 2,500 µl.

• เตรียม Stock solution ที่ความเข้มข้น 100 mg/mL ปริมาณ 2,000 µl.จาก Stock solution 50 mg/mL

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$100\ V_1 = (50)(2,000)$

$V_1 = 1,000$ µl.

ดังนั้น นำน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 100 mg/mL ปริมาตร 1,000 µl. แล้วเติม Nutrient broth + 1% tween 80 ปริมาตร 1,000 µl.

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อหาการยอมรับของผู้บริโภค

ชื่อ……วันที่……..

ชื่อผลิตภัณฑ์……

การทดสอบต่อไปนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหาคุณลักษณะด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์กุ้ง จำนวน 6 ตัวอย่าง คือหมายเลข 449 215 740 638 395และ 562โปรดตรวจพินิจกลิ่น สี รสชาติ และเนื้อสัมผัสของแต่ละตัวอย่าง จากนั้นบันทึกผลโดยเลือกระดับคะแนนที่มีข้อความบรรยายคุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุดใส่ลงในตารางด้านล่างนี้

หมายเลข / คุณลักษณะ	449	215	740	638	395	562
สี						
กลิ่น						
รสชาติ						
เนื้อสัมผัส						
ความชอบรวม						

ข้อเสนอแนะ……

……

……

ขอบคุณสำหรับความร่วมมือ

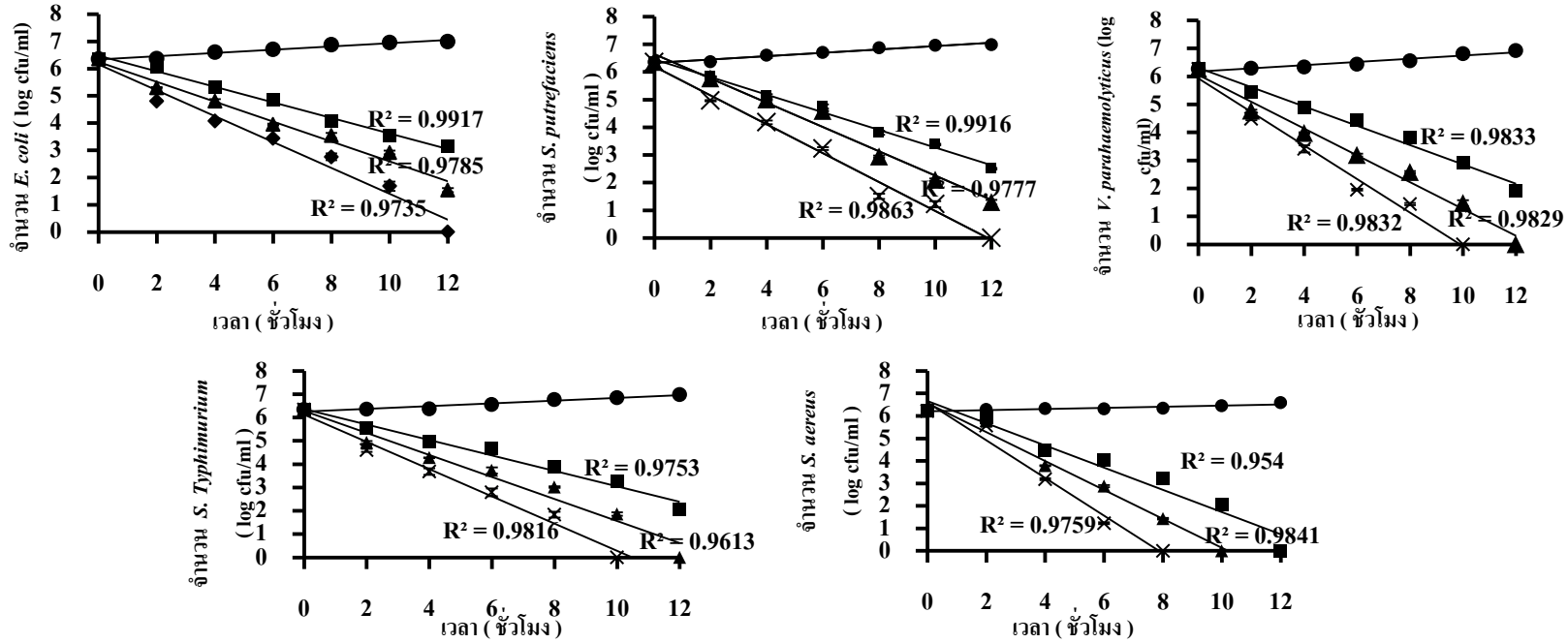
คุณลักษณะ		คะแนน				
		5	4	3	2	1
กลิ่น	กุ้งสด	มีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสดและไม่เกิดกลิ่นอับกลิ่นคาว	มีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของกุ้งสดเริ่มจางหายจนกระทั่งไม่มีกลิ่น	มีกลิ่นกุ้งสดและเกิดกลิ่นอับกลิ่นคาวเล็กน้อย	มีกลิ่นอับกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็นเปรี้ยว	มีกลิ่นเน่าอย่างรุนแรงและมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวมาก
	สมุนไพร	มีกลิ่นของสมุนไพรชัดเจนและไม่มีกลิ่นคาวกลิ่นเน่าเสีย	มีกลิ่นของสมุนไพรเล็กน้อย และไม่มีกลิ่นคาวกลิ่นเน่าเสีย	มีกลิ่นสมุนไพรเล็กน้อยและเกิดกลิ่นอับกลิ่นคาวเล็กน้อย	มีกลิ่นอับกลิ่นคาว	มีกลิ่นเน่าอย่างรุนแรงและมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวมาก
สี	กุ้งสด	เนื้อมีสีขาวทึบลายมีสีส้มแดงชัดเจน	เนื้อมีสีขาวทึบลายมีสีส้มไม่ชัดเจน	เนื้อมีสีขาว ลายมีสีส้มอ่อน	เนื้อมีสีเหลืองอมขาว ลายมีสีส้มซีดจาง	เนื้อมีสีเหลืองอมขาวมาก ลายสีส้มซีดจางไม่ชัดเจน
	สมุนไพร	เนื้อมีสีขาวทึบลายมีสีส้มแดงชัดเจน	เนื้อมีสีขาวทึบลายมีสีส้มไม่ชัดเจน	เนื้อมีสีขาว ลายมีสีส้มอ่อน	เนื้อมีสีเหลืองอมขาว ลายมีสีส้มซีดจาง	เนื้อมีสีเหลืองชัดเจน

คุณลักษณะ		คะแนน				
		5	4	3	2	1
รสชาติ	กุ้งสด	รสชาติของเนื้อกุ้งตามธรรมชาติ ออกหวานปนเค็มเล็กน้อย ไม่มีรสชาติอื่นรบกวน	รสชาติของเนื้อกุ้งตามธรรมชาติ ได้รับรสหวานน้อยลงไม่มีรสชาติอื่นรบกวน	รสชาติของเนื้อกุ้งตามธรรมชาติ เล็กน้อยไม่มีรสชาติอื่นรบกวน	รสชาติของเนื้อกุ้งตามธรรมชาติ เล็กน้อย รสชาติอื่นรบกวนเช่น เปรี้ยว เล็กน้อย	ไม่ได้รับรสชาติของเนื้อกุ้ง มีรสชาติอื่นเช่นรสเปรี้ยวอย่างชัดเจน
	สมุนไพร	รสชาติของเนื้อกุ้งคลุกเคล้าสมุนไพร	รสชาติของเนื้อกุ้งคลุกเคล้าสมุนไพรเล็กน้อย	รสชาติของเนื้อกุ้งตามธรรมชาติ ออกหวานปนเค็มเล็กน้อย ไม่มีรสชาติอื่นรบกวน	มีรสชาติอื่นเช่นเปรี้ยวเล็กน้อย	ไม่ได้รับรสชาติของเนื้อกุ้ง มีรสชาติอื่นเช่นรสเปรี้ยวชัดเจน
เนื้อสัมผัส		เนื้อกุ้งเกาะรวมตัวแน่นแข็งเนื้อไม่นิ่มเละ	เนื้อกุ้งเกาะรวมตัวแน่นกัดแล้วรู้สึกถึงความยืดหยุ่นแน่นเนื้อไม่นิ่มเละ	เนื้อกุ้งเกาะรวมตัวกันปานกลาง เริ่มไม่มีความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้ง เนื้อเริ่มนิ่ม	เนื้อกุ้งไม่เกาะรวมตัวกันเนื้อนิ่มเริ่มเปื่อยยุ่ย	เนื้อกุ้งไม่เกาะตัวเปื่อยยุ่ยไม่มีความยืดหยุ่นนิ่มเละ
ความชอบรวม		ชอบมากที่สุด	ชอบมาก	ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	ไม่ชอบมากที่สุด

ภาคผนวก ค

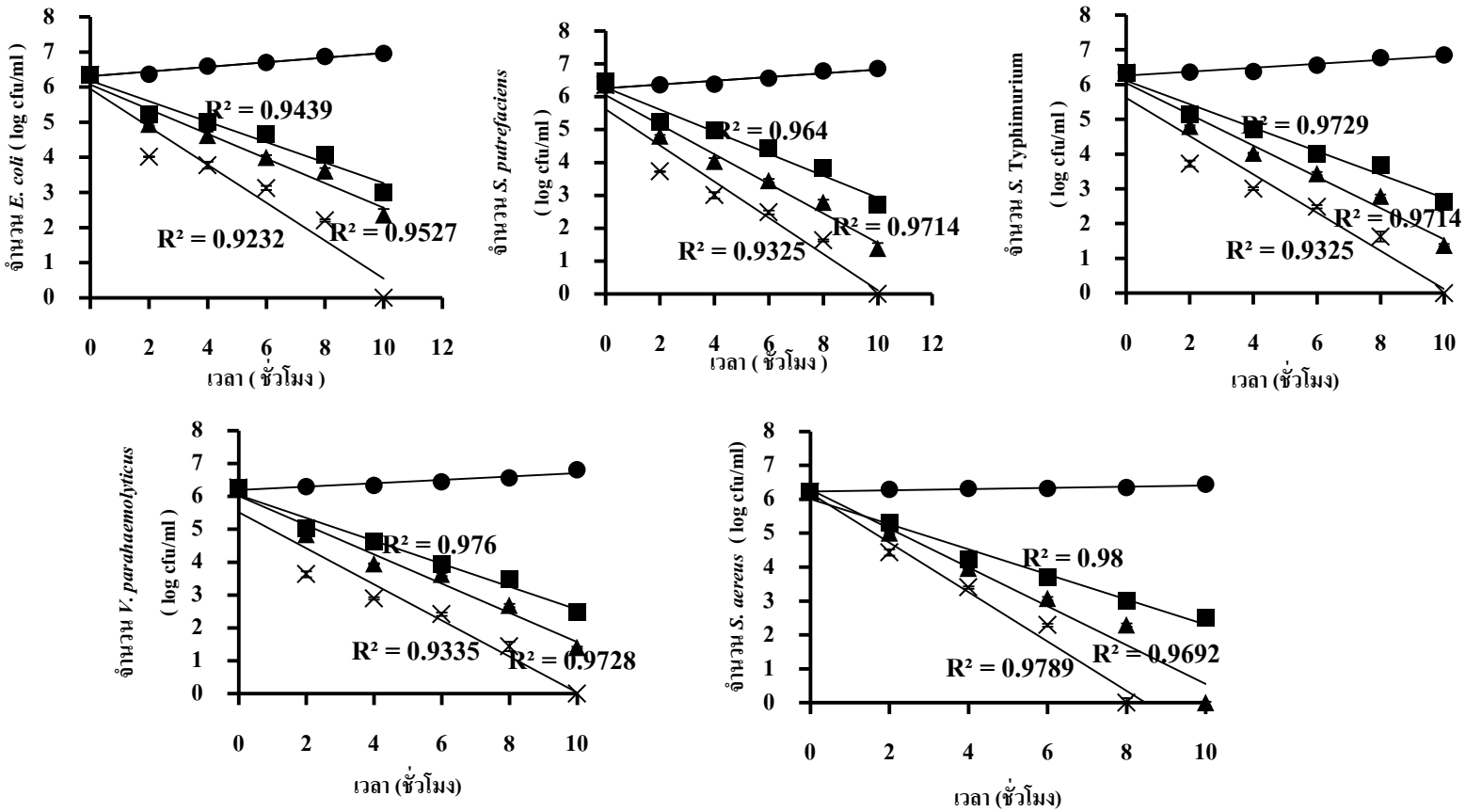
ผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์



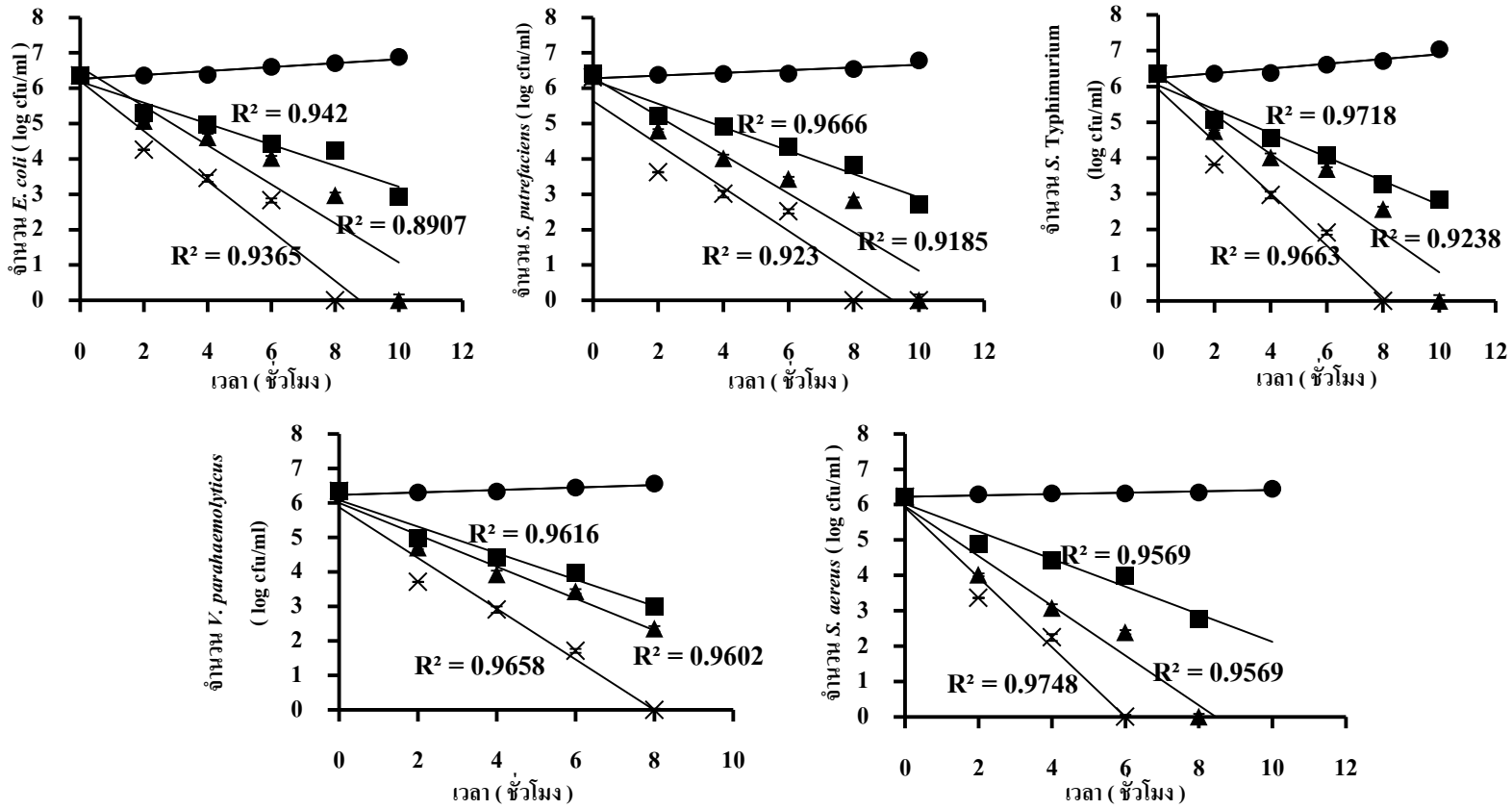
รูปที่ ค.1 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยกระเทียมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

●:0 mg/mL ■ :5 mg/mL ▲:10 mg/mL ×:15 mg/mL



รูปที่ ค.2 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ต่อการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

●: 0 mg/mL ■ :10 mg/mL ▲:15 mg/mL ×:20 mg/mL



รูปที่ ค.3 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยกะเพราต่อการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

●: 0 mg/mL ■ :15 mg/mL ▲:20 mg/mL ×:25 mg/mL

2. ผลการศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพของกุ้งสด

คุณสมบัติทางจุลินทรีย์

ตาราง ค.1 ผลของจำนวนจุลินทรีย์ของกุ้ง ของการใช้น้ำมันหอมระเหยในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	จุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)		
		น้ำมันหอมระเหยกระเทียม	น้ำมันหอมระเหยตะไคร้	น้ำมันหอมระเหยกะเพรา
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	3.57^{a}±0.22	3.35^{a}±0.11	3.44^{a}±0.64
	4	5.03^{b}±0.46	5.66^{b}±0.61	5.26^{b}±1.15
	7	7.05^{c}±0.26	7.04^{c}±0.27	7.02^{c}±0.21
	11	8.25^{d}±0.32	8.54^{a}±2.22	8.54^{d}±0.44
MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	3.57^{a}±0.22	3.35^{a}±0.11	3.44^{a}±0.64
	4	4.06^{a}±0.58	4.04^{b}±0.47	3.81^{b}±0.82
	7	5.48^{b}±0.50	5.42^{c}±0.49	5.87^{c}±0.65
	11	6.50^{c}±0.33	6.21^{d}±0.56	6.41^{d}±0.19
	14	7.19^{d}±0.18	7.42^{eb}±0.11	7.02^{e}±2.16
MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	3.57^{a}±0.22	3.35^{a}±0.11	3.44^{a}±0.64
	4	3.94^{b}±0.34	3.73^{a}±0.57	3.79^{a}±0.24
	7	4.57^{b}±0.06	4.73^{b}±0.18	4.50^{bc}±0.05
	11	6.08^{c}±0.08	5.52^{c}±0.27	5.02^{c}±0.14
	14	6.84^{d}±0.19	6.61^{d}±0.20	6.28^{d}±0.23
	18	7.09^{e}±0.21	7.70^{e}±0.35	7.01^{e}±0.16
น้ำมันหอมระเหย +บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	3.57^{a}±0.22	3.35^{a}±0.11	3.44^{a}±0.64
	4	4.13^{b}±0.11	5.07^{b}±0.17	4.07^{a}±0.46
	7	5.64^{c}±0.34	6.24^{c}±0.61	6.29^{b}±0.52
	11	6.96^{d}±1.14	7.04^{d}±0.32	7.16^{b}±0.38
	14	7.31^{d}±0.22	7.63^{d}±0.46	7.68^{c}±0.43

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง ค.1 ผลของจำนวนจุลินทรีย์ของกุ้ง ของการใช้น้ำมันหอมระเหยในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	จุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)		
		น้ำมันหอมระเหยกระเทียม	น้ำมันหอมระเหยตะไคร้	น้ำมันหอมระเหยกะเพรา
น้ำมันหอมระเหย +MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	3.57^{a}±0.22	3.35^{a}±0.11	3.44^{a}±0.64
	4	3.74^{ab}±0.59	3.91^{ab}±0.81	3.77^{a}±0.09
	7	4.29^{b}±0.28	4.59^{b}±0.22	4.49^{ab}±0.03
	11	5.70^{c}±0.35	5.71^{c}±0.50	5.92^{b}±0.21
	14	6.60^{d}±0.23	6.88^{d}±0.16	6.38^{c}±0.23
	18	7.02^{e}±0.17	7.29^{d}±0.16	7.20^{d}±0.25
น้ำมันหอมระเหย +MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	3.57^{ab}±0.22	3.35^{a}±0.11	3.44^{a}±0.64
	4	3.22^{a}±0.42	3.16^{a}±0.48	3.56^{a}±0.17
	7	3.75^{b}±0.29	4.09^{b}±0.43	4.23^{b}±0.11
	11	4.76^{c}±0.46	4.81^{c}±0.60	4.97^{b}±0.18
	14	5.18^{d}±0.27	5.97^{d}±0.41	5.26^{c}±0.42
	18	6.71^{e}±0.20	6.81^{e}±0.41	6.86^{d}±0.32
	21	7.16^{e}±0.41	7.53^{f}±0.41	7.90^{e}±0.13

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

คุณสมบัติทางเคมี

ตาราง ค.2 ผลของค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกระเทียมในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	TMA (mg TMA-N/100g)	TVB-N (mg N/100g)	pH
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	2.11^{a}±0.13	5.94^{a}±1.10	6.70^{a}±0.03
	4	6.66^{a}±0.38	10.64^{b}±1.14	6.85^{b}±0.06
	7	8.73^{c}±0.09	17.21^{c}±1.87	7.27^{c}±0.01
	11	14.61^{d}±0.45	26.92^{d}±1.33	7.29^{c}±0.06

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง ค.2 ผลของค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกระเทียมในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	TMA (mg TMA-N/100g)	TVB-N (mg N/100g)	pH
MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	$2.11^{a}\pm0.13$	$5.94^{a}\pm1.10$	$6.70^{a}\pm0.03$
	4	$3.31^{ab}\pm0.85$	$6.25^{a}\pm0.98$	$6.69^{a}\pm0.15$
	7	$4.83^{bc}\pm0.63$	$9.85^{b}\pm0.81$	$6.84^{a}\pm0.11$
	11	$6.61^{c}\pm1.14$	$16.90^{c}\pm1.47$	$6.89^{a}\pm0.09$
	14	$8.52^{d}\pm1.38$	$24.73^{d}\pm0.37$	$7.16^{c}\pm0.08$
	18	$11.55^{e}\pm1.39$	$32.29^{e}\pm4.58$	$7.07^{bc}\pm0.06$
MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	$2.11^{a}\pm0.13$	$5.94^{a}\pm1.10$	$6.70^{a}\pm0.03$
	4	$2.91^{ab}\pm0.19$	$5.21^{a}\pm0.27$	$6.65^{a}\pm0.11$
	7	$4.31^{bc}\pm0.94$	$9.00^{b}\pm0.81$	$6.88^{b}\pm0.09$
	11	$5.32^{c}\pm0.98$	$15.07^{c}\pm0.72$	$6.90^{b}\pm0.08$
	14	$4.51^{c}\pm0.50$	$21.73^{d}\pm0.65$	$6.88^{bc}\pm0.06$
	18	$9.28^{d}\pm0.81$	$32.29^{c}\pm4.48$	$7.00^{c}\pm0.05$
น้ำมันหอมระเหย +บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	$2.11^{a}\pm0.13$	$5.94^{a}\pm1.10$	$6.70^{a}\pm0.03$
	4	$3.77^{b}\pm0.40$	$8.28^{a}\pm0.75$	$6.83^{a}\pm0.09$
	7	$5.04^{c}\pm0.24$	$13.18^{b}\pm1.41$	$7.05^{b}\pm0.10$
	11	$4.33^{b}\pm0.28$	$18.24^{c}\pm1.92$	$7.06^{b}\pm0.03$
	14	$10.06^{d}\pm0.17$	$27.93^{d}\pm1.30$	$7.29^{c}\pm0.08$
น้ำมันหอมระเหย +MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	$2.11^{a}\pm0.13$	$5.94^{a}\pm1.10$	$6.70^{a}\pm0.03$
	4	$2.76^{ab}\pm0.11$	$6.17^{a}\pm0.16$	$6.97^{b}\pm0.17$
	7	$2.99^{bc}\pm0.87$	$9.54^{b}\pm0.46$	$6.83^{b}\pm0.07$
	11	$3.89^{b}\pm0.15$	$12.04^{b}\pm1.27$	$6.86^{b}\pm0.02$
	14	$5.92^{c}\pm0.73$	$19.62^{d}\pm0.74$	$6.85^{b}\pm0.03$
	18	$8.03^{d}\pm1.17$	$31.80^{d}\pm3.15$	$6.86^{b}\pm0.08$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.2 ผลของค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกระเทียมในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	TMA (mg TMA-N/100g)	TVB-N (mg N/100g)	pH
น้ำมันหอมระเหย +MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	$2.11^{a}\pm0.13$	$5.94^{b}\pm1.10$	$6.70^{b}\pm0.03$
	4	$2.23^{a}\pm0.40$	$5.18^{a}\pm0.57$	$6.56^{a}\pm0.19$
	7	$2.36^{a}\pm0.08$	$6.32^{b}\pm0.42$	$6.65^{ab}\pm0.06$
	11	$3.23^{ab}\pm0.38$	$9.49^{c}\pm0.47$	$6.68^{ab}\pm0.06$
	14	$4.27^{b}\pm0.94$	$18.43^{d}\pm1.53$	$6.78^{b}\pm0.01$
	18	$5.98^{c}\pm0.35$	$24.44^{e}\pm3.12$	$6.85^{c}\pm0.05$
	21	$8.19^{d}\pm1.12$	$31.20^{f}\pm1.85$	$6.97^{c}\pm0.18$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.3 ผลของค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	TMA (mg TMA-N/100g)	TVB-N (mg N/100g)	pH
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	$3.80^{a}\pm0.89$	$4.78^{a}\pm0.46$	$6.70^{a}\pm0.05$
	4	$5.79^{b}\pm0.66$	$10.72^{b}\pm0.25$	$6.80^{a}\pm0.03$
	7	$8.90^{c}\pm0.48$	$17.57^{c}\pm2.12$	$7.21^{b}\pm0.14$
	11	$14.91^{d}\pm0.49$	$26.48^{d}\pm0.76$	$7.36^{b}\pm0.15$
MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	$3.80^{a}\pm0.89$	$4.78^{a}\pm0.46$	$6.70^{a}\pm0.05$
	4	$3.38^{ab}\pm0.23$	$6.21^{ab}\pm0.77$	$6.59^{a}\pm0.02$
	7	$6.06^{b}\pm0.39$	$10.02^{bc}\pm0.42$	$6.70^{a}\pm0.06$
	11	$8.24^{c}\pm0.91$	$17.16^{cd}\pm1.06$	$6.91^{ab}\pm0.09$
	14	$9.41^{d}\pm1.44$	$25.70^{d}\pm1.23$	$7.12^{b}\pm0.14$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.3 ผลของค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	TMA (mg TMA-N/100g)	TVB-N (mg N/100g)	pH
MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	$3.80^{a}\pm0.89$	$4.78^{a}\pm0.46$	$6.70^{b}\pm0.05$
	4	$2.74^{a}\pm0.58$	$5.26^{a}\pm0.83$	$6.54^{a}\pm0.63$
	7	$6.15^{b}\pm0.84$	$9.15^{b}\pm0.41$	$6.70^{a}\pm0.07$
	11	$6.89^{b}\pm1.26$	$15.56^{c}\pm0.76$	$6.73^{b}\pm0.06$
	14	$9.47^{c}\pm0.31$	$22.13^{d}\pm0.90$	$6.98^{c}\pm0.11$
	18	$12.00^{d}\pm1.98$	$28.71^{e}\pm1.01$	$7.08^{c}\pm0.07$
น้ำมันหอมระเหย +บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	$3.80^{a}\pm0.89$	$4.78^{a}\pm0.46$	$6.70^{b}\pm0.05$
	4	$4.04^{a}\pm0.61$	$8.61^{b}\pm0.39$	$6.72^{a}\pm0.12$
	7	$7.06^{b}\pm0.32$	$13.41^{c}\pm1.82$	$6.92^{b}\pm0.10$
	11	$10.33^{c}\pm1.05$	$20.37^{d}\pm0.67$	$6.97^{b}\pm0.07$
	14	$14.12^{d}\pm1.07$	$27.93^{e}\pm1.23$	7.11 ± 0.14
น้ำมันหอมระเหย +MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	$3.80^{a}\pm0.89$	$4.78^{a}\pm0.46$	$6.70^{b}\pm0.05$
	4	$2.46^{a}\pm0.06$	$5.67^{a}\pm0.53$	$6.57^{a}\pm0.03$
	7	$3.13^{a}\pm0.32$	$9.44^{b}\pm0.23$	$6.50^{b}\pm0.06$
	11	$5.87^{b}\pm0.49$	$15.74^{c}\pm1.22$	$6.78^{b}\pm0.02$
	14	$7.71^{c}\pm0.13$	$22.15^{d}\pm1.55$	$6.95^{c}\pm0.05$
	18	$10.23^{d}\pm0.20$	$30.83^{c}\pm0.44$	$7.07^{d}\pm0.07$
น้ำมันหอมระเหย +MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	$3.80^{a}\pm0.89$	$4.78^{a}\pm0.46$	$6.70^{b}\pm0.05$
	4	$2.44^{a}\pm0.29$	$5.29^{a}\pm0.21$	$6.51^{a}\pm0.08$
	7	$3.54^{ab}\pm1.01$	$6.36^{a}\pm0.27$	$6.58^{a}\pm0.07$
	11	$4.69^{b}\pm1.08$	$11.46^{b}\pm1.74$	$6.72^{b}\pm0.06$
	14	$7.55^{c}\pm0.87$	$19.56^{c}\pm1.23$	$6.80^{b}\pm0.06$
	18	$10.37^{d}\pm1.17$	$25.95^{d}\pm2.73$	$6.93^{c}\pm0.02$
	21	$14.64^{e}\pm0.88$	$30.03^{c}\pm2.04$	$7.14^{d}\pm0.10$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.4 ผลของค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกะเพราในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	TMA (mg TMA-N/100g)	TVB-N (mg N/100g)	pH
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	$2.28^{a}\pm0.06$	$5.61^{a}\pm1.21$	$6.80^{a}\pm0.16$
	4	$4.29^{b}\pm0.18$	$8.27^{b}\pm0.67$	$6.83^{ab}\pm0.01$
	7	$8.98^{c}\pm0.65$	$16.55^{c}\pm1.02$	$7.13^{b}\pm0.03$
	11	$15.28^{d}\pm1.40$	$21.57^{d}\pm0.47$	$7.64^{c}\pm0.03$
MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	$2.28^{a}\pm0.06$	$5.61^{a}\pm1.21$	$6.80^{a}\pm0.16$
	4	$2.12^{a}\pm0.13$	$7.48^{b}\pm0.75$	$6.66^{a}\pm0.03$
	7	$4.75^{b}\pm0.72$	$9.82^{c}\pm0.87$	$6.80^{ab}\pm0.03$
	11	$7.17^{c}\pm0.29$	$16.48^{d}\pm0.46$	$6.86^{ab}\pm0.02$
	14	$10.24^{d}\pm0.23$	$26.73^{e}\pm0.37$	$7.14^{b}\pm0.06$
MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	$2.28^{a}\pm0.06$	$5.61^{a}\pm1.21$	$6.80^{a}\pm0.16$
	4	$1.81^{a}\pm0.32$	$6.26^{b}\pm1.20$	$6.63^{a}\pm0.05$
	7	$3.30^{b}\pm0.24$	$9.24^{b}\pm0.36$	$6.66^{a}\pm0.08$
	11	$5.32^{c}\pm0.30$	$16.04^{c}\pm1.73$	$6.71^{ab}\pm0.01$
	14	$8.98^{d}\pm0.83$	$24.73^{d}\pm0.25$	$6.88^{ab}\pm0.05$
	18	$13.60^{e}\pm1.12$	$29.88^{e}\pm3.47$	$6.96^{b}\pm0.01$
น้ำมันหอมระเหย +บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	$2.28^{a}\pm0.06$	$5.61^{a}\pm1.21$	$6.80^{a}\pm0.16$
	4	$3.84^{ab}\pm0.30$	$7.89^{a}\pm1.12$	$6.68^{a}\pm0.01$
	7	$6.69^{b}\pm1.36$	$13.39^{ab}\pm2.13$	$7.16^{b}\pm0.04$
	11	$11.06^{c}\pm1.57$	$18.33^{b}\pm0.24$	$7.32^{b}\pm0.06$
น้ำมันหอมระเหย +MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	$2.28^{a}\pm0.06$	$5.61^{a}\pm1.21$	$6.80^{a}\pm0.16$
	4	$1.99^{a}\pm0.23$	$6.73^{a}\pm0.43$	$6.62^{a}\pm0.07$
	7	$3.88^{b}\pm0.78$	$9.47^{b}\pm0.50$	$6.67^{a}\pm0.05$
	11	$4.97^{c}\pm1.06$	$16.76^{c}\pm1.01$	$6.79^{a}\pm0.03$
	14	$7.37^{d}\pm0.49$	$21.17^{d}\pm0.46$	$7.14^{b}\pm0.01$
	18	$10.80^{e}\pm0.96$	$28.62^{e}\pm2.17$	$7.12^{b}\pm0.06$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.4 ผลของค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกะเพราในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	TMA (mg TMA-N/100g)	TVB-N (mg N/100g)	pH
น้ำมันหอมระเหย +MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	$2.28^{a}\pm0.06$	$5.61^{a}\pm1.21$	$6.80^{a}\pm0.16$
	4	$1.72^{a}\pm0.41$	$5.17^{a}\pm0.63$	$6.56^{a}\pm0.06$
	7	$3.38^{a}\pm0.15$	$9.02^{b}\pm0.53$	$6.65^{b}\pm0.04$
	11	$4.98^{b}\pm0.83$	$15.07^{c}\pm0.36$	$6.73^{b}\pm0.08$
	14	$6.23^{c}\pm0.52$	$18.43^{d}\pm1.53$	$6.82^{b}\pm0.01$
	18	$9.53^{c}\pm0.77$	$25.61^{e}\pm0.75$	$6.93^{c}\pm0.03$
	21	$15.53^{d}\pm1.15$	$32.16^{f}\pm0.65$	$6.99^{c}\pm0.06$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

คุณสมบัติทางกายภาพ

ตาราง ค.5 ผลปริมาณก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกระเทียมในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	ออกซิเจน (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	$20.97^{d}\pm0.06$	$0.30^{a}\pm0.20$
	4	$15.47^{c}\pm1.53$	$0.53^{a}\pm0.92$
	7	$6.73^{b}\pm1.16$	$2.80^{b}\pm0.46$
	11	$6.73^{a}\pm1.16$	$5.27^{c}\pm0.35$
MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	$0.87^{b}\pm0.45$	$40.53^{d}\pm0.47$
	4	$0.23^{a}\pm0.40$	$31.90^{a}\pm0.44$
	7	$0.03^{a}\pm0.06$	$36.17^{c}\pm1.88$
	11	$0.07^{a}\pm0.12$	$34.37^{bc}\pm0.15$
	14	$0.01^{a}\pm0.01$	$33.37^{ab}\pm1.48$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.5 ผลปริมาณก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกระเทียมในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	ออกซิเจน (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)
MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	0.83^{b}±0.61	60.80^{d}±0.56
	4	0.03^{a}±0.06	52.13^{c}±5.46
	7	0.00^{a}±0.00	47.00^{bc}±0.61
	11	0.23^{a}±0.40	43.10^{ab}±2.70
	14	0.07^{a}±0.05	41.70^{ab}±2.00
	18	0.07^{a}±0.12	37.87^{a}±2.90
น้ำมันหอมระเหย +บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	20.97^{d}±0.06	0.30^{a}±0.20
	4	19.40^{cd}±0.66	1.90^{b}±0.46
	7	18.27^{bc}±1.14	2.80^{bc}±0.56
	11	17.27^{b}±1.50	2.13^{c}±0.12
	14	12.40^{a}±1.21	3.53^{d}±0.32
น้ำมันหอมระเหย +MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	0.87^{b}±0.45	40.53^{c}±0.47
	4	0.90^{b}±0.20	30.50^{b}±5.08
	7	0.20^{a}±0.17	28.57^{b}±1.19
	11	0.10^{a}±0.10	25.43^{ab}±3.51
	14	0.00^{a}±0.00	27.67^{b}±5.57
	18	0.03^{a}±0.06	21.30^{a}±0.70
น้ำมันหอมระเหย +MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	0.83^{b}±0.61	60.80^{a}±0.56
	4	1.17^{b}±0.21	49.03^{c}±5.18
	7	0.23^{a}±0.40	45.73^{c}±1.70
	11	0.27^{a}±0.25	37.80^{b}±6.70
	14	0.00^{a}±0.00	33.53^{ab}±5.03
	18	0.07^{a}±0.12	32.80^{ab}±2.39
	21	0.01^{a}±0.01	29.70^{a}±1.35

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง ค.6 ผลปริมาณก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งที่ในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	ออกซิเจน (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	$20.87^{c}\pm0.06$	$0.10^{a}\pm0.10$
	4	$19.30^{c}\pm0.50$	$0.87^{a}\pm0.21$
	7	$10.60^{b}\pm1.59$	$2.50^{b}\pm0.85$
	11	$3.70^{a}\pm2.17$	$5.07^{c}\pm0.47$
MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	$0.97^{b}\pm0.25$	$40.37^{c}\pm0.21$
	4	$0.30^{a}\pm0.52$	$30.67^{b}\pm1.70$
	7	$0.00^{a}\pm0.00$	$27.07^{ab}\pm1.86$
	11	$0.03^{a}\pm0.06$	$23.23^{a}\pm1.75$
	14	$0.03^{a}\pm0.06$	$22.77^{a}\pm1.46$
MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	$1.17^{c}\pm0.16$	$60.97^{d}\pm0.84$
	4	$0.00^{a}\pm0.00$	$51.63^{c}\pm2.17$
	7	$0.00^{a}\pm0.00$	$44.23^{b}\pm2.82$
	11	$0.00^{a}\pm0.00$	$42.73^{ab}\pm3.11$
	14	$0.03^{a}\pm0.06$	$41.50^{ab}\pm1.90$
	18	$0.27^{b}\pm0.25$	$39.53^{a}\pm1.55$
น้ำมันหอมระเหย +บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	$20.87^{b}\pm0.06$	$0.10^{a}\pm0.10$
	4	$19.77^{b}\pm0.25$	$1.03^{b}\pm0.15$
	7	$18.80^{b}\pm0.72$	$1.97^{c}\pm0.15$
	11	$15.37^{ab}\pm1.37$	$3.63^{d}\pm0.32$
	14	$11.82^{a}\pm1.20$	$6.03^{e}\pm0.21$
น้ำมันหอมระเหย +MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	$0.97^{b}\pm0.25$	$40.37^{c}\pm0.21$
	4	$0.27^{a}\pm0.31$	$29.93^{b}\pm4.89$
	7	$0.00^{a}\pm0.00$	$26.43^{b}\pm2.84$
	11	$0.00^{a}\pm0.00$	$21.10^{a}\pm1.25$
	14	$0.03^{a}\pm0.06$	$20.03^{a}\pm1.70$
	18	$0.47^{b}\pm0.81$	$18.40^{a}\pm0.70$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.6 ผลปริมาณก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งที่ในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	ออกซิเจน (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)
น้ำมันหอมระเหย +MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	$1.17^{b}\pm0.16$	$60.97^{d}\pm0.84$
	4	$0.20^{a}\pm0.35$	$50.40^{c}\pm3.12$
	7	$0.00^{a}\pm0.00$	$44.20^{b}\pm0.17$
	11	$0.00^{a}\pm0.00$	$38.47^{a}\pm0.29$
	14	$0.07^{a}\pm0.06$	$38.73^{a}\pm2.05$
	18	$0.30^{a}\pm0.36$	$37.17^{a}\pm1.80$
	21	$0.30^{a}\pm0.36$	$36.80^{a}\pm1.71$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.7 ผลปริมาณก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกะเพราในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	ออกซิเจน (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	$20.03^{c}\pm0.40$	$0.30^{a}\pm0.20$
	4	$19.86^{c}\pm1.32$	$1.67^{a}\pm1.46$
	7	$10.23^{b}\pm1.06$	$4.33^{b}\pm1.03$
	11	$4.53^{a}\pm1.29$	$5.57^{b}\pm1.13$
MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	$1.13^{b}\pm0.03$	$40.53^{c}\pm0.47$
	4	$0.00^{a}\pm0.00$	$33.03^{b}\pm3.63$
	7	$0.07^{a}\pm0.06$	$26.56^{a}\pm1.72$
	11	$0.03^{a}\pm0.06$	$25.23^{a}\pm1.92$
	14	$0.01^{a}\pm0.00$	$23.17^{a}\pm2.35$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.7 ผลปริมาณก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งที่ในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกะเพราในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	ออกซิเจน (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)
MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	0.13^{b}±0.15	60.80^{e}±0.56
	4	0.03^{a}±0.06	57.33^{d}±1.60
	7	0.00^{a}±0.00	46.23^{c}±2.10
	11	0.00^{a}±0.00	40.17^{b}±4.14
	14	0.00^{a}±0.00	32.50^{a}±3.21
	18	0.07^{a}±0.12	28.40^{a}±2.72
น้ำมันหอมระเหย +บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	20.03^{b}±0.40	0.30^{a}±0.20
	4	19.77^{b}±0.71	1.23^{b}±0.31
	7	15.37^{ab}±1.37	5.90^{c}±0.62
	11	11.82^{a}±1.13	0.33^{a}±0.15
น้ำมันหอมระเหย +MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	1.13^{c}±0.03	40.53^{b}±0.47
	4	0.91^{b}±0.13	37.93^{b}±1.95
	7	0.00^{a}±5.86	27.03^{a}±1.14
	11	0.00^{a}±0.00	26.03^{a}±2.29
	14	0.10^{b}±0.12	25.43^{a}±3.00
	18	0.03^{a}±0.06	23.87^{a}±1.07
น้ำมันหอมระเหย +MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	0.13^{c}±0.15	60.80^{f}±0.56
	4	0.23^{b}±0.15	57.20^{e}±1.35
	7	0.00^{a}±0.00	45.23^{d}±0.40
	11	0.00^{a}±0.00	37.53^{c}±3.13
	14	0.00^{a}±0.00	33.10^{b}±1.49
	18	0.03^{a}±0.06	27.37^{a}±2.12
	21	0.03^{a}±0.06	27.82^{a}±0.06

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง ค.8 ผลของการสูญเสียน้ำหนัก, ค่า a_w และค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกระเทียมในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	a_w	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	-	$0.979^{a}\pm0.009$	$24.74^{b}\pm0.45$
	4	$5.84^{ns}\pm0.11$	$0.990^{ab}\pm0.005$	$23.39^{b}\pm0.74$
	7	$5.86^{ns}\pm0.34$	$0.984^{ab}\pm0.005$	$18.09^{a}\pm1.67$
	11	$5.94^{ns}\pm0.57$	$0.991^{b}\pm0.003$	$16.60^{a}\pm1.60$
MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	-	$0.979^{a}\pm0.009$	$24.74^{c}\pm0.45$
	4	$7.05^{a}\pm0.85$	$0.983^{b}\pm0.002$	$22.96^{c}\pm1.33$
	7	$7.78^{a}\pm0.48$	$0.981^{b}\pm0.003$	$20.75^{b}\pm167$
	11	$9.19^{b}\pm0.49$	$0.975^{b}\pm0.002$	$22.56^{bc}\pm1.73$
	14	$9.31^{b}\pm0.11$	$0.964^{a}\pm0.004$	$14.72^{a}\pm0.15$
MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	-	$0.979^{b}\pm0.009$	$24.74^{c}\pm0.45$
	4	$8.82^{a}\pm0.25$	$0.972^{b}\pm0.006$	$23.21^{c}\pm2.27$
	7	$8.96^{a}\pm0.76$	$0.969^{ab}\pm0.006$	$23.72^{c}\pm1.86$
	11	$9.38^{a}\pm0.76$	$0.969^{ab}\pm0.005$	$24.56^{c}\pm1.20$
	14	$10.70^{a}\pm1.53$	$0.966^{a}\pm0.005$	$18.46^{b}\pm1.37$
	18	$13.47^{b}\pm1.68$	$0.966^{a}\pm0.008$	$13.44^{a}\pm2.28$
น้ำมันหอมระเหย +บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	-	$0.979^{a}\pm0.009$	$24.74^{c}\pm0.45$
	4	6.32 ± 0.63	$0.990^{b}\pm0.007$	$23.18^{c}\pm2.27$
	7	6.69 ± 0.08	$0.988^{ab}\pm0.003$	$16.65^{b}\pm1.13$
	11	6.51 ± 0.18	$0.980^{ab}\pm0.002$	$19.08^{b}\pm0.79$
	14	6.79 ± 0.40	$0.980^{ab}\pm0.001$	$11.15^{a}\pm1.70$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

^{ns}แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ค.8 ผลของการสูญเสียน้ำหนัก, ค่า a_w และค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกระเทียมในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	a_w	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)
น้ำมันหอมระเหย +MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	-	$0.979^{b}\pm0.009$	$24.74^{b}\pm0.45$
	4	$12.51^{a}\pm1.00$	$0.986^{c}\pm0.004$	$20.27^{b}\pm3.08$
	7	$12.82^{a}\pm0.18$	$0.982^{bc}\pm0.005$	$20.37^{b}\pm0.23$
	11	$13.17^{a}\pm0.31$	$0.973^{ab}\pm0.004$	$23.53^{b}\pm2.11$
	14	$15.23^{b}\pm0.50$	$0.970^{a}\pm0.004$	$14.25^{a}\pm2.99$
	18	$16.82^{c}\pm0.98$	$0.976^{abc}\pm0.004$	$13.65^{a}\pm0.93$
น้ำมันหอมระเหย +MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	-	$0.979^{b}\pm0.009$	$24.74^{d}\pm0.45$
	4	$12.54^{a}\pm1.42$	$0.976^{bc}\pm0.002$	$20.60^{bc}\pm1.81$
	7	$13.36^{ab}\pm0.48$	$0.969^{ab}\pm0.001$	$22.22^{bcd}\pm0.26$
	11	$14.90^{bc}\pm1.58$	$0.969^{ab}\pm0.004$	$27.13^{e}\pm2.40$
	14	$15.69^{b}\pm0.41$	$0.966^{a}\pm0.006$	$22.61^{cd}\pm1.20$
	18	$18.33^{d}\pm0.69$	$0.965^{a}\pm0.004$	$19.81^{b}\pm0.26$
	21	$19.55^{d}\pm0.49$	$0.971^{abc}\pm0.005$	$16.11^{a}\pm0.96$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.9 ผลของการสูญเสียน้ำหนัก, ค่า a_w และค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	a_w	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	-	$0.984^{a}\pm0.008$	$21.18^{b}\pm1.52$
	4	$6.46^{ns}\pm1.33$	$0.989^{ab}\pm0.002$	$20.06^{b}\pm1.23$
	7	$6.68^{ns}\pm0.68$	$0.986^{ab}\pm0.009$	$18.86^{b}\pm2.00$
	11	$5.52^{ns}\pm1.58$	$0.996^{b}\pm0.003$	$14.61^{a}\pm1.23$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ค.9 ผลของการสูญเสียน้ำหนัก, ค่า a_w และค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	a_w	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)
MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	-	$0.984^{ab}\pm0.008$	$21.18^{b}\pm1.52$
	4	$7.94^{a}\pm0.72$	$0.979^{a}\pm0.006$	$20.21^{b}\pm1.99$
	7	$8.17^{a}\pm0.77$	$0.983^{ab}\pm0.007$	$25.18^{b}\pm4.69$
	11	$9.68^{b}\pm1.04$	$0.989^{b}\pm0.003$	$27.60^{b}\pm3.73$
	14	$9.42^{b}\pm1.57$	$0.987^{ab}\pm0.005$	$18.76^{a}\pm3.37$
MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	-	$0.984^{ab}\pm0.008$	$21.18^{b}\pm1.52$
	4	$8.51^{a}\pm0.59$	$0.984^{ab}\pm0.005$	$20.80^{a}\pm1.93$
	7	$10.30^{ab}\pm1.70$	$0.987^{b}\pm0.004$	$21.82^{a}\pm2.61$
	11	$11.64^{b}\pm1.09$	$0.981^{ab}\pm0.003$	$26.09^{b}\pm4.68$
	14	$11.46^{b}\pm0.80$	$0.979^{ab}\pm0.007$	$27.18^{b}\pm6.08$
	18	$12.50^{b}\pm2.14$	$0.974^{a}\pm0.006$	$17.75^{a}\pm4.10$
น้ำมันหอมระเหย +บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	-	$0.984^{a}\pm0.008$	$21.18^{ab}\pm1.52$
	4	$7.13^{ns}\pm1.05$	$0.990^{ab}\pm0.005$	$22.85^{b}\pm8.10$
	7	$7.79^{ns}\pm1.19$	$0.990^{ab}\pm0.003$	$18.73^{ab}\pm1.61$
	14	$7.62^{ns}\pm1.02$	$0.995^{ab}\pm0.002$	$12.60^{a}\pm0.36$
น้ำมันหอมระเหย +MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	-	$0.984^{ab}\pm0.008$	$21.18^{b}\pm1.52$
	4	$13.20^{a}\pm1.92$	$0.986^{ab}\pm0.003$	$21.32^{a}\pm7.06$
	7	$14.58^{ab}\pm1.52$	$0.988^{b}\pm0.001$	$22.02^{ab}\pm5.17$
	11	$17.31^{b}\pm0.70$	$0.983^{ab}\pm0.002$	$25.30^{b}\pm1.47$
	14	$17.20^{b}\pm2.40$	$0.982^{ab}\pm0.008$	$22.43^{b}\pm3.86$
	18	$17.91^{b}\pm2.28$	$0.977^{a}\pm0.007$	$18.91^{a}\pm1.84$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ค.9 ผลของการสูญเสียน้ำหนัก, ค่า a_w และค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	a_w	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)
น้ำมันหอมระเหย +MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	-	$0.984^{d}\pm0.008$	$21.18^{b}\pm1.52$
	4	$13.07^{a}\pm1.72$	$0.980^{c}\pm0.002$	$25.50^{ab}\pm1.61$
	7	$15.58^{b}\pm0.79$	$0.977^{b}\pm0.004$	$22.53^{ab}\pm5.48$
	11	$18.68^{c}\pm0.94$	$0.980^{c}\pm0.003$	$28.97^{b}\pm4.41$
	14	$18.48^{c}\pm2.09$	$0.977^{b}\pm0.003$	$26.76^{ab}\pm2.07$
	18	$20.81^{cd}\pm1.15$	$0.977^{b}\pm0.008$	$22.10^{ab}\pm3.75$
	21	$21.28^{d}\pm1.62$	$0.974^{a}\pm0.008$	$16.77^{a}\pm1.54$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.10 ผลของการสูญเสียน้ำหนัก, ค่า a_w และค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกะเพราในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	a_w	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	-	$0.981^{a}\pm0.005$	$22.95^{c}\pm0.99$
	4	$4.61^{ns}\pm0.34$	$0.984^{a}\pm0.002$	$20.06^{b}\pm1.23$
	7	$5.59^{ns}\pm0.12$	$0.991^{b}\pm0.003$	$18.86^{b}\pm2.00$
	11	$5.42^{ns}\pm0.54$	$0.995^{b}\pm0.004$	$17.61^{a}\pm1.32$
MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	-	$0.981^{b}\pm0.005$	$22.95^{b}\pm0.99$
	4	$6.70^{a}\pm0.47$	$0.977^{a}\pm0.004$	$22.21^{b}\pm1.99$
	7	$7.62^{a}\pm0.11$	$0.982^{b}\pm0.001$	$20.18^{a}\pm4.69$
	11	$7.89^{a}\pm1.03$	$0.975^{a}\pm0.002$	$22.60^{b}\pm3.73$
	14	$11.57^{b}\pm1.32$	$0.971^{a}\pm0.003$	$24.76^{c}\pm3.37$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

^{ns}แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ค.10 ผลของการสูญเสียน้ำหนัก, ค่า a_w และค่าการต้านแรงตัดขาดของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกะเพราในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	a_w	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)
MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	-	$0.981^{b}\pm0.005$	$22.95^{a}\pm0.99$
	4	$6.37^{a}\pm0.54$	$0.979^{a}\pm0.006$	$23.80^{b}\pm1.93$
	7	$7.67^{b}\pm0.29$	$0.979^{a}\pm0.001$	$23.82^{b}\pm2.61$
	11	$8.48^{b}\pm0.65$	$0.969^{a}\pm0.005$	$32.09^{c}\pm4.68$
	14	$12.91^{c}\pm0.61$	$0.972^{b}\pm0.006$	$24.18^{b}\pm6.08$
	18	$13.96^{c}\pm1.08$	$0.970^{a}\pm0.004$	$23.75^{b}\pm4.10$
น้ำมันหอมระเหย +บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	-	$0.981^{a}\pm0.005$	$22.95^{b}\pm0.99$
	4	$4.99^{ns}\pm0.18$	$0.983^{ab}\pm0.002$	$23.18^{b}\pm2.27$
	7	$5.63^{ns}\pm0.49$	$0.988^{ab}\pm0.002$	$16.64^{a}\pm1.13$
	14	$5.56^{ns}\pm0.96$	$0.991^{b}\pm0.007$	$19.07^{ab}\pm0.78$
น้ำมันหอมระเหย +MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	-	$0.981^{c}\pm0.005$	$22.95^{b}\pm0.99$
	4	$9.69^{a}\pm1.10$	$0.980^{bc}\pm0.006$	$20.27^{a}\pm3.08$
	7	$10.29^{b}\pm0.52$	$0.981^{c}\pm0.001$	$20.37^{a}\pm0.23$
	11	$12.59^{c}\pm1.72$	$0.973^{ab}\pm0.004$	$22.53^{b}\pm3.72$
	14	$17.59^{d}\pm1.18$	$0.969^{a}\pm0.004$	$24.25^{c}\pm2.99$
	18	$18.00^{d}\pm0.98$	$0.973^{ab}\pm0.005$	$23.65^{c}\pm0.93$
น้ำมันหอมระเหย +MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	-	$0.981^{b}\pm0.005$	$22.95^{a}\pm0.99$
	4	$10.62^{a}\pm1.07$	$0.979^{bc}\pm0.010$	$20.60^{a}\pm1.81$
	7	$10.18^{a}\pm0.31$	$0.977^{ab}\pm0.005$	$22.22^{a}\pm0.26$
	11	$13.76^{b}\pm0.67$	$0.969^{a}\pm0.004$	$33.79^{c}\pm3.76$
	14	$18.33^{c}\pm0.67$	$0.969^{a}\pm0.005$	$24.78^{b}\pm1.88$
	18	$18.65^{c}\pm0.36$	$0.067^{a}\pm0.004$	$26.61^{b}\pm3.63$
	21	$20.29^{d}\pm1.28$	$0.969^{a}\pm0.004$	$24.11^{b}\pm0.96$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ค.11 ผลของค่าสีของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกระเทียมในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	L*	a*	b*
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	$60.05^{a}\pm0.93$	$0.36^{a}\pm0.42$	$3.04^{a}\pm0.26$
	4	$64.28^{b}\pm1.39$	$1.51^{b}\pm3.26$	$6.34^{b}\pm0.72$
	7	$67.99^{c}\pm1.59$	$4.12^{c}\pm0.21$	$6.91^{c}\pm0.11$
	11	$59.64^{a}\pm2.21$	$6.74^{d}\pm0.67$	$7.81^{d}\pm0.37$
MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	$60.05^{a}\pm0.93$	$0.36^{a}\pm0.42$	$3.04^{a}\pm0.26$
	4	$63.22^{ab}\pm0.71$	$2.46^{b}\pm6.10$	$5.90^{b}\pm1.36$
	7	$67.22^{c}\pm2.56$	$4.85^{c}\pm1.04$	$7.85^{d}\pm1.10$
	11	$64.62^{bc}\pm2.63$	$5.45^{c}\pm0.66$	$7.53^{cd}\pm1.73$
	14	$62.21^{ab}\pm2.16$	$6.19^{c}\pm0.28$	$7.16^{c}\pm0.15$
MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	$60.05^{a}\pm0.93$	$0.36^{a}\pm0.42$	$3.04^{a}\pm0.26$
	4	$68.29^{c}\pm3.56$	$3.97^{b}\pm0.77$	$6.15^{b}\pm0.53$
	7	$63.83^{bc}\pm1.84$	$3.72^{b}\pm0.75$	$6.56^{b}\pm0.34$
	11	$62.03^{ab}\pm1.83$	$6.52^{c}\pm0.85$	$7.34^{c}\pm0.23$
	14	$63.16^{ab}\pm2.87$	$6.73^{c}\pm0.33$	$7.04^{c}\pm0.12$
	18	$62.52^{ab}\pm0.35$	$6.89^{c}\pm0.52$	$7.42^{c}\pm0.58$
น้ำมันหอมระเหย +บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	$61.29^{a}\pm1.05$	$0.81^{a}\pm0.60$	$2.78^{a}\pm0.36$
	4	$66.96^{b}\pm2.65$	$3.98^{b}\pm0.77$	$6.70^{b}\pm2.27$
	7	$74.54^{c}\pm1.29$	$4.79^{c}\pm0.83$	$7.23^{c}\pm0.95$
	11	$65.14^{b}\pm2.47$	$4.19^{b}\pm0.69$	$7.15^{c}\pm0.78$
	14	$60.21^{a}\pm1.05$	$5.85^{d}\pm0.43$	$7.62^{d}\pm0.69$
น้ำมันหอมระเหย +MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	$61.29^{a}\pm1.05$	$0.81^{a}\pm0.60$	$2.78^{a}\pm0.36$
	4	$64.91^{b}\pm2.04$	$2.58^{b}\pm0.24$	$6.84^{b}\pm0.49$
	7	$70.66^{c}\pm2.68$	$4.19^{c}\pm1.68$	$6.56^{b}\pm1.48$
	11	$65.55^{b}\pm2.00$	$3.83^{b}\pm0.70$	$7.59^{c}\pm0.37$
	14	$64.33^{b}\pm2.96$	$3.16^{ab}\pm0.09$	$8.87^{d}\pm0.40$
	18	$63.38^{ab}\pm2.54$	$3.16^{ab}\pm0.86$	$10.02^{e}\pm0.87$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.11 ผลของค่าสีของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกระเทียมในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	L*	a*	b*
น้ำมันหอมระเหย +MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	$61.29^{a}\pm1.05$	$0.81^{a}\pm0.60$	$2.78^{a}\pm0.36$
	4	$65.55^{bc}\pm0.71$	$1.09^{ab}\pm0.68$	$7.98^{b}\pm2.01$
	7	$70.94^{d}\pm1.63$	$1.31^{b}\pm0.88$	$8.23^{c}\pm0.07$
	11	$67.46^{c}\pm0.71$	$2.10^{c}\pm1.25$	$7.50^{b}\pm0.76$
	14	$65.39^{bc}\pm2.57$	$2.83^{d}\pm0.61$	$9.17^{c}\pm0.35$
	18	$63.68^{b}\pm2.20$	$5.16^{e}\pm0.93$	$9.88^{d}\pm0.78$
	21	$63.41^{b}\pm0.93$	$5.24^{f}\pm1.20$	$10.48^{e}\pm1.03$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.12 ผลของค่าสีของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	L*	a*	b*
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	$61.11^{a}\pm1.53$	$0.02^{a}\pm0.53$	$2.07^{a}\pm1.52$
	4	$60.06^{b}\pm1.23$	$2.80^{b}\pm1.05$	$3.09^{a}\pm0.51$
	7	$58.86^{b}\pm2.00$	$2.95^{b}\pm0.62$	$3.67^{a}\pm1.32$
	11	$60.61^{a}\pm1.23$	$3.92^{b}\pm1.12$	$6.70^{b}\pm1.18$
MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	$61.11^{a}\pm1.53$	$0.02^{a}\pm0.53$	$2.07^{a}\pm1.52$
	4	$60.21^{a}\pm1.19$	$0.22^{b}\pm0.89$	$2.34^{a}\pm0.13$
	7	$62.18^{a}\pm4.69$	$1.69^{c}\pm0.76$	$4.15^{b}\pm1.22$
	11	$64.60^{a}\pm3.37$	$0.09^{a}\pm1.25$	$5.22^{b}\pm1.71$
	14	$59.76^{b}\pm3.37$	$1.39^{c}\pm0.87$	$7.51^{c}\pm0.54$
	18	$58.09^{b}\pm3.37$	$2.01^{d}\pm0.35$	$8.11^{d}\pm0.65$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.12 ผลของค่าสีของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	L*	a*	b*
MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	$61.11^{a}\pm1.53$	$0.02^{a}\pm0.53$	$2.07^{a}\pm1.52$
	4	$60.90^{a}\pm1.93$	$1.64^{c}\pm0.53$	$1.70^{a}\pm0.54$
	7	$61.82^{a}\pm2.61$	$0.54^{b}\pm0.37$	$2.75^{a}\pm1.15$
	11	$66.09^{b}\pm4.68$	$0.44^{b}\pm057$	$4.76^{b}\pm1.18$
	14	$59.18^{b}\pm6.08$	$2.13^{cd}\pm0.81$	$6.03^{c}\pm0.95$
	18	$60.09^{a}\pm4.10$	$2.73^{d}\pm0.32$	$7.36^{c}\pm0.76$
น้ำมันหอมระเหย +บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	$18.71^{ab}\pm1.53$	$-0.31^{a}\pm1.27$	$18.01^{c}\pm1.57$
	4	$19.85^{b}\pm8.10$	$-0.96^{b}\pm3.11$	$14.28^{b}\pm2.00$
	7	$18.73^{ab}\pm1.61$	$-0.42^{b}\pm1.35$	$13.95^{b}\pm2.35$
	11	$15.30^{a}\pm1.47$	$1.56^{c}\pm0.25$	$7.63^{a}\pm1.83$
น้ำมันหอมระเหย +MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	$18.71^{ab}\pm1.53$	$-0.31^{a}\pm1.27$	$18.01^{c}\pm1.57$
	4	$21.32^{ab}\pm7.06$	$-1.36^{ab}\pm0.27$	$18.84^{c}\pm0.54$
	7	$22.07^{ab}\pm5.17$	$-1.09^{ab}\pm1.55$	$17.98^{c}\pm1.49$
	11	$26.30^{b}\pm1.17$	$0.23^{bc}\pm0.93$	$17.40^{c}\pm0.86$
	14	$22.43^{ab}\pm3.86$	$1.76^{c}\pm2.11$	$13.70^{b}\pm0.46$
	18	$21.25^{ab}\pm1.82$	$2.93^{d}\pm0.92$	$14.20^{b}\pm1.27$
น้ำมันหอมระเหย +MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	$18.71^{ab}\pm1.53$	$-0.31^{ab}\pm1.27$	$18.01^{bc}\pm1.57$
	4	$25.50^{ab}\pm1.61$	$-0.91^{a}\pm2.45$	$24.35^{d}\pm1.77$
	7	$22.55^{ab}\pm5.48$	$-0.92^{a}\pm1.26$	$20.38^{c}\pm3.07$
	11	$28.97^{ab}\pm4.41$	$0.10^{bc}\pm1.64$	$15.64^{b}\pm1.76$
	14	$26.76^{ab}\pm2.07$	$0.39^{b}\pm0.97$	$14.67^{ab}\pm2.23$
	18	$22.10^{ab}\pm3.75$	$2.12^{c}\pm0.04$	$13.71^{ab}\pm4.39$
	21	$20.10^{a}\pm5.05$	$1.88^{c}\pm0.46$	$14.90^{ab}\pm0.53$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.13 ผลของค่าสีของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกะเพราในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	L*	a*	b*
บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 1)	0	$62.98^{a}\pm1.46$	$1.36^{a}\pm0.08$	$4.34^{a}\pm0.45$
	4	$65.19^{b}\pm2.57$	$3.46^{b}\pm1.62$	$6.10^{a}\pm1.44$
	7	$60.65^{a}\pm0.15$	$5.53^{c}\pm0.31$	$6.65^{a}\pm0.45$
	11	$51.64^{a}\pm2.21$	$7.11^{d}\pm0.15$	$10.08^{b}\pm9.98$
MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	$62.98^{a}\pm1.46$	$1.36^{a}\pm0.08$	$4.34^{a}\pm0.45$
	4	$64.30^{b}\pm1.15$	$3.53^{b}\pm1.86$	$6.09^{ab}\pm0.35$
	7	$61.60^{a}\pm0.60$	$4.13^{b}\pm0.84$	$6.71^{b}\pm0.17$
	11	$65.57^{b}\pm1.32$	$4.62^{b}\pm0.44$	$7.09^{b}\pm1.62$
	14	$63.61^{ab}\pm1.74$	$6.78^{c}\pm0.05$	$8.55^{bc}\pm0.04$
MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	$62.98^{a}\pm1.46$	$1.36^{a}\pm0.08$	$4.34^{a}\pm0.45$
	4	$64.86^{ab}\pm0.59$	$2.90^{b}\pm0.67$	$6.41^{b}\pm0.55$
	7	$63.28^{ab}\pm1.12$	$3.69^{bc}\pm0.73$	$6.25^{b}\pm0.44$
	11	$65.83^{bc}\pm1.84$	$4.41^{c}\pm0.44$	$6.90^{b}\pm0.48$
	14	$66.73^{c}\pm1.96$	$6.10^{d}\pm0.39$	$9.61^{c}\pm0.30$
	18	$61.73^{a}\pm0.65$	$8.06^{c}\pm0.93$	$9.95^{c}\pm0.64$
น้ำมันหอมระเหย +บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	$61.26^{a}\pm0.73$	$1.84^{a}\pm0.64$	$3.43^{a}\pm0.56$
	4	$63.70^{ab}\pm1.85$	$3.14^{b}\pm1.18$	$6.07^{b}\pm0.45$
	7	$66.64^{b}\pm3.31$	$5.42^{c}\pm0.49$	$7.10^{b}\pm0.32$
	11	$60.22^{a}\pm1.52$	$6.95^{d}\pm1.45$	$9.31^{c}\pm1.38$
น้ำมันหอมระเหย +MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	$61.26^{b}\pm0.73$	$1.84^{a}\pm0.64$	$3.43^{a}\pm0.56$
	4	$68.33^{c}\pm3.29$	$2.83^{b}\pm1.26$	$6.10^{b}\pm0.24$
	7	$58.81^{a}\pm0.92$	$4.70^{c}\pm0.28$	$7.14^{c}\pm0.24$
	11	$63.28^{b}\pm2.86$	$5.84^{d}\pm0.33$	$7.26^{c}\pm0.57$
	14	$66.87^{c}\pm1.94$	$9.16^{c}\pm0.72$	$10.22^{d}\pm0.22$
	18	$66.22^{c}\pm0.33$	$9.92^{c}\pm0.20$	$10.78^{d}\pm0.34$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.13 ผลของค่าสีของกุ้งในชุดการทดลองของน้ำมันหอมระเหยกะเพราในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปรที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	L*	a*	b*
	0	$61.26^{b}\pm0.73$	$1.84^{a}\pm0.64$	$3.43^{a}\pm0.56$
น้ำมัน	4	$68.33^{c}\pm3.29$	$3.39^{b}\pm1.04$	$6.46^{b}\pm0.21$
หอมระเหย	7	$58.81^{a}\pm0.92$	$4.63^{c}\pm0.34$	$7.22^{b}\pm0.55$
+MAP2:	11	$63.28^{b}\pm2.87$	$5.61^{d}\pm0.35$	$7.29^{b}\pm0.30$
60% CO_2+40% N_2	14	$66.87^{bc}\pm1.94$	$7.15^{c}\pm0.17$	$11.76^{d}\pm0.08$
(ชุดการทดลองที่ 6)	18	$64.19^{b}\pm0.89$	$7.63^{c}\pm0.77$	$10.41^{c}\pm1.21$
	21	$63.43^{b}\pm2.24$	$7.88^{b}\pm0.33$	$10.44^{c}\pm0.45$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

3. ผลการศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการเจริญของ *E. coli* ที่ถูกสร้างการปนเปื้อน

ตาราง ค.14 ผลปริมาณเชื้อ *E. coli* ของการใช้น้ำมันหอมระเหยในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ต่อกุ้งที่ถูกสร้างการปนเปื้อน *E. coli* ที่อุณหภูมิ 8±2 °C

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณเชื้อ *E. coli* (log CFU/g)		
		น้ำมันหอมระเหยกระเทียม	น้ำมันหอมระเหยตะไคร้	น้ำมันหอมระเหยกะเพรา
	0	$2.26^{a}\pm0.07$	$2.31^{a}\pm0.04$	$2.29^{a}\pm0.09$
	1	$2.53^{ab}\pm0.21$	$2.54^{ab}\pm0.09$	$2.51^{ab}\pm0.17$
บรรยากาศ	2	$2.79^{bc}\pm0.14$	$2.75^{bc}\pm0.12$	$2.74^{ab}\pm0.07$
(ชุดการทดลองที่ 1)	3	$2.94^{c}\pm0.16$	$3.11^{cd}\pm0.15$	$3.22^{bc}\pm0.11$
	4	$3.43^{d}\pm0.19$	$3.33^{d}\pm0.16$	$3.39^{c}\pm0.17$
	5	$3.67^{d}\pm0.13$	$3.63^{d}\pm0.11$	$3.74^{d}\pm0.07$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ค.14 ผลปริมาณเชื้อ *E. coli* ของการใช้น้ำมันหอมระเหยในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ต่อกุ้งที่ถูกสร้างการปนเปื้อน *E. coli* ที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

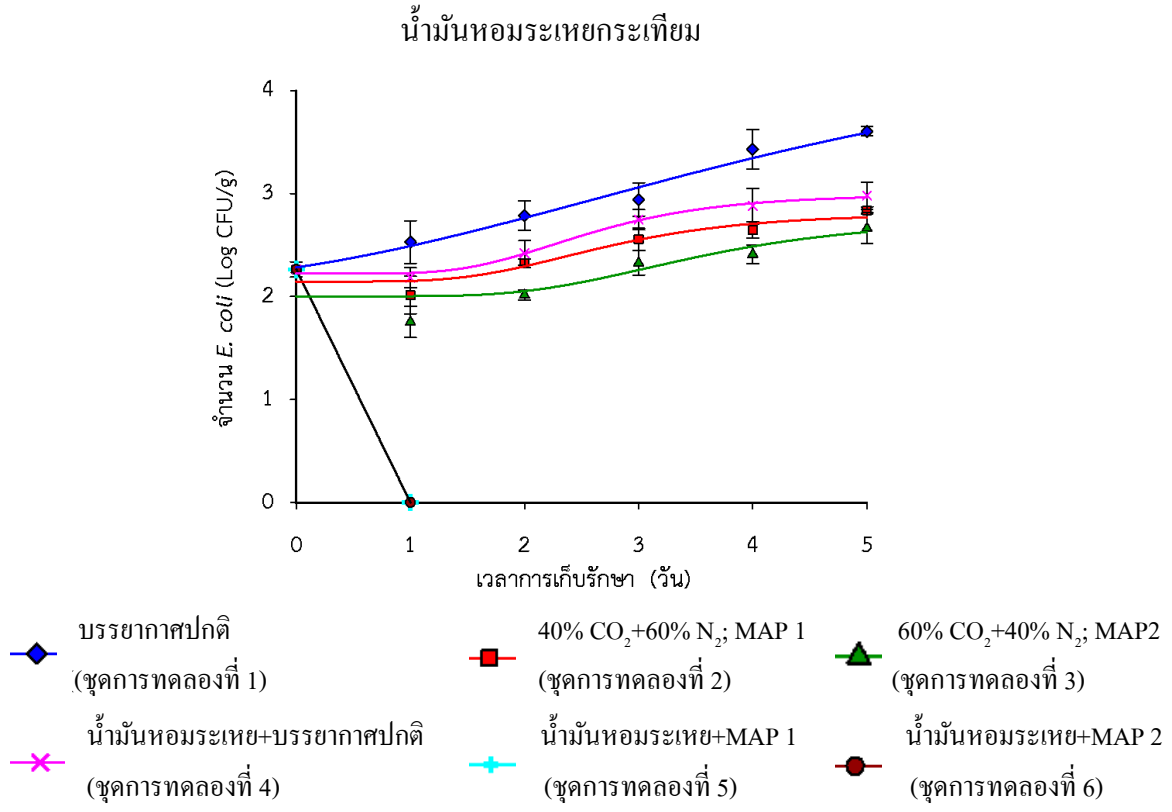
สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณเชื้อ *E. coli* (log CFU/g)		
		น้ำมันหอมระเหยกระเทียม	น้ำมันหอมระเหยตะไคร้	น้ำมันหอมระเหยกะเพรา
MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 2)	0	1.69^{a}±0.11	1.81^{a}±0.14	1.69^{a}±0.11
	1	2.01^{b}±0.18	2.02^{b}±0.10	1.90^{b}±0.05
	2	2.32^{b}±0.12	2.12^{b}±0.28	2.39^{c}±0.08
	3	2.55^{c}±0.11	2.58^{c}±0.19	2.42^{cd}±0.16
	4	2.64^{d}±0.04	2.62^{c}±0.03	2.67^{d}±0.02
	5	2.81^{e}±0.03	2.93^{d}±0.07	2.87^{e}±0.04
MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 3)	0	1.52^{a}±0.13	1.59^{a}±0.20	1.52^{a}±0.10
	1	1.95^{b}±0.15	2.00^{b}±0.05	1.75^{b}±0.04
	2	2.12^{bc}±0.11	2.21^{bc}±0.20	2.38^{c}±0.04
	3	2.34^{c}±0.12	2.39^{c}±0.09	2.54^{cd}±0.06
	4	2.56^{d}±0.15	2.54^{d}±0.14	2.61^{d}±0.04
	5	2.76^{e}±0.05	2.78^{e}±0.02	2.79^{e}±0.11
น้ำมันหอมระเหย +บรรยากาศ (ชุดการทดลองที่ 4)	0	1.76^{a}±0.40	2.00^{a}±0.27	2.02^{a}±0.19
	1	2.12^{b}±0.10	2.18^{ab}±0.20	2.20^{b}±0.12
	2	2.31^{c}±0.12	2.46^{c}±0.13	2.62^{c}±0.05
	3	2.55^{d}±0.10	2.65^{d}±0.03	2.92^{d}±0.12
	4	2.78^{e}±0.17	2.98^{e}±0.02	3.02^{d}±0.05
	5	2.81^{e}±0.13	3.04^{e}±0.05	3.35^{e}±0.13
น้ำมันหอมระเหย +MAP1: 40% CO_2+60% N_2 (ชุดการทดลองที่ 5)	0	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00
	1	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00
	2	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00
	3	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00
	4	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00
	5	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

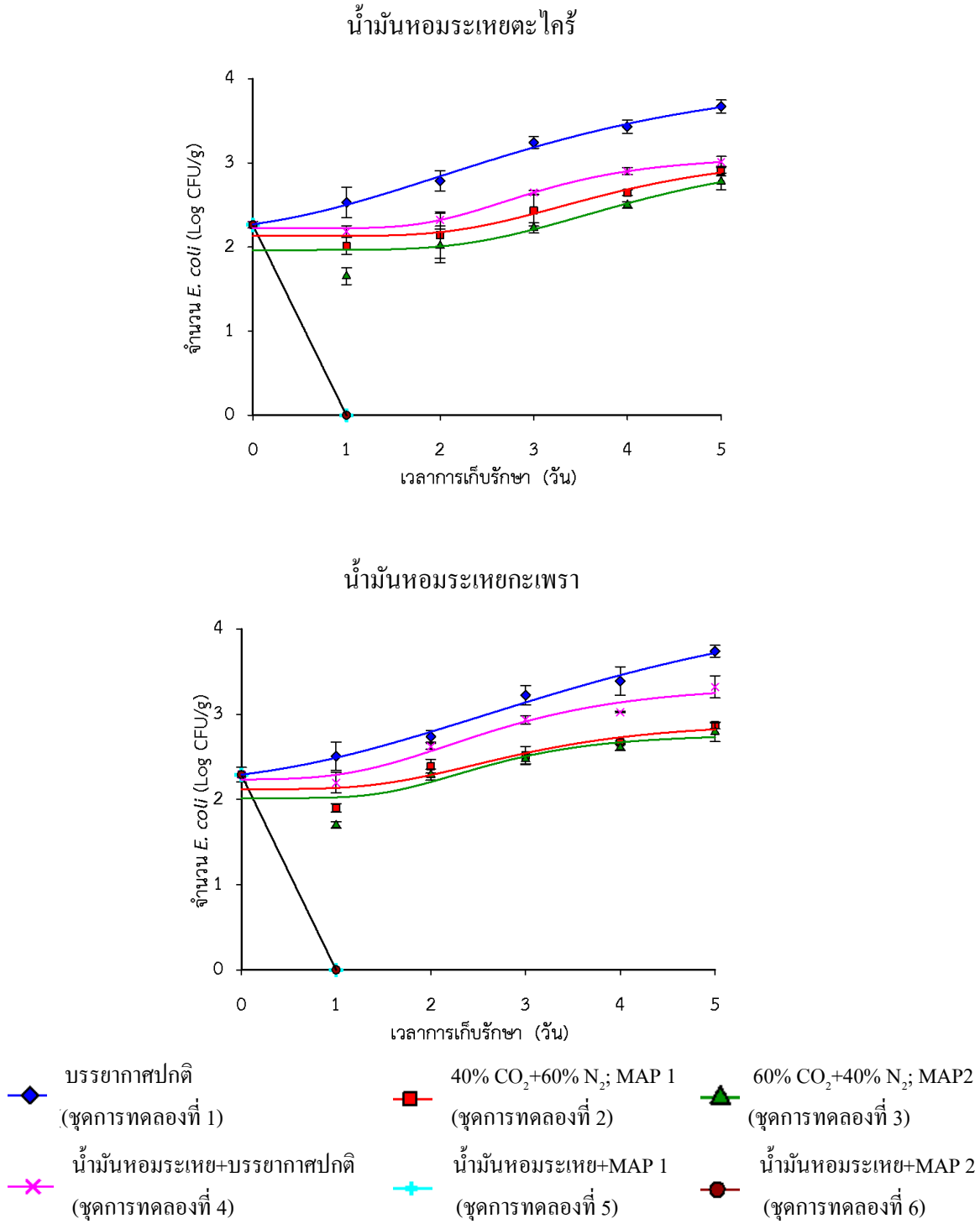
ตาราง ค.14 ผลปริมาณเชื้อ *E. coli* ของการใช้น้ำมันหอมระเหยในสภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะบรรยากาศดัดแปร ต่อกุ้งที่ถูกสร้างการปนเปื้อน *E. coli* ที่อุณหภูมิ 8±2 °C (ต่อ)

สภาวะ	อายุการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณเชื้อ *E. coli* (log CFU/g)		
		น้ำมันหอมระเหยกระเทียม	น้ำมันหอมระเหยตะไคร้	น้ำมันหอมระเหยกะเพรา
น้ำมันหอมระเหย +MAP2: 60% CO_2+40% N_2 (ชุดการทดลองที่ 6)	0	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00
	1	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00
	2	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00
	3	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00
	4	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00
	5	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00	0.00^{ns}±0.00

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งของแต่ละชุดการทดลองแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ ค.4 การเจริญของเชื้อ *E. coli* ในกุ้งโดยมีจำนวน *E. coli* เริ่มต้นเท่ากับ *E. coli* เริ่มต้นของตัวอย่างที่บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติเพื่อเปรียบเทียบอัตราการเจริญในแต่ละสภาวะ



รูปที่ ค.4 (ต่อ) การเจริญของเชื้อ *E. coli* ในกุ้งโดยมีจำนวน *E. coli* เริ่มต้นเท่ากับ *E. coli* เริ่มต้นของ ตัวอย่างที่บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติเพื่อเปรียบเทียบอัตราการเจริญในแต่ละสภาวะ

ภาคผนวก ง
ตารางวิเคราะห์อิทธิพล

1. การใช้น้ำมันหอมระเหยกระเทียมร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษากุ้งสด

คุณสมบัติทางจุลินทรีย์

ตาราง ง.1 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)^{ns}
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	5.79±1.70
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	5.18±1.45

* ^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.2 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งสด

สภาวะบรรยากาศ	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)
อากาศ	5.99^{b}±1.81
40% CO_2+60% N_2	5.49^{ab}±1.54
60% CO_2+40% N_2	5.08^{a}±1.39

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.3 อิทธิพลของระยะเวลาต่อจำนวนจุลินทรีย์ของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)
0	3.57^{a}±0.21
4	4.12^{a}±0.57
7	5.19^{b}±1.11
11	6.38^{c}±1.19
14	6.63^{c}±0.86
18	7.12^{d}±0.31
21	7.24^{d}±0.08

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

คุณสมบัติทางเคมี

ตาราง ง.4 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	TMA (mg TMA-N/100g)^{ns}	TVB-N (mg N/100g)^{ns}	pH^{ns}
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	6.97±3.28	16.61±10.58	6.97±0.28
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	6.86±3.17	14.47±9.27	6.86±1.66

* ^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.5 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	TMA (mg TMA-N/100g)	TVB-N (mg N/100g)	pH
อากาศ	7.37^{b}±4.82	16.46^{b}±9.00	7.08^{b}±0.33
40% CO_2+60% N_2	5.44^{a}±3.02	15.09^{a}±10.76	6.87^{a}±0.15
60% CO_2+40% N_2	4.14^{a}±2.17	14.70^{a}±10.01	6.82^{a}±0.13

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.6 อิทธิพลของระยะเวลาต่อต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	TMA (mg TMA-N/100g)	TVB-N (mg N/100g)	pH
0	2.11^{a}±0.13	5.94^{a}±1.10	6.70^{a}±0.03
4	3.61^{ab}±1.58	6.96^{a}±2.12	6.67^{a}±0.09
7	4.71^{abc}±2.23	10.85^{a}±3.80	6.94^{bc}±0.19
11	6.33^{bcd}±4.23	16.44^{b}±6.05	6.98^{bc}±0.17
14	9.05^{cd}±4.57	23.79^{b}±4.71	7.00^{c}±0.21
18	8.71^{d}±2.33	30.22^{c}±1.93	6.91^{bc}±0.08
21	13.47^{e}±3.71	31.20^{c}±1.84	6.97^{bc}±0.13

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

คุณสมบัติทางกายภาพ

ตาราง ง.7 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	ออกซิเจน (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	$2.80^{a}\pm6.00$	$29.68^{b}\pm18.94$
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	$5.20^{b}\pm7.97$	$26.30^{a}\pm17.81$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.8 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด

สภาวะบรรยากาศ	ออกซิเจน (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)
อากาศ	$13.34^{b}\pm7.59$	$2.59^{a}\pm2.01$
40% CO_2+60% N_2	$2.83^{a}\pm0.41$	$31.47^{b}\pm5.95$
60% CO_2+40% N_2	$0.34^{a}\pm0.53$	$43.92^{c}\pm10.20$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.9 อิทธิพลของระยะเวลาต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ออกซิเจน (%)^{ns}	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)^{ns}
0	7.67 ± 10.31	23.47 ± 27.54
4	6.20 ± 8.80	24.68 ± 22.28
7	5.04 ± 7.92	27.67 ± 19.97
11	3.31 ± 6.87	28.02 ± 17.27
14	2.49 ± 5.54	29.70 ± 14.54
18	0.06 ± 0.02	30.66 ± 8.49
21	0.01 ± 0.01	29.70 ± 1.35

* ^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.10 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	การสูญเสียน้ำหนัก (%)^{ns}	a_w ^{ns}	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)^{ns}
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	8.30±1.63	0.978±0.011	20.04±4.74
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	12.68±4.23	0.977±0.010	20.19±4.46

* ^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.11 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด

สภาวะบรรยากาศ	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	a_w	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)
อากาศ	6.48^{a}±0.82	0.986^{c}±0.007	18.89^{a}±4.90
40% CO_2+60% N_2	11.45^{b}±3.13	0.978^{b}±0.008	19.51^{ab}±4.64
60% CO_2+40% N_2	12.73^{b}±3.70	0.970^{a}±0.007	21.64^{b}±3.92

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.12 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	a_w	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)
0	-	0.979^{bc}±0.009	24.43^{d}±0.35
4	8.85^{a}±3.02	0.983^{c}±0.007	22.47^{cd}±1.69
7	8.42^{a}±2.73	0.981^{c}±0.007	19.91^{bc}±2.71
11	9.85^{a}±3.57	0.976^{abc}±0.008	22.24^{cd}±3.82
14	11.34^{ab}±3.93	0.968^{a}±0.008	16.23^{ab}±4.41
18	14.98^{b}±4.56	0.969^{ab}±0.006	15.63^{a}±3.62
21	19.55^{e}±0.49	0.971^{ab}±0.005	16.11^{ab}±0.96

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.13 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่าสีของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	L*^{ns}	a*^{ns}	b*^{ns}
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	63.12±3.38	4.40±2.56	6.34±1.69
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	65.32±3.99	3.04±1.60	7.20±2.37

* ^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.14 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่าสีของกุ้งสด

สภาวะบรรยากาศ	L*	a*	b*
อากาศ	65.87^{b}±5.04	3.85^{b}±2.44	6.75^{b}±2.10
40% CO_2+60% N_2	63.22^{a}±3.25	3.66^{a}±2.04	6.28^{a}±1.82
60% CO_2+40% N_2	63.57^{a}±3.35	3.61^{a}±2.24	6.88^{b}±2.24

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.15 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่าสีของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	L*	a*	b*
0	60.67^{a}±0.88	0.59^{a}±0.32	2.91^{a}±0.18
4	65.53^{b}±1.84	2.60^{b}±0.86	6.62^{b}±0.76
7	69.30^{c}±3.40	4.24^{bc}±0.41	7.23^{bc}±0.71
11	64.07^{b}±2.79	4.80^{c}±1.76	7.84^{cd}±0.56
14	63.06^{b}±2.00	4.95^{c}±1.81	7.95^{cd}±1.04
18	63.20^{b}±0.61	5.06^{c}±1.84	8.48^{d}±0.82
21	63.41^{b}±0.93	5.24^{c}±1.20	10.48^{c}±1.03

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตาราง ง.16 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	กลิ่น	สี [ns]	รสชาติ [ns]	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	$3.91^{b}\pm1.07$	4.14 ± 0.87	4.01 ± 0.24	$3.80^{b}\pm0.78$	$3.57^{a}\pm1.22$
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	$3.52^{a}\pm1.19$	4.10 ± 0.93	3.42 ± 0.24	$3.76^{a}\pm0.76$	$3.71^{b}\pm1.21$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

[ns] แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.17 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	กลิ่น [ns]	สี	รสชาติ [ns]	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม [ns]
อากาศ	3.82 ± 1.01	$3.74^{a}\pm1.00$	3.60 ± 1.15	$3.43^{a}\pm0.95$	3.81 ± 1.08
40% CO_2+60% N_2	3.62 ± 1.14	$4.33^{b}\pm0.53$	3.71 ± 1.23	$3.90^{b}\pm0.72$	3.63 ± 1.23
60% CO_2+40% N_2	3.56 ± 1.28	$4.15^{b}\pm0.60$	3.46 ± 1.37	$3.87^{b}\pm0.59$	3.50 ± 1.27

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

[ns] แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.18 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่าคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	กลิ่น	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	$4.71^{c}\pm0.11$	$4.37^{c}\pm0.10$	$5.00^{b}\pm0.00$	$4.24^{b}\pm0.04$	$3.85^{b}\pm0.83$
4	$3.86^{bc}\pm0.54$	$4.09^{bc}\pm0.76$	$4.57^{b}\pm0.41$	$3.83^{ab}\pm0.43$	$3.22^{ab}\pm0.33$
7	$3.82^{bc}\pm0.46$	$3.60^{ab}\pm0.70$	$3.39^{a}\pm0.84$	$3.59^{b}\pm0.40$	$2.99^{a}\pm0.37$
11	$3.31^{ab}\pm0.58$	$3.61^{ab}\pm0.70$	$3.19^{a}\pm0.57$	$4.00^{ab}\pm0.30$	$3.21^{ab}\pm0.46$
14	$3.07^{ab}\pm0.27$	$3.40^{a}\pm0.80$	$2.89^{a}\pm0.97$	$3.73^{ab}\pm0.44$	$2.89^{a}\pm0.46$
18	$3.00^{b}\pm1.07$	$3.07^{a}\pm0.70$	$3.00^{a}\pm0.76$	$3.93^{ab}\pm0.26$	$3.20^{ab}\pm1.37$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

2. การใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษากุ้งสด

คุณสมบัติทางจุลินทรีย์

ตาราง ง.19 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)^{ns}
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	5.82±1.85
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	5.19±1.57

* ^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.20 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งสด

สภาวะบรรยากาศ	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)
อากาศ	6.26^{b}±1.93
40% CO_2+60% N_2	5.40^{b}±1.61
60% CO_2+40% N_2	5.00^{a}±1.49

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.21 อิทธิพลของระยะเวลาต่อจำนวนจุลินทรีย์ของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)
0	3.35^{a}±0.11
4	4.09^{a}±0.74
7	5.60^{b}±1.08
11	6.27^{c}±1.42
14	6.47^{c}±0.48
18	7.00^{d}±0.16
21	7.53^{d}±0.41

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

คุณสมบัติทางเคมี

ตาราง ง.22 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	TMA (mg TMA-N/100g)^{ns}	TVB-N (mg N/100g)^{ns}	pH^{ns}
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	7.19±4.8	15.31±9.22	6.90±0.34
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	6.44±3.69	15.10±9.34	6.88±0.23

* ^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.23 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	TMA (mg TMA-N/100g)	TVB-N (mg N/100g)	pH
อากาศ	7.37^{b}±4.82	16.46^{b}±9.00	7.08^{b}±0.33
40% CO_2+60% N_2	5.44^{a}±3.02	15.09^{a}±10.76	6.87^{a}±0.15
60% CO_2+40% N_2	4.14^{a}±2.17	14.70^{a}±10.01	6.82^{a}±0.13

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.24 อิทธิพลของระยะเวลาต่อต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	TMA (mg TMA-N/100g)	TVB-N (mg N/100g)	pH
0	3.08^{a}±0.89	4.78^{a}±0.46	6.70^{a}±0.05
4	3.48^{a}±1.29	6.96^{b}±2.23	6.62^{ab}±0.11
7	6.26^{b}±2.09	11.92^{c}±3.59	6.83^{bc}±0.24
11	8.49^{c}±3.70	17.79^{d}±5.14	6.91^{bc}±0.25
14	8.54^{c}±1.56	22.38^{d}±3.96	6.96^{c}±0.12
18	10.87^{d}±0.98	28.17^{e}±2.98	7.02^{bc}±0.09
21	14.64^{e}±0.88	30.03^{e}±2.04	7.14^{d}±0.10

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

คุณสมบัติทางกายภาพ

ตาราง ง.25 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	ออกซิเจน (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	$3.47^{a}\pm6.65$	$27.02^{b}\pm18.77$
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	$5.02^{b}\pm7.91$	$26.43^{a}\pm18.20$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.26 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด

สภาวะบรรยากาศ	ออกซิเจน (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)
อากาศ	$13.34^{b}\pm7.59$	$2.59^{a}\pm2.01$
40% CO_2+60% N_2	$2.83^{a}\pm0.41$	$31.47^{b}\pm5.95$
60% CO_2+40% N_2	$0.34^{a}\pm0.53$	$43.92^{c}\pm10.20$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.27 อิทธิพลของระยะเวลาต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ออกซิเจน (%)^{ns}	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)^{ns}
0	7.67 ± 10.31	33.81 ± 27.69
4	6.64 ± 9.99	27.42 ± 22.51
7	5.88 ± 8.56	20.44 ± 18.09
11	3.18 ± 6.15	22.37 ± 16.29
14	0.03 ± 0.18	30.76 ± 19.23
18	0.34 ± 0.11	31.70 ± 11.58
21	0.30 ± 0.36	36.80 ± 1.71

* ^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.28 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	การสูญเสียน้ำหนัก (%)^{ns}	a_w ^{ns}	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)^{ns}
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	8.78±1.55	0.987±0.007	20.57±4.69
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	16.76±4.32	0.982±0.007	21.41±4.97

* ^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.29 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด

สภาวะบรรยากาศ	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	a_w	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)
อากาศ	6.67^{a}±1.23	0.989^{b}±0.006	17.68^{a}±4.48
40% CO_2+60% N_2	12.83^{b}±3.90	0.984^{a}±0.005	21.64^{b}±3.92
60% CO_2+40% N_2	14.75^{c}±4.43	0.982^{a}±0.007	22.97^{b}±4.62

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.30 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	a_w	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)
0	-	0.984^{c}±0.008	21.18^{d}±1.52
4	9.38^{a}±3.02	0.985^{c}±0.004	21.93^{cd}±1.97
7	9.61^{a}±2.99	0.986^{c}±0.002	21.32^{bc}±2.66
11	11.74^{a}±3.08	0.987^{c}±0.007	22.71^{cd}±6.15
14	14.14^{b}±5.28	0.981^{b}±0.004	23.78^{d}±3.82
18	17.07^{e}±4.24	0.976^{a}±0.001	19.59^{b}±2.25
21	21.28^{d}±4.22	0.974^{a}±0.008	16.77^{a}±1.54

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.31 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่าสีของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	L*	a*	b*
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	$60.97^{b}\pm1.93$	$1.58^{b}\pm1.58$	$4.54^{a}\pm2.42$
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	$21.95^{a}\pm3.54$	$-0.01^{a}\pm2.21$	$15.80^{b}\pm4.14$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.32 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่าสีของกุ้งสด

สภาวะบรรยากาศ	L*	a*	b*
อากาศ	$60.98^{b}\pm2.01$	$1.47^{b}\pm1.91$	$5.61^{b}\pm2.94$
40% CO_2+60% N_2	$41.54^{a}\pm20.41$	$0.82^{a}\pm1.96$	$11.04^{a}\pm5.81$
60% CO_2+40% N_2	$41.07^{a}\pm19.94$	$0.59^{a}\pm1.53$	$11.33^{a}\pm6.84$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.33 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่าสีของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	L*	a*	b*
0	$39.96^{b}\pm30.05$	$-0.15^{a}\pm0.23$	$10.04^{a}\pm11.27$
4	$41.93^{b}\pm20.54$	$0.23^{b}\pm1.66$	$10.77^{a}\pm9.74$
7	$44.65^{b}\pm22.23$	$0.64^{c}\pm1.56$	$8.50^{a}\pm6.98$
11	$43.66^{b}\pm22.38$	$1.93^{d}\pm1.58$	$9.56^{a}\pm5.52$
14	$42.03^{b}\pm19.61$	$1.92^{d}\pm0.98$	$10.18^{a}\pm3.97$
18	$34.48^{b}\pm22.18$	$2.59^{e}\pm0.42$	$12.09^{b}\pm4.11$
21	$20.10^{a}\pm5.05$	$1.88^{d}\pm0.46$	$14.90^{b}\pm0.53$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตาราง ง.34 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	กลิ่น	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส ns	ความชอบโดยรวม ns
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	4.01[b]±0.82	3.42[b]±0.32	3.68[b]±1.09	3.81±1.19	3.76±0.81
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	3.56[a]±1.15	2.12[a]±0.09	3.95[a]±0.51	3.91±0.87	3.97±0.71

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง ง.35 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	กลิ่น ns	สี	รสชาติ ns	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม ns
อากาศ	3.91±0.97	3.38[a]±1.27	3.95±1.16	3.61[a]±0.88	2.96±1.08
40% CO_2+60% N_2	3.72±1.12	3.76[b]±1.07	3.88±1.28	3.99[b]±0.77	3.23±1.14
60% CO_2+40% N_2	3.87±1.72	3.68[b]±1.16	3.87±1.37	4.04[b]±0.58	3.24±1.13

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง ง.36 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่าคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	กลิ่น	สี ns	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	4.55[c]±0.41	3.34±1.68	4.70[b]±0.25	4.24[b]±0.04	3.89[b]±0.05
4	3.71[b]±0.66	2.91±1.53	4.45[ab]±0.59	3.82[ab]±0.13	3.28[b]±0.47
7	3.72[b]±0.59	2.60±1.33	3.46[a]±0.76	3.42[a]±0.42	2.59[ab]±1.39
11	3.12[ab]±0.65	3.02±1.01	3.04[ab]±0.45	3.88[ab]±0.12	2.34[ab]±0.66
14	2.81[a]±0.51	2.87±0.35	2.96[ab]±0.20	3.84[ab]±0.21	1.01[a]±1.74
18	3.13[ab]±0.52	2.40±0.74	3.67[ab]±0.49	3.73[ab]±0.59	2.48[ab]±1.06

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

3. การใช้น้ำมันหอมระเหยกะเพราร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษากุ้งสด

คุณสมบัติทางจุลินทรีย์

ตาราง ง.37 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)^{ns}
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	5.78±1.80
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	5.22±1.53

* ^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.38 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกุ้งสด

สภาวะบรรยากาศ	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)
อากาศ	6.21^{b}±2.02
40% CO_2+60% N_2	5.39^{b}±1.52
60% CO_2+40% N_2	5.04^{b}±1.39

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.39 อิทธิพลของระยะเวลาต่อจำนวนจุลินทรีย์ของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)
0	3.44^{a}±0.64
4	4.13^{a}±0.71
7	5.51^{a}±1.15
11	6.19^{b}±1.21
14	6.40^{b}±0.68
18	7.02^{b}±0.20
21	79±0.48

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

คุณสมบัติทางเคมี

ตาราง ง.40 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	TMA (mg TMA-N/100g)^{ns}	TVB-N (mg N/100g)^{ns}	pH^{ns}
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	7.18±5.78	15.54±9.20	6.96±0.34
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	6.28±4.44	15.61±9.61	6.90±0.28

* ^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.41 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	TMA (mg TMA-N/100g)	TVB-N (mg N/100g)	pH
อากาศ	9.67^{b}±7.10	16.83^{b}±8.95	7.18^{b}±0.40
40% CO_2+60% N_2	5.82^{a}±3.71	15.68^{a}±10.11	6.87^{a}±0.20
60% CO_2+40% N_2	5.29^{a}±3.34	14.98^{a}±9.17	6.77^{a}±0.14

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.42 อิทธิพลของระยะเวลาต่อต่อค่า TMA, TVB-N และ pH ของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	TMA (mg TMA-N/100g)	TVB-N (mg N/100g)	pH
0	2.28^{a}±0.06	5.61^{a}±1.21	6.80^{ab}±0.16
4	2.63^{ab}±1.13	6.80^{a}±1.33	6.66^{a}±0.09
7	5.52^{b}±2.32	11.69^{b}±3.21	6.88^{ab}±0.25
11	8.02^{c}±4.35	17.48^{c}±2.20	7.01^{b}±0.38
14	8.21^{c}±2.40	22.76^{d}±3.93	6.99^{b}±0.13
18	11.31^{d}±2.08	28.04^{e}±2.13	7.00^{b}±0.10
21	15.53^{e}±1.15	32.16^{e}±0.65	6.99^{b}±0.06

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

คุณสมบัติทางกายภาพ

ตาราง ง.43 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	ออกซิเจน (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	$2.69^{a}\pm6.35$	$28.86^{b}\pm18.63$
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	$4.31^{b}\pm6.33$	$25.78^{a}\pm19.15$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.44 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด

สภาวะบรรยากาศ	ออกซิเจน (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)
อากาศ	$10.47^{b}\pm8.07$	$3.60^{a}\pm2.42$
40% CO_2+60% N_2	$0.28^{a}\pm0.33$	$29.33^{b}\pm6.69$
60% CO_2+40% N_2	$0.12^{a}\pm0.39$	$40.98^{c}\pm16.93$

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.45 อิทธิพลของระยะเวลาต่อปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ออกซิเจน (%)^{ns}	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)^{ns}
0	7.10 ± 10.31	34.33 ± 28.11
4	6.80 ± 10.09	31.40 ± 25.21
7	5.13 ± 7.23	22.01 ± 17.35
11	2.73 ± 4.81	23.13 ± 15.07
14	0.04 ± 0.04	28.55 ± 3.95
18	0.03 ± 0.02	26.54 ± 2.38
21	0.03 ± 0.06	27.82 ± 0.06

* ^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.46 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	การสูญเสียน้ำหนัก (%)^{ns}	a_w ^{ns}	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)^{ns}
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	8.78±3.16	0.978±0.007	21.55±4.64
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	12.19±5.19	0.978±0.009	22.38±4.98

* ^{ns} แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.47 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด

สภาวะบรรยากาศ	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	a_w	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)
อากาศ	6.20^{a}±2.07	0.984^{b}±0.008	18.71^{a}±4.67
40% CO_2+60% N_2	11.51^{b}±3.87	0.976^{a}±0.006	21.83^{b}±3.02
60% CO_2+40% N_2	12.81^{b}±4.56	0.974^{a}±0.007	25.16^{c}±4.46

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.48 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก, a_w และการต้านแรงตัดขาดของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	a_w	การต้านแรงตัดขาด (นิวตัน)
0	-	0.981^{c}±0.005	22.95^{b}±0.99
4	7.16^{a}±2.47	0.980^{c}±0.003	22.47^{b}±1.69
7	7.36^{a}±1.93	0.984^{c}±0.005	19.91^{a}±2.71
11	8.95^{a}±3.51	0.979^{bc}±0.011	24.74^{c}±6.80
14	15.07^{b}±2.94	0.970^{a}±0.002	24.63^{c}±1.04
18	16.87^{b}±2.54	0.970^{a}±0.003	24.56^{c}±1.77
21	20.29^{c}±1.28	0.969^{a}±0.004	25.48^{c}±0.96

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.49 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อค่าสีของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	L*[ns]	a*[ns]	b*[ns]
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	63.14±2.60	4.89±3.16	7.44±2.28
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	65.30±3.36	5.62±5.89	7.71±2.69

* [ns] แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตาราง ง.50 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อค่าสีของกุ้งสด

สภาวะบรรยากาศ	L*	a*	b*
อากาศ	62.13^{a}±2.85	5.83^{b}±3.88	7.76^{b}±2.95
40% CO_2+60% N_2	63.30^{a}±2.97	5.07^{a}±2.87	6.17^{a}±2.14
60% CO_2+40% N_2	63.99^{b}±2.97	4.91^{a}±2.38	5.96^{a}±2.46

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตาราง ง.51 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่าสีของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	L*	a*	b*
0	62.12^{a}±1.22	1.60^{a}±0.34	3.89^{a}±0.64
4	65.48^{cd}±1.80	3.21^{b}±0.30	6.21^{b}±0.16
7	62.05^{a}±3.07	4.69^{bc}±0.80	6.77^{bc}±0.38
11	62.10^{a}±2.29	5.76^{c}±1.13	7.99^{c}±1.35
14	66.49^{d}±1.81	7.29^{cd}±1.34	10.03^{d}±3.93
18	64.09^{bcd}±2.17	8.53^{d}±1.22	9.79^{d}±5.88
21	63.43^{abc}±2.24	7.88^{d}±0.33	10.44^{c}±0.45

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตาราง ง.52 อิทธิพลของการใช้น้ำมันหอมระเหยต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	กลิ่น [ns]	สี	รสชาติ [ns]	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
กุ้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	3.96±0.94	2.16[a]±1.16	4.12±1.09	3.88[a]±0.65	3.43[b]±0.86
กุ้งที่ผ่านการแช่น้ำมันหอมระเหย	3.96±0.96	3.31[b]±1.23	4.10±1.05	4.03[b]±0.76	2.89[a]±0.37

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง ง.53 อิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด

น้ำมันหอมระเหย	กลิ่น	สี [ns]	รสชาติ [ns]	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม [ns]
อากาศ	4.12[b]±1.01	2.99±1.39	4.19±0.98	3.56[a]±0.78	2.62±1.20
40% CO_2+60% N_2	3.76[a]±1.14	3.07±1.28	3.99±1.18	4.01[b]±0.85	2.83±1.19
60% CO_2+40% N_2	3.88[a]±1.28	3.09±1.25	4.01±1.00	4.13[b]±0.62	2.87±1.13

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง ง.54 อิทธิพลของระยะเวลาต่อค่าคะแนนทางประสาทสัมผัสของกุ้งสด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	กลิ่น	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	4.77[b]±0.11	4.33[b]±0.17	4.60[b]±0.30	4.16[b]±0.04	3.82[b]±0.9
4	3.79[b]±0.74	4.11[ab]±0.59	4.47[b]±0.52	3.82[ab]±0.52	3.26[ab]±0.16
7	3.79[a]±0.77	3.56[b]±0.54	3.36[a]±0.92	3.64[ab]±0.71	2.99[ab]±0.59
11	3.21[a]±0.68	3.68[ab]±0.32	3.23[a]±0.64	3.72[ab]±0.50	2.69[a]±0.38
14	2.85[a]±0.76	3.40[b]±0.31	2.82[a]±1.00	2.58[a]±0.37	2.69[a]±0.30
18	3.13[a]±0.74	2.53[a]±1.03	2.87[a]±0.74	3.93[a]±0.26	2.46[a]±0.70

* ตัวอักษร (a,b,c…) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล นางสาวนาฏกาญจน์ ชิณศรี

วัน เดือน ปีเกิด 31 กรกฎาคม 2530

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา ประโยคมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนปราจิณราษฎรอำรุง พ.ศ. 2549

ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2552

ระดับปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาประยุกต์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2555

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ นาฏกาญจน์ ชิณศรี, พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์, พัชทรา มณีสินธุ์ และ มณฑิรา นพรัตน์, 2555, "ผลของน้ำมันหอมระเหยต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค", **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย**, ปีที่ 27, ฉบับที่ 3, กรกฎาคม-กันยายน 2555, หน้า 70-79.

Chinnasri, N., Vongsawasdi, P., Maneesin, P. and Nopharatana, M., 2013, "Effects of Holy Basil Oil on Shelf Life of Chilled Shrimp under Modified Atmosphere Packaging", **The 51th Kasetsart University Annual Conference**, February 5-7, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, pp. 322-329.