บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของวัตถุเจือปนอาหารที่มีต่อสมบัติทางจุลชีววิทยา เคมี และกายภาพของผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่แปรรูปโดยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 0.8 °C) เป็นระยะเวลา 30 วัน

4.1.1 สมบัติทางจุลชีววิทยา

4.1.1.1 Total viable count (TVC)

การทดสอบสมบัติทางจุลชีววิทยาของไก่ต้มน้ำปลา ที่ผ่านการแปรรูปโดยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 0.8 °C) เป็นระยะเวลา 30 วัน โดยทำการทดสอบวันที่ 0, 7, 14, 21 และ 30 ของการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่ทำการศึกษาทั้งหมด (T1 : ไม่เติมวัตถุเจือปนอาหาร; T2 : เติม sodium benzoate, T3 : เติม BHA, T4 : เติม BHT และ T5 : เติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT) ตามระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count) เพิ่มสูงขึ้นจากจุดเริ่มต้น (จำนวนจุลินทรีย์ต่ำกว่าระดับต่ำสุดที่วิธีสามารถวิเคราะห์ได้) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 4.1 เมื่อพิจารณาจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับไก่ปรุงรส (มผช. 755/2548) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548) ซึ่งระบุไว้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 3 log CFU/g พบว่าตัวอย่าง T2 เท่านั้น ที่มีอายุการเก็บรักษายาวนานที่สุด คือประมาณ 8 วัน แต่ถ้าใช้เกณฑ์ด้านจุลชีววิทยาของสินค้าปศุสัตว์เพื่อการส่งออก ตามประกาศกรมปศุสัตว์ (กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551) สำหรับผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ที่ผ่านการให้ความร้อน (heat-treated meat products) ซึ่งระบุไว้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 5 log CFU/g พบว่าตัวอย่าง T5 เท่านั้น ที่มีอายุการเก็บรักษายาวนานที่สุด คือประมาณ 15 ถึง 16 วัน นอกจากนี้ถ้าพิจารณาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่าง T5 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา จะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่าตัวอย่างกลุ่มอื่น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสิ่งทดลองที่ศึกษาในระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา พบว่าตัวอย่าง T2 มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยที่สุด (2.54 log CFU/g) เนื่องจากสาร sodium benzoate สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์และแบคทีเรีย โดยเฉพาะเชื้อ

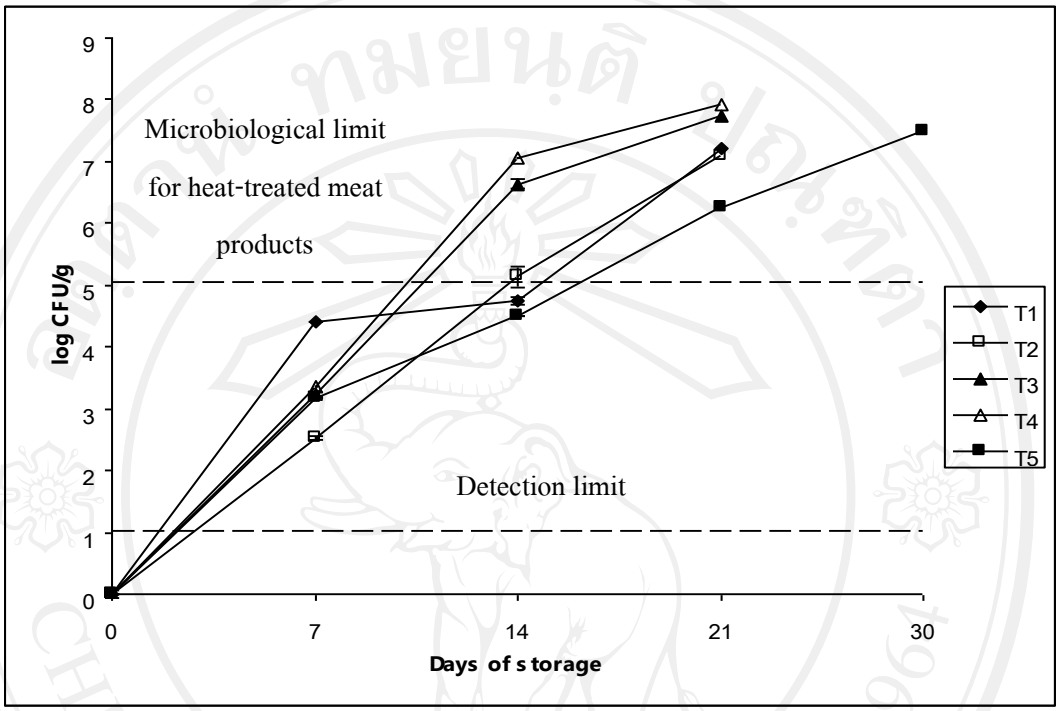
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* ซึ่งมีผลต่อผนังเซลล์และเอนไซม์ของจุลินทรีย์ โดยเบนโซเอตจะไปทำให้กระบวนการแทรกซึมของอาหารเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ผิดปกติไป ในขณะเดียวกันจะไปยับยั้งการสร้างเอนไซม์บางชนิด และปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546) และยังสามารถยับยั้งการเจริญและการผลิต mycotoxin ของเชื้อราอีกด้วย (Davidson et al., 2002) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chung et al. (1988) ที่รายงานถึงการใช้ sodium benzoate 0.07% สามารถลดระดับประชากรจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ Mexican-style hot sauce (salsa) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 31 ^{o}C เป็นเวลา 96 วันได้ การที่ตัวอย่าง T2 มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดใกล้เคียงกับตัวอย่าง T1 ในวันที่ 14 และ 21 ของการเก็บรักษา อาจมีสาเหตุมาจากระยะเวลาการเก็บรักษาในสัปดาห์แรกมีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ต่ำ sodium benzoate สามารถออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป เชื้อจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนมากขึ้นเข้าสู่ระยะการเจริญที่เชื้อมีความแข็งแรง และความเข้มข้นของ sodium benzoate ที่ใช้อยู่ในระดับที่ต่ำ (90 ppm) จึงทำให้สารดังกล่าวมีปริมาณไม่เพียงพอในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้ sodium benzoate ปริมาณสูงสุดได้ถึง 1,000 mg/kg อาหาร (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข, 2527) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารดังกล่าวในรูปของกรด (benzoic acid) ที่ระดับ Minimal inhibition concentration (MIC) อยู่ระหว่าง 300-1,800 ppm ที่ pH 4.3-6.0 จึงจะสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Lactobacillus* sp. ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์สำคัญที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Blackburn, 2006)

ตัวอย่างที่มีการเติมวัตถุกันหืนเพียงอย่างเดียว (T3 และ T4) และตัวอย่างควบคุม (T1) มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยตัวอย่าง T3 และ T4 จะมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าตัวอย่าง T1 ในวันที่ 14 และ 21 ของการเก็บรักษา ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Mohamed and Mansour (2011) พบว่าตลอดระยะเวลา 3 เดือนของการเก็บรักษา เนื้อวัวผสมเนื้อไก่เลาะกระดูก (200g/kg) ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 ^{o}C ตัวอย่างที่มีการเติมและไม่เติม BHT มีปริมาณเชื้อ Psychrotrophic counts ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และการศึกษาของ Ahn et al. (2007) พบว่าเนื้อวัวปรุงสุกที่มีการเติมและไม่เติมสาร BHA/BHT ความเข้มข้น 200ppm และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C มีปริมาณเชื้อ *E. coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium* และ *Aeromonas hydrophila* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตามการที่ตัวอย่าง T3 และ T4 มีปริมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่าตัวอย่าง T1 อาจเนื่องมาจากสาร BHA และ BHT เป็นสารในกลุ่มวัตถุกันหืนจึงไม่สามารถส่งผลต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้



ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของประชากรเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g) ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่แปรรูปโดยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ปัจจัยแตกต่างกันคือ ตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมวัตถุเจือปนอาหาร) (T1, ◆); ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate (T2, □); ตัวอย่างที่เติม BHA (T3, ▲); ตัวอย่างที่เติม BHT (T4, △) และตัวอย่างที่เติม sodium benzoate, BHA และ BHT (T5, ■)

ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาตัวอย่างทั้ง 5 กลุ่มมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยตัวอย่าง T5 มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ ในวันที่ 14 และ 21 ของการเก็บรักษา (4.50 และ 6.25 log CFU/g ตามลำดับ) การใช้สาร sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT อาจให้ผลการเสริมฤทธิ์กันในการถนอมรักษาตัวอย่าง ให้มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมหรือเติมวัตถุเจือปนอาหารชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงชนิดเดียว โดยการใช้ผลร่วมกันของปัจจัยดังกล่าวสามารถยืดอายุการเก็บรักษาตัวอย่างได้ประมาณ 1 ถึง 2 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง T1 ทั้งนี้กลไกการเสริมฤทธิ์กันของวัตถุเจือปนอาหารที่ใช้ในการศึกษายังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด ต้องอาศัยการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นดังกล่าวต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

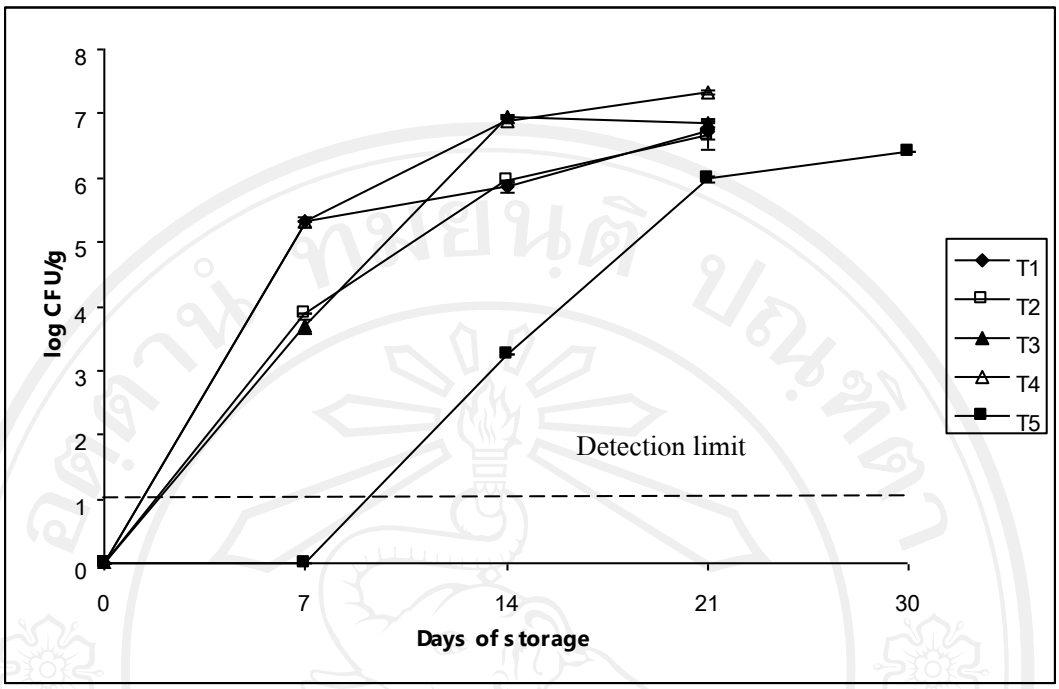
การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างนั้นอาจเริ่มตั้งแต่วัตถุดิบ หรือการปนเปื้อนจากแหล่งต่างๆ ในโรงงานการผลิตเนื้อไก่ ได้แก่ พื้นผิวของอุปกรณ์การผลิต อากาศและบุคลากรในโรงงาน จากขั้นตอนการทดลองแม้ว่าเนื้อไก่จะผ่านกระบวนการถนอมรักษาต่างๆ แต่ก็อาจเกิดการปนเปื้อนในภายหลังโดยแบคทีเรียที่ทนความร้อน ดังเช่นมีรายงานพบ heat-resistant vegetative cells ที่อยู่รอดต่อกระบวนการทางความร้อน และสามารถเจริญก่อให้เกิดการเน่าเสียในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ปรุงสุกได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเชื้อในกลุ่ม Lactic acid bacteria ได้แก่ การตรวจพบการเจริญของเชื้อ *Lactobacillus sakei*, *Leuconostoc carnosum* และ *Weissella viridescens* ในเนื้อไก่งวงที่ผ่านการปรุงสุก บรรจุในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C (Samelis et al., 2000) โดยทั่วไปการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ภายหลังกระบวนการผลิตเนื้อไก่ปรุงสุกในบรรจุภัณฑ์เชิงการค้าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 10^3 cfu/g หรือ cm^2 (Blackburn, 2006)

4.1.1.2 Lactic acid bacteria (LAB)

เชื้อ Lactic acid bacteria (LAB) จัดเป็น facultative anaerobic bacteria ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียประจำถิ่นตามธรรมชาติของเนื้อไก่ สามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีและไม่มีก๊าซออกซิเจน และบางสายพันธุ์เป็นพวกที่ทนความเค็ม (salt tolerant) (Patsias et al., 2008) จากการศึกษาพบว่าปริมาณ LAB ในตัวอย่างทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 4.2

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มตัวอย่างพบว่า ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างที่ไม่มีการเติมและเติมวัตถุเจือปนอาหารเพียงชนิดเดียว (T1 ถึง T4) สามารถตรวจพบการเจริญของเชื้อ LAB มากกว่า 3 log CFU/g แต่ตัวอย่างที่มีการเติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT (T5) นั้นไม่พบการเจริญของเชื้อดังกล่าว ตัวอย่างที่มีการเติม BHT (T4) จะมีปริมาณเชื้อ LAB มากที่สุด โดยพบว่ามีปริมาณมากกว่า 7 log CFU/g (7.34 log CFU/g) ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามมีข้อมูลที่แสดงให้เห็นว่าเมื่อประชากรเชื้อ LAB เจริญมากกว่า 7 log CFU/g ในไส้กรอกปรุงสุก บรรจุในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ จะส่งผลให้ความเข้มข้นของกรดแลคติก (D และ L isomers) เริ่มก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้บริโภค (Blackburn, 2006) วันที่ 14 และ 21 ของการเก็บรักษาตัวอย่างที่มีการใช้ผลร่วมกันของวัตถุเจือปนอาหาร (T5) มีปริมาณเชื้อ LAB น้อยที่สุด (3.26 และ 5.98 log CFU/g ตามลำดับ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของประชากรเชื้อ Lactic acid bacteria (log CFU/g) ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่แปรรูปโดยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ปัจจัยแตกต่างกันคือ ตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมวัตถุเจือปนอาหาร) (T1, ◆); ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate (T2, □); ตัวอย่างที่เติม BHA (T3, ▲); ตัวอย่างที่เติม BHT (T4, △) และตัวอย่างที่เติม sodium benzoate, BHA และ BHT (T5, ■)

การที่ตรวจพบการเจริญของเชื้อ LAB ในตัวอย่างอาหารอาจมีสาเหตุมาจากการปนเปื้อนข้าม (cross contamination) ซึ่งเป็นการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการปรุงสุกแล้วกับวัตถุดิบที่ยังไม่ผ่านการแปรรูป บุคลากร อุปกรณ์ที่ใช้หรือสภาวะแวดล้อมในระหว่างกระบวนการแปรรูป และอาจเกิดจากการรอดชีวิตของเชื้อสายพันธุ์ที่ทนอุณหภูมิสูง (Ntzimani et al., 2010) โดยในขั้นตอนการ cooling down ก่อนการบรรจุ ตัวอย่างจะสัมผัสกับบรรยากาศภายนอก ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อ LAB เนื่องจากวิธีการศึกษาเป็นเพียงกรรมวิธีการผลิตในระดับครัวเรือน กิจกรรมที่เกิดจากเชื้อ LAB จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ที่ผ่านการแปรรูป และบรรจุภัณฑ์สุญญากาศเกิดการเน่าเสีย คล้ายคลึงกับการเกิดในเนื้อสด รวมทั้งเนื้อไก่สดด้วย อย่างไรก็ตามการเน่าเสียจะมีความรุนแรงมากกว่า เนื่องจากปริมาณคาร์โบไฮเดรทและส่วนประกอบอื่นๆ ในเนื้อสัตว์ที่ผ่านการแปรรูป จะสนับสนุนให้เกิดการเจริญของเชื้อ LAB ทำให้เกิดการผลิตกรดอินทรีย์โดยเฉพาะกรดแลคติกที่ทำให้ pH ของเนื้อลดต่ำลง เป็นการเน่าเสียแบบการหมัก และปรากฏกลิ่นเหม็นเปรี้ยว (aciduric off-odors) จากกรดแลคติก กรดอะซิติก และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรดไขมันที่ระเหยได้อื่นๆ การเน่าเสียนี้จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเมือกในบรรจุภัณฑ์ และสีของเนื้อจะซีดจาง (เกิดสีเขียว) โดยมีสาเหตุจากเชื้อในกลุ่ม Obligatory หรือ facultatively heterofermentative LAB (Blackburn, 2006) สภาวะสุญญากาศจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์แต่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ในระหว่างการเน่าเสียจุลินทรีย์สายพันธุ์ที่เจริญได้ดี (predominate) นั้นจะมีระยะเวลาการแบ่งเซลล์ (generation time) สั้นที่สุดภายใต้สภาวะของการเก็บรักษา กล่าวคือเชื้อ LAB จะไม่สามารถเจริญได้อย่างปกติเนื่องจากมี generation time ที่ยาวนานกว่า แต่เนื้อสัตว์ในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศที่มีสภาวะปราศจากออกซิเจนนั้นอาจเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อเชื้อ LAB (Linton et al., 2004)

ตลอดระยะเวลา 30 วันของการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาที่ผ่านการบรรจุในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ไม่พบการเจริญของเชื้อยีสต์และรา และเชื้อในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* ทั้ง 5 ตัวอย่างที่ทำการศึกษา

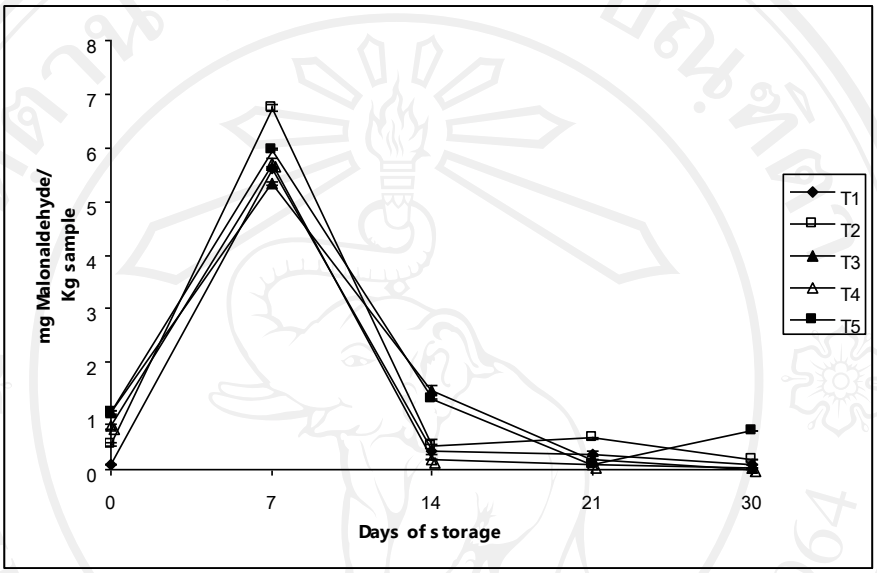
4.1.2 สมบัติทางเคมี

4.1.2.1 Thiobarbituric acid (TBA)

การศึกษาระดับของ TBA เป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงการเกิด lipid oxidation ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาการหืนในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ซึ่งจะก่อให้เกิดคุณลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ต่อผู้บริโภค (Mastromatteo et al., 2009) และยังมีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสีของเนื้อสัตว์ (discolouration) อีกด้วย (Parra et al., 2010) โดย TBA เป็นการวัดปริมาณ malonaldehyde (MDA) ซึ่งเป็นผลผลิตหนึ่งที่ได้จากการเสื่อมสภาพ (degradation product) ของ lipid hydroperoxides ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) (Patsias, 2006) ระดับ TBA ในทุกตัวอย่างจะผันแปรอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 6.74 mg MDA/kg ดังแสดงในภาพที่ 4.3 และมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ปรุงสุกคือ 1-2 mg MDA/kg ของเนื้อสัตว์ (Garg and Mendiratta, 2006) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไปประมาณ 4 ถึง 5 วัน โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนถึงวันที่ 7 ของการเก็บรักษา จากนั้นจะมีแนวโน้มที่ลดลงจนถึงวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chouliara et al. (2007) ที่รายงานถึงระดับของ TBA ในเนื้อไก่สดบดที่ผ่านการเติม oregano oil ในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ (ปริมาณ CO_2/N_2 เป็น 30/70) และเก็บรักษาที่ 4 ^{o}C มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งวันที่ 9 และลดลงจนถึงวันที่ 25 ของการเก็บรักษา และผลการศึกษาของ Bozkurt (2006) ที่แสดงให้เห็นว่าการเติมสาร BHT ความเข้มข้น 300 ppm ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมักแห้งจากประเทศตุรกี (Turkish dry-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

fermented sausage) หรือ sucuk จะมีระดับของ TBARS เพิ่มสูงขึ้นจนถึงวันที่ 8 ของการเก็บรักษา จากนั้นจะลดลงจนถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา การลดลงของระดับ TBA ภายหลังจาก 7 วันของการเก็บรักษา อาจมีสาเหตุมาจากสาร malonaldehyde เกิดการสลายตัว (decomposition) ในระหว่างการเก็บรักษา (Chouliara et al., 2007; Bozkurt, 2006)



ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของระดับ TBA (mg MDA/kg) ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภคที่แปรรูปโดยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ปัจจัยแตกต่างกันคือ ตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมวัตถุเจือปนอาหาร) (T1, ◆); ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate (T2, □); ตัวอย่างที่เติม BHA (T3, ▲); ตัวอย่างที่เติม BHT (T4, △) และตัวอย่างที่เติม sodium benzoate, BHA และ BHT (T5, ■)

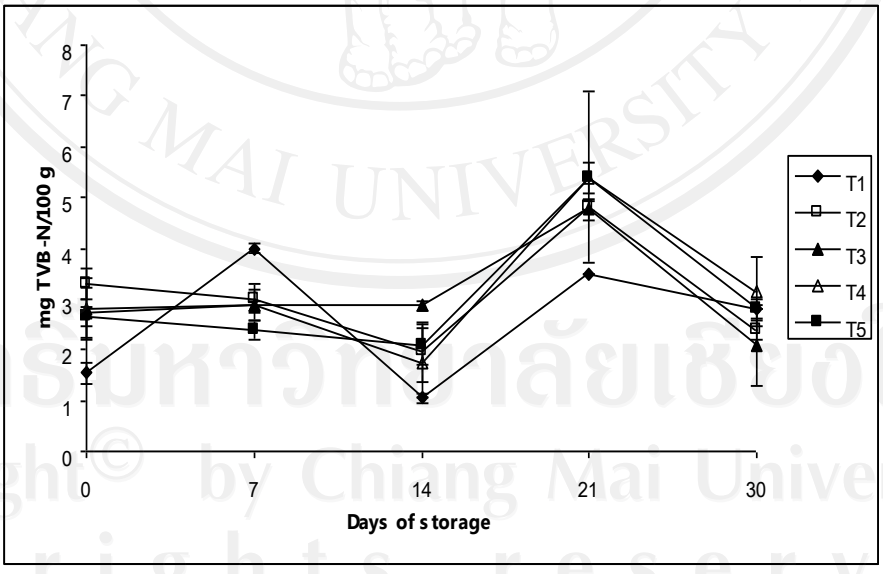
ส่วนการเติม BHA หรือ BHT ในตัวอย่างสามารถลดระดับของ TBA อย่างชัดเจนเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป 21 ถึง 30 วันเป็นต้นไป ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Selani et al. (2011) ที่พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อไก่ปรุงสุกแช่เยือกแข็งนาน 0, 3, 6 และ 9 เดือน ตัวอย่างที่ไม่เติมและเติม BHT ความเข้มข้น 100 ppm มีระดับของ TBARS แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเนื้อไก่ที่เติม BHT จะมีระดับ TBARS ต่ำกว่าทุกช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ และระดับ TBARS เฉลี่ยมีค่า 6.88 และ 0.88 mg MDA/kg สำหรับเนื้อไก่ที่ไม่เติมและเติม BHT ตามลำดับ ทั้งนี้สาร BHA และ BHT จะไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลา ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นแบบลูกโซ่หยุดชะงัก (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546) การใช้ผลร่วมกันระหว่างวัตถุเจือปนอาหารไม่สามารถส่งผลที่ชัดเจนต่อระดับของ TBA ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขัดแย้งกับการศึกษาของ Hassan and Fan (2005) และ McCarthy et al. (2001) ที่รายงานถึงประสิทธิภาพของการใช้ BHA ผสมกับ BHT ในอัตราส่วน 1:1 (w/w) ที่ระดับความเข้มข้นรวม 200 และ 100 ppm สำหรับเนื้อไก่เลาะกระดูกปรุงสุกที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ และเนื้อหมูปรุงสุกที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน ตามลำดับ โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C พบว่าการใช้ผลร่วมกันระหว่าง BHA และ BHT สามารถลดระดับของ TBARS ได้มากกว่าตัวอย่างควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาอย่างชัดเจน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นที่ใช้ด้วย

4.1.2.2 Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N)

ระดับของ TVB-N ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลา จะถูกใช้เป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงความสดของเนื้อไก่ (meat freshness) (Patsias et al., 2008) โดย TVB-N ได□แก□แอมโมเนีย (ammonia) ไตรเมทิล- เอมีน (trimethylamine, TMA) ไดเมทิลเอมีน (dimethylamine, DMA) เมทิลเอมีน (methylamine) และสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได□ ซึ่งเป□นผลิตภัณฑ□ที่ได□จากการสลายตัวของโปรตีนและองค์ประกอบอื่นๆ ก□อให□เกิดกลิ่นและรสที่ผิดปกติแก่เนื้อไก่ จากผลการศึกษาพบว่าระดับ TVB-N จะผันแปรอยู่ระหว่าง 1.05 ถึง 5.39 mg TVB-N/100 g ดังแสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของระดับ TVB-N (mg TVB-N/100 g) ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่แปรรูปด้วยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ปัจจัยแตกต่างกันคือ ตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมวัตถุเจือปนอาหาร) (T1, ♦); ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate (T2, □);

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวอย่างที่เติม BHA (T3, ▲); ตัวอย่างที่เติม BHT (T4, △) และตัวอย่างที่เติม sodium benzoate, BHA และ BHT (T5, ■)

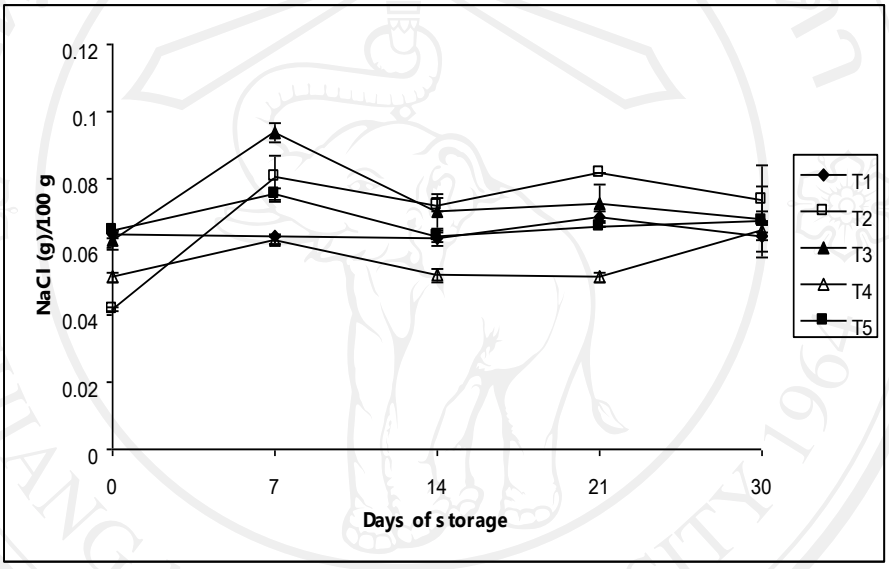
ตัวอย่างทั้งหมดยกเว้นตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มที่ระดับของ TVB-N ลดต่ำลงเล็กน้อยในระหว่าง 0 ถึง 14 วันของการเก็บรักษา หลังจากนั้นตัวอย่างทั้งหมดจะมีระดับของ TVB-N เพิ่มสูงขึ้นจนถึงวันที่ 21 ของการเก็บรักษา และลดลงจนถึงวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Li et al. (2010) ที่พบว่าระดับของ TVB-N จะลดต่ำลงในช่วงแรกของการเก็บรักษา (0 ถึง 2 วัน) ผลิตภัณฑ์เป็ดอบเกลือ (Water-cooked salted duck) ที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C จากนั้นจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนถึงวันที่ 4 ของการเก็บรักษา และลดลงจนถึงวันที่ 8 ของการเก็บรักษา แต่จะขัดแย้งกับการศึกษาในเนื้อไก่สดในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ (Balamatsia et al., 2007) และเนื้อไก่สดที่เติมวัตถุเจือปนอาหาร (Nisin-EDTA) ในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ (Economou et al., 2009) เก็บรักษาที่อุณหภูมิการแช่เย็น โดยระดับของ TVB-N จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาของการเก็บรักษา ทั้งนี้การลดลงเล็กน้อยของระดับ TVB-N ในช่วงแรกของการเก็บรักษานั้น อาจมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาการย่อยสลายตัวเอง (autolytic degradation) ของนิวคลีโอไทด์และกรดอะมิโนอิสระ การเปลี่ยนแปลงของระดับ TVB-N ในช่วงต่อมาของการเก็บรักษานั้นส่วนใหญ่จะเกิดจากผลร่วมกันระหว่างจุลินทรีย์และกิจกรรมการย่อยสลายตัวเองดังกล่าวข้างต้น (Li et al., 2010) ตั้งแต่วันที่ 21 ถึง 30 ของการเก็บรักษาตัวอย่างทั้งหมดมีระดับของ TVB-N ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ปริมาณ TVB-N นั้นจะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลา สภาวะในการเก็บรักษา และการเจริญของจุลินทรีย์

4.1.2.3 Sodium chloride (NaCl)

ระดับ NaCl ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาเริ่มต้นจะผันแปรอยู่ที่ประมาณ 0.042 ถึงประมาณ 0.094 g NaCl/100 g ดังแสดงในภาพที่ 4.5 โดยจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนถึงวันที่ 7 ของการเก็บรักษาและลดลงจนถึงวันที่ 14 ของการเก็บรักษา จากนั้นจะมีระดับค่อนข้างคงที่ ระดับของ NaCl จะมีความสัมพันธ์กับระดับ TBA หรือการเกิด lipid oxidation ทั้งนี้ได้มีผู้รายงานถึงผลของ NaCl ในการสนับสนุนให้เกิด lipid oxidation หรือทำหน้าที่เป็น pro-oxidant โดย Tang et al. (2001) พบว่าการเติมเกลือ 1% ลงในเนื้อไก่สดจะทำให้ระดับของ TBARS ในเนื้อไก่หลังผ่านการปรุงสุกสูงกว่าตัวอย่างควบคุม และในเนื้อสัตว์ปีกอื่นๆ เช่น เนื้อเป็ดและเนื้อนกกระจอกเทศ พบว่าตัวอย่างที่มีการเติมและไม่เติมเกลือ มีระดับของ TBARS แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่เติมเกลือ 1% จะมีระดับของ TBARS สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมเกลือตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Beltran et al. (2004) ที่พบว่าการเติม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกลือ 5% ลงในเนื้ออกไก่บดปรุงสุกที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 15 นาที จะทำให้ระดับของ TBARS เพิ่มสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเติมเกลือ และยังพบอีกว่าเกลือและการปรุงสุกสามารถเสริมฤทธิ์กันให้เกิด pro-oxidant effect ได้มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดออกซิเดชันของเม็ดสีอย่างรวดเร็ว อาจเป็นตัวกระตุ้นที่เป็นการเริ่มต้นของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ในระบบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Akamittath et al., 1990) อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาตัวอย่างที่มีการเติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT (T5) มีระดับของ NaCl ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.068 g NaCl/100 g



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของระดับ NaCl (NaCl (g)/100 g) ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภคที่แปรรูปด้วยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ปัจจัยแตกต่างกันคือ ตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมวัตถุเจือปนอาหาร) (T1, ◆); ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate (T2, □); ตัวอย่างที่เติม BHA (T3, ▲); ตัวอย่างที่เติม BHT (T4, △) และตัวอย่างที่เติม sodium benzoate, BHA และ BHT (T5, ■)

4.1.2.4 Water activity (a_w) และ pH values

ปริมาณน้ำอิสระและค่า pH ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.844 ถึง 0.925 และ 5.52 ถึง 6.15 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 โดยค่า a_w จะมีแนวโน้มที่ลดต่ำลงเล็กน้อยจนถึงวันที่ 7 ของการเก็บรักษา จากนั้นจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากเกลือ (NaCl) ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อหรือการพองตัว ขึ้นอยู่กับ pH ของเนื้อสัตว์ ซึ่ง NaCl จะเพิ่มการอุ้มน้ำของโปรตีนเมื่อ pH สูงกว่า pI และลดลงเมื่อ pH ต่ำกว่า pI

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(ลักขณา รุจนะไกรกานต์, 2540) การที่มี NaCl ในเนื้อจะทำให้ค่าความแรงของอิออน (ionic strength) เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ต่ำลง เกลือจะแตกตัวเป็น Na^+ และ Cl^- ซึ่งเกี่ยวข้องกับการที่ Cl^- ไปจับกับประจุบวกของโปรตีนไมโอไฟบริลที่หมู่อะมิโนโปรตีนจึงมีประจุลบมากขึ้น ทำให้เกิดแรงผลักกันในโครงร่างของโปรตีนเปิดออก ส่งผลให้น้ำเข้ามาในร่างแหของโปรตีนได้มากขึ้น ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water-holding capacity, WHC) ของโปรตีนกล้ามเนื้อจึงเพิ่มขึ้น (Ruusunen and Puolanne, 2005) และเมื่อเปรียบเทียบค่า pH ในตัวอย่างที่ศึกษาทั้งหมด จากวันที่ 0 และวันที่ 30 ของการเก็บรักษาจะมีแนวโน้มที่ลดต่ำลง ยกเว้นตัวอย่างที่มีการเติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT (T5) มีค่า pH ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งค่า pH ของตัวอย่างดังกล่าวอยู่ระหว่าง 5.87 ถึง 6.02 ตัวอย่างที่ไม่เติมวัตถุเจือปนอาหาร (T1) และเติม BHT (T4) จะมีค่า pH ต่ำสุดในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา อยู่ที่ 5.58 และ 5.52 ตามลำดับ โดยตัวอย่างที่มีการเติม BHT (T4) มีค่า pH ลดต่ำลงจากวันที่ 0 ของการเก็บรักษามากที่สุด ส่วนตัวอย่างที่มีการเติม sodium benzoate (T2) และตัวอย่างที่มีการเติม BHA (T3) จะมีระดับของ pH ลดต่ำที่สุดในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา การลดต่ำลงของค่า pH ส่วนใหญ่จะมีสาเหตุจากกิจกรรมของเชื้อ LAB ที่ทำให้เกิดกระบวนการหมักของกลูโคสและได้ผลิตผลหลักเป็นกรดแลคติก (Blackburn, 2006; Chouliara et al., 2007) ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าตัวอย่างที่มีการเติม BHT จะมีปริมาณเชื้อ LAB สูงสุด (7.34 log CFU/g) ส่งผลให้ค่า pH ในวันเดียวกันลดต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ค่า pH ของเนื้อสัตว์ยังขึ้นกับปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อของสัตว์ ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์ การลดลงของ pH อย่างรวดเร็วมีความเกี่ยวข้องกับการ denaturation ของ sarcoplasmic และ myofibrillar proteins การหดตัวเพิ่มมากขึ้นของ actomyosin และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อสัตว์ การเปลี่ยนแปลงของ pH ยังเกิดจากผลกระทบโดยตรงของการสูญเสียน้ำ (drip loss) ในตัวอย่างที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแรงผลักของประจุโปรตีน (electrostatic repulsion) ระหว่างเส้นใยโปรตีนสายหนาและบาง (Yu et al., 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของระดับ a_w ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลพร้อมบริโภค ที่แปรรูปโดยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($27 \pm 0.8\ ^{o}C$)

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ตัวอย่างควบคุม (T1)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate (T2)	ตัวอย่างที่เติม BHA (T3)	ตัวอย่างที่เติม BHT (T4)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT (T5)
0	$0.884^{Bd}\pm0.003$*	$0.875^{Aa}\pm0.003$	$0.888^{Bbc}\pm0.002$	$0.902^{Ca}\pm0.002$	$0.885^{Bc}\pm0.004$
7	$0.883^{De}\pm0.004$	$0.877^{Cab}\pm0.003$	$0.852^{Ba}\pm0003$	$0.909^{Eb}\pm0.001$	$0.844^{Aa}\pm0.002$
14	$0.898^{Bb}\pm0.004$	$0.880^{Aab}\pm0.003$	$0.883^{Ab}\pm0.003$	$0.923^{Cc}\pm0.003$	$0.887^{Ac}\pm0.005$
21	$0.894^{Ca}\pm0.004$	$0.882^{Bb}\pm0.001$	$0.883^{Bb}\pm0.004$	$0.907^{Db}\pm0.003$	$0.860^{Ab}\pm0.005$
30	$0.907^{Bc}\pm0.002$	$0.906^{Bc}\pm0.002$	$0.893^{Ac}\pm0.004$	$0.925^{Cc}\pm0.001$	$0.894^{Ad}\pm0.003$

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. * : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่แปรรูปโดยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($27 \pm 0.8\ ^{o}C$)

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ตัวอย่างควบคุม (T1)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate (T2)	ตัวอย่างที่เติม BHA (T3)	ตัวอย่างที่เติม BHT (T4)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT (T5)
0	$6.07^{Dd}\pm0.026$*	$5.90^{Bc}\pm0.006$	$5.90^{Bb}\pm0.012$	$6.03^{Cd}\pm0.006$	$5.87^{Aa}\pm0.010$
7	$6.15^{De}\pm0.015$	$6.06^{Bd}\pm0.006$	$6.07^{Bc}\pm0.000$	$6.12^{Ce}\pm0.006$	$5.95^{Ab}\pm0.006$
14	$5.73^{Bb}\pm0.000$	$5.85^{Cb}\pm0.006$	$6.06^{Dc}\pm0.006$	$5.61^{Ab}\pm0.049$	$6.02^{Dc}\pm0.029$
21	$5.58^{Ba}\pm0.046$	$5.90^{CDc}\pm0.006$	$5.93^{Db}\pm0.026$	$5.52^{Aa}\pm0.010$	$5.88^{Ca}\pm0.006$
30	$5.80^{Bc}\pm0.012$	$5.77^{Ba}\pm0.049$	$5.80^{Ba}\pm0.031$	$5.67^{Ac}\pm0.006$	$5.88^{Ca}\pm0.006$

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. * : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.3 สมบัติทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA) แสดงในตารางที่ 4.3-4.8 โดยสามารถแปรผลได้ดังนี้คือ ความแข็ง (hardness) หมายถึงแรงที่ทำให้อาหารเกิดการผิดรูป (deformation) หรือความเครียด (strain) ซึ่งวัดจากแรงสูงสุดของการกดครั้งแรก แอดฮีซีฟว์ (adhesiveness) หมายถึงแรงที่ทำให้วัสดุหลุดออกจากสิ่งเกาะติด เป็นพื้นที่ใต้กราฟมีค่าติดลบหลังจากที่ถอนแรงกดครั้งแรกเป็นแรงที่หน่วงหัววัดก่อนถอนขึ้นไปยังตำแหน่งเดิม โคฮีซีฟว์ (cohesiveness) หมายถึงแรง (strength) ที่ยึดเหนี่ยวภายในวัสดุ เป็นแรงที่ใช้กดครั้งที่สองหารด้วยแรงที่ใช้กดครั้งแรก ความยืดหยุ่น (springiness) หมายถึงอัตราการคืนสู่สภาพเดิมของวัสดุที่ผิดรูป (deformed) เมื่อปล่อยแรงกระทำ (deforming force) เป็นการวัดค่าโครงสร้างของอาหารแตกไปเท่าไรในการกดครั้งแรก หรือวัดความเหนียวของอาหาร จากผลต่างของเวลาในการกดครั้งแรกถึงเวลาก่อนเริ่มกดครั้งที่สอง กัมมิเนส (gumminess) หมายถึงพลังงานที่ใช้ในการบดอาหารกึ่งแข็ง (semi-solid food) จนกระทั่งพร้อมกลืน ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง hardness และ cohesiveness และชีววีเนส (chewiness) หมายถึงพลังงานที่ใช้บดอาหารแข็ง (solid food) จนกระทั่งพร้อมกลืน ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง hardness, cohesiveness และ springiness (Carballo et al., 2001)

การเปลี่ยนแปลงค่า Hardness ของเนื้อสัตว์ในระหว่างการเก็บรักษา ขึ้นกับปัจจัยด้านปริมาณน้ำและสภาวะของโปรตีนภายในเนื้อสัตว์ (García-Esteban et al., 2004) ซึ่งถือเป็นปัจจัยด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สำคัญที่สุด สามารถส่งผลต่อการบริโภคและการกำหนดมูลค่าของผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ (Kruk et al, 2011) ค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลา โดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 228.90 N ซึ่งถือว่าเนื้อไก่มีความแข็ง เมื่อเปรียบเทียบจากการศึกษาของ Carballo et al. (2001) ที่พบว่าเนื้อไก่ปรุงสุกที่อุณหภูมิ 70 ^{o}C และเติมเกลือ 1.5% มีค่า Hardness อยู่ที่ประมาณ 29.3 N ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการ โดยเนื้อไก่จะมีความแข็งและแห้งมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิภายในของเนื้อไก่เพิ่มสูงขึ้น โดยมีรายงานถึงปรากฏการณ์ที่น่าสนใจ เมื่อใช้อุณหภูมิปานกลางระหว่าง 60 ถึง 68 ^{o}C จะทำให้ค่า Hardness ลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงระดับต่ำที่สุด และจะเพิ่มขึ้นสูงที่สุดเมื่อใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 80 ^{o}C (Toldrá, 2010) นอกจากนี้ปริมาณเกลือที่มีในตัวอย่างเนื้อไก่ก็อาจส่งผลต่อค่า Hardness ของเนื้อไก่ได้ เนื่องจากเกลือจะช่วยให้เกิดการสกัดของโปรตีนออกมามากขึ้น ซึ่งทำให้ความสามารถในการจับน้ำ (water-binding ability) ของโปรตีนพัฒนาขึ้น โดยพบว่าเนื้อไก่ปรุงสุกจะมีความแข็ง (rigid) มากขึ้น ถ้าระดับของเกลือที่ใช้และโปรตีนที่ถูกสกัดออกมามีมากขึ้น (Somboonpanyakul, 2007) ในวันที่ 0 และ 7 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างทั้งหมดมีค่า Hardness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ตัวอย่างที่มีการเติม sodium benzoate (T2) และเติม BHA (T3) จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยจนถึงวันที่ 14 ของการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เก็บรักษาและลดลงจนถึงวันที่ 30 ของการเก็บรักษา เนื่องจากเนื้อไก่เริ่มเกิดการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาตัวอย่างที่เติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT (T5) มีค่า Hardness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ตามระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนตัวอย่างที่มีการเติม BHT (T4) จะมีค่า Hardness ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นและมีแนวโน้มที่ลดลง โดยระหว่างวันที่ 14 ถึง 30 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างดังกล่าวจะมีค่า Hardness ต่ำกว่าตัวอย่างที่เติม sodium benzoate (T2) หรือเติม BHA (T3) หรือตัวอย่างที่ใช้ผลร่วมกันของวัตถุเจือปนอาหารทั้ง 3 ชนิด (T5) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้มีสาเหตุจากเนื้อไก่ที่เติม BHT มีความนิ่มและเละจากการเน่าเสีย โดยการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณที่สูงกว่าตัวอย่างอื่น โดยเฉพาะเชื้อในกลุ่ม LAB ที่ทำให้เกิดการขยายตัวของโปรตีน (protein swell) และการขยายตัวของคาร์โบไฮเดรท ทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้นและเกิดการสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เป็นผลมาจากกระบวนการหมักของกลูโคสแล้วทำให้ได้ผลผลิตหลายชนิด (heterofermentative utilisation of glucose) โดยโปรตีนจะแยกตัวเกิดการเน่าเปื่อย เนื่องจากกิจกรรมของ proteolytic enzyme ตามด้วยกระบวนการ decarboxylation ของกรดอะมิโนที่เอื้อต่อการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Blackburn, 2006) การเติมวัตถุเจือปนอาหารไม่สามารถส่งผลที่ชัดเจนต่อค่า Adhesiveness โดยตัวอย่างทั้งหมดจะมีค่าดังกล่าวเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่มากขึ้น ยกเว้นตัวอย่างที่เติม BHT (T4) จะมีค่า Adhesiveness อยู่ในแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จากประมาณ 0.063 ถึง 2.023 N.s สำหรับคุณลักษณะทางกายภาพด้านอื่นๆ พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาและการเติมวัตถุเจือปนอาหารไม่ส่งผลกระทบที่ชัดเจนต่อค่า Cohesiveness, Springiness, Guminess และ Chewiness ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.49, 0.65, 112.91 N และ 73.75 N ตามลำดับ ความเหนียวของเนื้อไก่ที่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา อาจมีสาเหตุมาจากการเน่าเสียของเนื้อสัตว์แบบเกิดเมือก (ropy spoilage) โดยบริเวณผิวหน้าของเนื้อสัตว์จะเกิดเมือกขึ้น ซึ่งเป็นสารพวก exopolysaccharide ที่ผลิตจากเชื้อในกลุ่ม LAB โดยเฉพาะเชื้อ *L. sakei* และ *Leuconostoc citreum* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่พบในผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ โดยการเกิด (formation) glucose-galactose-containing polymer (Blackburn, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่า Hardness (N) ของผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่แปรรูปโดยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($27 \pm 0.8\ ^{o}C$)

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ตัวอย่างควบคุม (T1)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate (T2)	ตัวอย่างที่เติม BHA (T3)	ตัวอย่างที่เติม BHT (T4)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT (T5)
0	190.91^{Aa}±41.45*	179.16^{Aa}±54.21	207.80^{Aa}±34.18	204.04^{Ab}±35.61	235.59^{Aa}±31.02
7	203.184^{Aa}±60.60	215.742^{Aab}±57.34	237.286^{Aa}±43.01	186.998^{Aab}±65.55	219.715^{Aa}±56.93
14	232.153^{ABa}±52.96	279.115^{BCbc}±62.89	312.118^{Cb}±57.01	171.583^{Aab}±27.39	271.378^{BCa}±13.86
21	247.420^{Ba}±86.44	254.903^{Bbc}±42.00	268.408^{Bab}±39.29	139.533^{Aa}±32.58	151.173^{Ba}±52.69
30	224.483^{ABa}±73.66	296.28^{Bc}±44.45	255.708^{Bab}±63.21	170.128^{Aab}±37.39	261.923^{Ba}±39.83

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. * : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่า Adhesiveness (N.s) ของผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่แปรรูปโดยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 0.8 °C)

ระยะเวลาการเก็บรักษา(วัน)	ตัวอย่างควบคุม (T1)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate (T2)	ตัวอย่างที่เติม BHA (T3)	ตัวอย่างที่เติม BHT (T4)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT (T5)
0	0.027^{*Aa}±0.02*	0.109^{Aab}±0.06	0.098^{Aa}±0.04	0.063^{Aa}±0.04	0.104^{Aa}±0.09
7	0.047^{Aa}±0.05	0.099^{ABab}±0.07	0.123^{ABa}±0.03	0.060^{ABa}±0.04	0.123^{Ba}±0.02
14	0.054^{Aa}±0.05	0.077^{Aab}±0.03	0.111^{ABa}±0.04	0.179^{Bab}±0.13	0.052^{Aa}±0.02
21	0.050^{Aa}±0.03	0.028^{Aa}±0.02	0.090^{Aa}±0.08	0.740^{Bb}±0.66	0.407^{ABa}±0.52
30	0.123^{Ab}±0.07	0.168^{Ab}±0.10	0.153^{Aa}±0.08	2.023^{Ac}±0.82	3.067^{Aa}±6.40

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. * : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของค่า Cohesiveness ของผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่แปรรูปโดยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($27 \pm 0.8\ ^{o}C$)

ระยะเวลาการเก็บรักษา(วัน)	ตัวอย่างควบคุม (T1)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate (T2)	ตัวอย่างที่เติม BHA (T3)	ตัวอย่างที่เติม BHT (T4)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT (T5)
0	$0.493^{Aa}\pm0.07$*	$0.529^{Aa}\pm0.11$	$0.485^{Aa}\pm0.09$	$0.522^{Ac}\pm0.04$	$0.586^{Ab}\pm0.09$
7	$0.586^{Bb}\pm0.09$	$0.461^{Aa}\pm0.07$	$0.497^{ABa}\pm0.07$	$0.535^{ABd}\pm0.07$	$0.501^{ABab}\pm0.08$
14	$0.496^{ABa}\pm0.08$	$0.567^{Ba}\pm0.09$	$0.456^{Aa}\pm0.04$	$0.455^{Abc}\pm0.05$	$0.469^{ABa}\pm0.08$
21	$0.470^{Aa}\pm0.03$	$0.517^{Aa}\pm0.10$	$0.498^{Aa}\pm0.07$	$0.422^{Aab}\pm0.06$	$0.460^{Aa}\pm0.03$
30	$0.444^{ABa}\pm0.04$	$0.478^{Ba}\pm0.05$	$0.479^{Ba}\pm0.11$	$0.373^{Aa}\pm0.02$	$0.479^{Ba}\pm0.07$

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. * : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของค่า Springiness ของผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่แปรรูปโดยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($27 \pm 0.8\ ^{o}C$)

ระยะเวลาการเก็บรักษา(วัน)	ตัวอย่างควบคุม (T1)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate (T2)	ตัวอย่างที่เติม BHA (T3)	ตัวอย่างที่เติม BHT (T4)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT (T5)
0	$0.628^{Aa}\pm0.05$*	$0.617^{Aa}\pm0.06$	$0.658^{Aa}\pm0.07$	$0.627^{Aa}\pm0.07$	$0.668^{Aab}\pm0.05$
7	$0.668^{Aa}\pm0.05$	$0.631^{Aa}\pm0.06$	$0.646^{Aa}\pm0.10$	$0.659^{Aa}\pm0.07$	$0.632^{Aa}\pm0.07$
14	$0.645^{Aa}\pm0.07$	$0.702^{Aa}\pm0.06$	$0.668^{Aa}\pm0.04$	$0.647^{Aa}\pm0.08$	$0.712^{Ab}\pm0.05$
21	$0.657^{BCa}\pm0.07$	$0.671^{BCa}\pm0.06$	$0.691^{Ca}\pm0.06$	$0.574^{Aa}\pm0.05$	$0.606^{ABa}\pm0.05$
30	$0.621^{Aa}\pm0.05$	$0.655^{Aa}\pm0.07$	$0.656^{Aa}\pm0.08$	$0.636^{Aa}\pm0.08$	$0.668^{Aab}\pm0.04$

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. * : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของค่า Guminess (N) ของผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่แปรรูปโดยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($27 \pm 0.8\ ^{o}C$)

ระยะเวลาการเก็บรักษา(วัน)	ตัวอย่างควบคุม (T1)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate (T2)	ตัวอย่างที่เติม BHA (T3)	ตัวอย่างที่เติม BHT (T4)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT (T5)
0	95.430^{Aa}±31.67*	96.694^{Aa}±39.58	101.870^{Aa}±29.57	107.620^{Ab}±27.03	139.227^{Aa}±33.71
7	139.227^{Aa}±33.71	101.222^{Aa}±41.69	119.911^{Aa}±37.38	103.392^{Ab}±46.80	112.936^{Aa}±42.26
14	118.253^{ABa}±47.16	161.382^{Bb}±55.88	143.127^{Ba}±34.45	78.669^{Aab}±18.47	126.813^{ABa}±16.73
21	118.074^{Ba}±48.81	129.595^{Bab}±18.66	134.902^{Ba}±34.93	58.889^{Aa}±16.29	116.377^{Ba}±29.39
30	101.268^{ABa}±39.70	142.930^{Bab}±37.41	127.075^{Ba}±60.69	63.829^{Aa}±15.95	125.121^{Ba}±23.28

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. * : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของค่า Chewiness (N) ของผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่แปรรูปโดยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($27 \pm 0.8\ ^{o}C$)

ระยะเวลาการเก็บรักษา(วัน)	ตัวอย่างควบคุม (T1)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate (T2)	ตัวอย่างที่เติม BHA (T3)	ตัวอย่างที่เติม BHT (T4)	ตัวอย่างที่เติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT (T5)
0	6173.019^{Aa}±23.79*	6280.060^{Aa}±29.83	6978.627^{Aa}±26.28	7014.652^{Ab}±24.18	93.048^{Aa}±22.91
7	93.048^{Aa}±22.91	64.988^{Aa}±31.52	80.461^{Aa}±26.71	69.894^{Ab}±37.74	73.132^{Aa}±31.75
14	78.722^{ABa}±39.95	115.523^{Bb}±47.39	96.365^{ABa}±28.06	51.840^{Aab}±17.94	90.825^{ABa}±17.76
21	79.116^{Ba}±40.43	$86.572B^{ab}$±12.04	94.180^{Ba}±30.55	94.180^{Aa}±12.00	71.334^{Ba}±21.60
30	63.336^{ABa}±27.10	$95.840B^{ab}$±38.41	86.844^{ABa}±52.12	41.391^{Aab}±13.73	83.513^{ABa}±16.11

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. * : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 อายุการเก็บรักษาไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่ผ่านการใช้วัตถุเจือปนอาหาร และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 2 °C เป็นระยะเวลา 30 วัน

4.2.1 สมบัติทางจุลชีววิทยา

จากการศึกษาผลของวัตถุเจือปนอาหารที่มีต่อสมบัติทางจุลชีววิทยา เคมี และกายภาพของผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่แปรรูปโดยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 0.8 °C) เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าตัวอย่าง T5 มีอายุการเก็บรักษายาวนานที่สุด เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ด้านจุลชีววิทยาของสินค้าปศุสัตว์เพื่อการส่งออก ตามประกาศกรมปศุสัตว์ (กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551) และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในอัตราที่ช้ากว่าตัวอย่างกลุ่มอื่น ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา จึงเป็นเหตุผลในการเลือกตัวอย่างดังกล่าวมาทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 2 °C

ผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาที่ผ่านการเติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT บรรจุในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 2 °C เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่ามีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 2 log CFU/g ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ หลังจากนั้นจะพบการเจริญประมาณ 1 log CFU/g ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา และเพิ่มขึ้นเป็น 1.6 log CFU/g ในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ซึ่งสอดคล้องการศึกษาของ Hwang and Beuchat (1995) ได้รายงานถึงประสิทธิภาพของสารละลาย 0.5% lactic acid/0.05% sodium benzoate (LB) (pH 2.64) โดยนำมาใช้ในการล้างเนื้อปีกไก่ดิบที่ผ่านการเพาะเชื้อก่อโรค (pathogen) และ psychrotrophic bacteria เป็นเวลา 30 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C พบว่าสารละลาย LB สามารถลดปริมาณเชื้อดังกล่าวต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม (ล้างเนื้อไก่ด้วยน้ำ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีปริมาณน้อยกว่า 5 log CFU/g ตลอดระยะเวลา 8 วันของการเก็บรักษา

วันที่ 0 และ 7 ของการเก็บรักษา ไม่พบการเจริญของเชื้อ LAB บนอาหารเลี้ยงเชื้อ หลังจากนั้นจะพบการเจริญประมาณ 1.15 log CFU/g ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา และเพิ่มขึ้นเป็น 1.48 log CFU/g ในวันที่ 30 ของเก็บรักษา ส่วนเชื้อในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* และเชื้อยีสต์และรา ไม่พบการเจริญตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ตัวอย่างจึงมีอายุการเก็บรักษามากกว่า 30 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุปสรรคให้กับเชื้อจุลินทรีย์มากขึ้นสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารได้ยาวนานขึ้น และยังคงคุณลักษณะที่ดีของอาหารไว้ได้ ไม่ว่าจะเป็นผลจากวัตถุเจือปนอาหาร กระบวนการทางความร้อน การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ หรือสภาวะการบรรจุแบบสุญญากาศโดยเฉพาะประสิทธิภาพของปัจจัยด้านอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิต่ำจะมีผลไปลดปฏิกิริยาทางเคมีและการทำงานของเอนไซม์ จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ออกไป อุณหภูมิต่ำจะไม่เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียประเภทที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophiles) แต่เหมาะสมกับแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (psychrophiles) หรือแบคทีเรียที่ปรับตัวเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ (psychrotrophs) (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549) และสภาวะสุญญากาศที่ใช้ในการเก็บรักษา ก็สามารถส่งผลในการชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้โดย Ntzimani et al. (2010) รายงานว่าการใช้บรรจุภัณฑ์สุญญากาศสำหรับเนื้อไก่เคลือบกึ่งปรุงสุก สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ 5 ถึง 6 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับการบรรจุในสภาวะที่มีอากาศ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในตอนที่ 1 พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ปนเปื้อนในตัวอย่าง คือเชื้อในกลุ่ม LAB ซึ่งสามารถเจริญได้ในขอบเขตของอุณหภูมิที่กว้าง โดยทั่วไปเป็นพวก mesophiles และบางสายพันธุ์เป็น psychrotrophic ซึ่งสามารถเจริญที่อุณหภูมิการแช่เย็นได้ ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์โดยทั่วไปจะพบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเชื้อในกลุ่ม aerobic Gram-negative bacteria แต่สภาวะการบรรจุแบบสุญญากาศและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เชื้อในกลุ่ม psychrotrophic LAB สามารถเจริญได้ดีกว่า (Blackburn, 2006) ทั้งนี้อาจจะต้องใช้ระยะเวลาในการเก็บรักษามากขึ้น จึงจะทราบถึงอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาที่อุณหภูมิการแช่เย็น ดังกล่าวได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบสมบัติทางจุลชีววิทยา ของไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่ผ่านการใช้วัตถุเจือปนอาหาร และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 2 ^{o}C เป็นระยะเวลา 30 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)	Lactic acid bacteria (log CFU/g)
0	ND	ND
7	1.00^{A}±0.00*	ND
14	1.45^{B}± 0.21	1.15^{A}±0.21
21	1.60^{B}±0.00	1.24^{A}±0.34
30	1.60^{B}±0.16	1.48^{A}±0.00

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. * : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.)

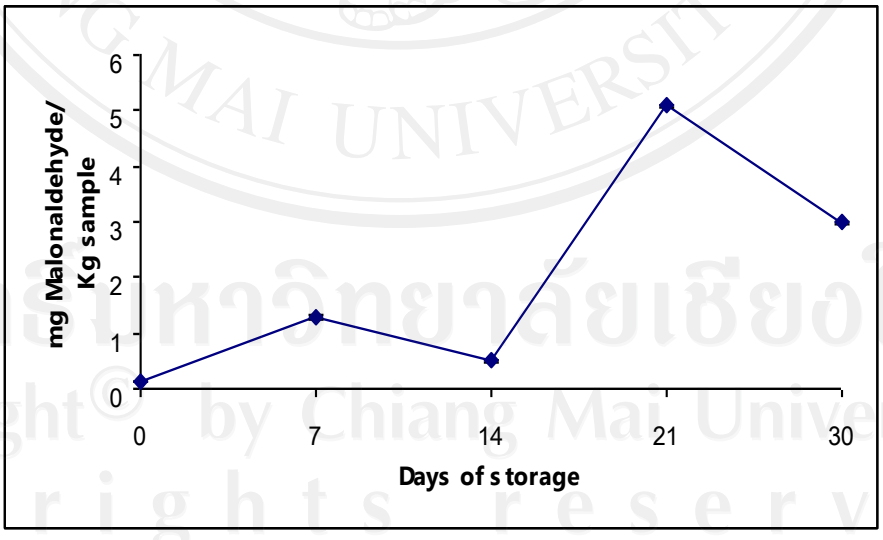
3. ND : not detected

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 สมบัติทางเคมี

4.2.2.1 Thiobarbituric acid (TBA)

ระดับของ TBA ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาที่ผ่านการแช่เย็น ดังแสดงในภาพที่ 4.6 โดยการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA ในระหว่างการเก็บรักษามีแนวโน้มเช่นเดียวกับตัวอย่างที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แต่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.13 ถึง 5.09 mg MDA/100 g ซึ่งถือว่าเป็นระดับที่ต่ำกว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาในสภาวะอุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามปริมาณ TBA จะมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ปรุงสุกคือ 1-2 mg MDA/kg ของเนื้อสัตว์ (Garg and Mendiratta, 2006) เมื่อเก็บรักษานานประมาณ 16 วัน อัตราการเกิด lipid oxidation ของตัวอย่างในสภาวะดังกล่าวจึงต่ำกว่า การลดลงของระดับ TBA หลังจากการเก็บรักษานาน 21 วัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันบางชนิดเป็นสารที่ไม่คงตัว จึงเกิดปฏิกิริยาต่อไปโดยการสลายตัว หรือมาทำปฏิกิริยากันเองเกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ และในสภาวะสุญญากาศอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นใหม่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนได้ ปฏิกิริยาก็จะหยุดลง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) และสารที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการดังกล่าวเกิดการสลายตัวในระหว่างการเก็บรักษา โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระดับ TBA จะมีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Chouliara et al. (2007) และ Bozkurt (2006) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นในการศึกษาตอนที่ 1

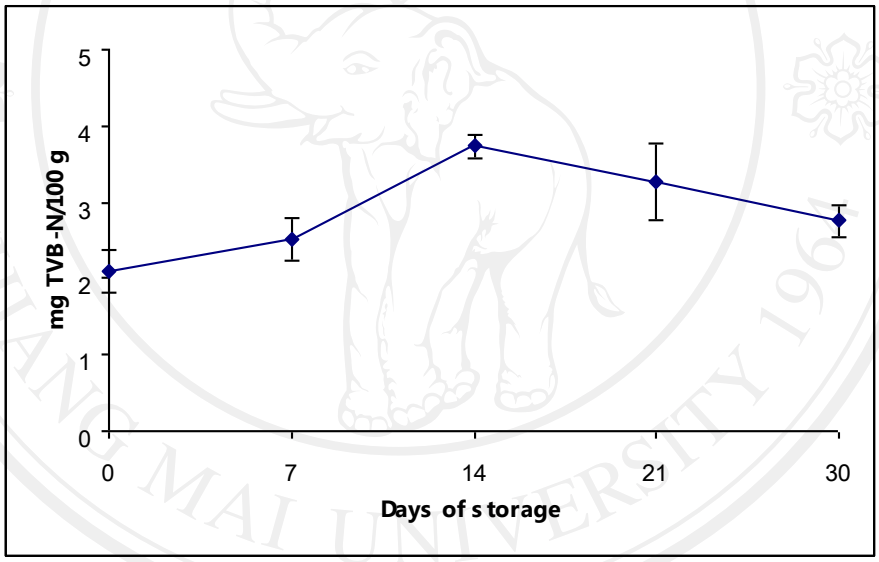


ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของระดับ TBA (mg MDA/kg) ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภคที่ผ่านการเติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT บรรจุในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 2 °C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2.2 Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N)

ระดับ TVB-N ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลา จะมีค่าอยู่ระหว่าง 2.10 ถึง 3.73 mg TVB-N/100 g โดยจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนถึงวันที่ 14 ของการเก็บรักษาและลดลงจนถึงวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 4.7 ซึ่งถือว่ามีระดับที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (2.10 ถึง 5.39 mg TVB-N/100 g) การที่ระดับ TVB-N เพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกของการเก็บรักษาอาจเกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ (Kruk et al., 2011) ผลการศึกษาดังกล่าวจะขัดแย้งกับการศึกษาในเนื้อไก่สดแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศหรือบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ ซึ่งระดับของ TVB-N จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Balamatsia et al., 2007; Patsias et al., 2008; Economou et al., 2009)



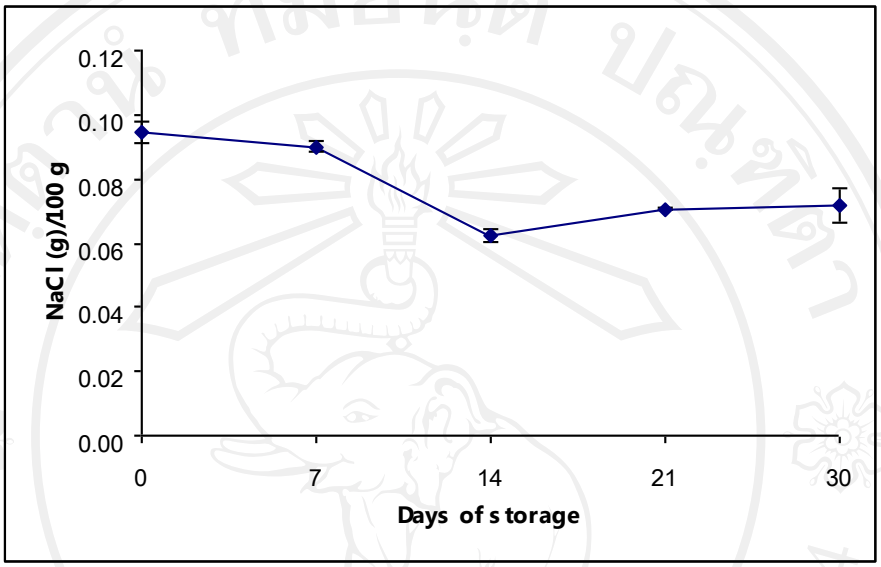
ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของระดับ TVB-N (mg TVB-N/100 g) ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่ผ่านการเติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT บรรจุในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 2 °C

4.2.2.3 Sodium chloride (NaCl)

ระดับ NaCl จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.062 ถึง 0.095 g NaCl/100 g ดังแสดงในภาพที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวันที่ 0 และ 7 ของการเก็บรักษา และระหว่างวันที่ 21 และ 30 ของการเก็บรักษา พบว่าตัวอย่างมีปริมาณ NaCl ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยวันที่ 14 ของการเก็บรักษาตัวอย่างมีปริมาณ NaCl ต่ำที่สุด ผลดังกล่าวจะแตกต่างจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยพบว่าตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ตัวอย่างมีปริมาณ NaCl ไม่แตกต่างอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ทั้งนี้ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา มีระดับของ NaCl เริ่มต้นที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิการแช่เย็นจะมีระดับของ NaCl เริ่มต้น (0.095 g NaCl/100 g) สูงกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (0.066 g NaCl/100 g) เล็กน้อย



ภาพที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของระดับ NaCl (NaCl (g)/100 g) ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่ผ่านการเติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT บรรจุในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 2 °C

4.2.2.4 Water activity (a_w) และ pH values

ค่า a_w และ pH ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาที่เติม Sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 2 °C จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.837 ถึง 0.910 และ 5.83 ถึง 6.04 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ตัวอย่างที่ทำการศึกษา มีค่า a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาตัวอย่างจะมีค่า a_w สูงที่สุด ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Díaz et al. (2010) ที่รายงานค่า a_w ในเนื้อหมูปรุงสุก บรรจุในสภาวะสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °C ไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลา 90 วันของการเก็บรักษา และการศึกษาของ Mataragas et al. (2003) พบว่าค่า a_w ของเนื้อหมูหมักเค็ม ที่ผ่านการบรรจุในสภาวะสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 2 °C ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ตลอด 30 วันของการเก็บรักษา ทั้งนี้ค่า a_w จะมีความสัมพันธ์กับระดับ NaCl กล่าวคือตัวอย่างที่มีระดับ NaCl สูงจะส่งผลให้มีค่า a_w ต่ำ เนื่องจากเกลือสามารถเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนในเนื้อสัตว์ดังที่กล่าวมาแล้ว และยังรวมตัวกับน้ำได้ดีกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีนอีกด้วย จึงเป็นเหตุให้โปรตีนสูญเสียน้ำอิสระ (มาลัยวรรณ อารยะสกุล และวรรณบูลย์ กาญจนกุญชร, 2546) เช่น ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างจะมีระดับ NaCl ต่ำที่สุดและมีค่า a_w สูงที่สุดเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ค่า a_w ยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งค่าดังกล่าวแสดงถึงปริมาณน้ำอิสระที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญ โดยพบว่าค่า a_w ต่ำสุดในอาหาร สำหรับเชื้อ LAB สามารถเจริญได้คือระหว่าง 0.92-0.95 และสำหรับเชื้อในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* ได้แก่ *E. coli* และ *Enterobacter aerogenes* สามารถเจริญได้คือประมาณ 0.96 และ0.95 ตามลำดับ (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549) ดังนั้นค่า a_w ในตัวอย่างที่ทำการศึกษาจึงไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าว

การเปลี่ยนแปลงค่า pH มีแนวโน้มคงที่และอยู่ในระดับที่ไม่ส่งผลต่อคุณลักษณะของตัวอย่าง เนื่องจากมีค่าแตกต่างกันเพียง 0.21 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Selani et al. (2011) รายงานว่าเนื้อไก่ปรุงสุกแช่เยือกแข็ง ผ่านการเติมสารต้านอนุมูลอิสระที่สกัดจากเมล็ดองุ่นและองุ่นปอกเปลือก (Isabel (IGE) and Niagara (NGE) grape seed and peel extracts) มีค่า pH แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลา 9 เดือนของการเก็บรักษา โดยตัวอย่างมีค่า pH ระหว่าง 6.44 ถึง 6.59 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันเพียง 0.15 เท่านั้น จึงไม่ส่งผลต่อคุณลักษณะของอาหาร และการศึกษาของ Jeun-Horng et al. (2009) พบว่าไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์จากเนื้อไก่ (chicken frankfurter) บรรจุในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 ^{o}C เป็นระยะเวลา 30 วัน มีระดับ pH แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ การเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิต่ำ พบการเจริญของเชื้อ LAB ในระดับที่ต่ำมาก ทำให้ค่า pH ของตัวอย่างมีแนวโน้มคงที่ และตัวอย่างไม่เกิดการเน่าเสีย เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ตลอดระยะเวลา 30 วันของการเก็บรักษา โดยวันที่ 7 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างมีค่า pH ต่ำที่สุด ความแตกต่างของค่า pH ในระหว่างการเก็บรักษานั้น อาจมีสาเหตุมาจากการสะสมปริมาณไกลโคเจนที่แตกต่างกันภายในกล้ามเนื้อสัตว์ เมื่อถูกนำมาใช้ในกระบวนการไกลโคไลซีส (glycolysis) เกิดกรดแลคติก จึงมีผลทำให้ pH ของกล้ามเนื้อลดต่ำลงแตกต่างกัน (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549) ดังนั้นผลของอุปสรรคที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ จึงมีประสิทธิภาพในการถนอมรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาให้มีอายุการเก็บรักษายาวนานมากขึ้น นอกจากนี้พบว่าการเติมสาร BHA และ BHT ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ McCarthy et al. (2001) ที่ใช้สาร BHA/BHT ความเข้มข้น 100 ppm ในเนื้อหมูปรุงสุก พบการเปลี่ยนแปลงของค่า pH เพียงเล็กน้อยจาก 5.90 ถึง 6.22 ในระยะเวลา 9 วันของการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของระดับ a_w และค่า pH ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่ผ่านการเติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT บรรจุในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 2 °C

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	a_w	pH
0	0.837^{A}±0.005*	6.04^{C}±0.02
7	0.858^{B}±0.004	5.83^{A}±0.01
14	0.910^{E}±0.003	6.02^{BC}±0.02
21	0.867^{C}±0.002	6.01^{B}±0.01
30	0.886^{D}±0.002	6.03^{C}±0.01

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. * : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.)

4.2.3 สมบัติทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis, TPA) ดังแสดงในตารางที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของค่า Hardness มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 205.32 N ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ García-Esteban et al. (2004) รายงานว่าผลิตภัณฑ์ dry-cured ham ในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ มีค่า Hardness ในแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C จากประมาณ 19.91 ถึง 26.18 N และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลามีค่า Adhesiveness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.07 N.s และมีค่า Springiness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่ง García-Esteban et al. (2004) ได้รายงานถึงค่าดังกล่าวในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าช่วง 3 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ dry-cured ham ในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ มีค่า Springiness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนคุณลักษณะทางกายภาพด้านอื่นๆ พบว่าระยะเวลาของการเก็บรักษาไม่สามารถส่งผลกระทบที่ชัดเจนต่อค่า Cohesiveness, Guminess และ Chewiness ในผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลา โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.44, 92.13 N และ 56.83 N ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis,TPA) ของผลิตภัณฑ์ไก่ต้มน้ำปลาพร้อมบริโภค ที่ผ่านการเติม sodium benzoate ร่วมกับ BHA และ BHT บรรจุในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 2 °C

ระยะเวลาการเก็บรักษา(วัน)	Hardness (N)	Adhesiveness (N.s)	Cohesiveness	Springiness	Guminess (N)	Chewiness (N)
0	164.551^{AB}±24.85*	0.060^{A}±0.03	0.429^{AB}±0.02	0.548^{A}±0.03	70.310^{AB}±8.44	38.569^{A}±5.50
7	235.142^{BC}±46.88	0.069^{A}±0.06	0.508^{B}±0.07	0.678^{A}±0.10	121.374^{C}±37.78	84.835^{B}±36.89
14	134.443^{A}±32.37	0.081^{A}±0.03	0.437^{AB}±0.05	0.584^{A}±0.03	59.885^{A}±21.85	35.313^{A}±14.21
21	247.850^{C}±52.99	0.039^{A}±0.03	0.411^{A}±0.02	0.571^{A}±0.05	101.681^{ABC}±21.12	58.713^{AB}±16.41
30	244.629^{C}±34.32	0.084^{A}±0.06	0.436^{AB}±0.03	0.617^{A}±0.12	107.379^{BC}±21.74	66.729^{AB}±19.75

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. * : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved