ผลของสัดส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนต่ออายุการเก็บรักษาลูกชิ้นปลานิลที่เก็บภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร

พัชรี มีชัย[1] และ พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์[2]

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

รับเมื่อ 22 มิถุนายน 2549 ตอบรับเมื่อ 25 มิถุนายน 2550

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาลูกชิ้นปลานิลโดยใช้เทคนิคการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร โดยบรรจุลูกชิ้นปลานิลในถุงไนลอน/พอลิเอทิลิน (nylon/PE) ซึ่งแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซในบรรจุภัณฑ์เป็น 100%CO, 80%CO_2+20%N_2, 60%CO_2+40%N_2 และ 40%CO_2+60%N_2 เก็บที่อุณหภูมิ 4±2°ซ และนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ pH Aw และค่าการสูญเสียน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ลูกชิ้นปลานิลจากทุกสภาวะมีปริมาณจุลินทรีย์ ค่าการสูญเสียน้ำ และค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีค่า pH และ Aw ลดลง สำหรับผลของสภาวะการบรรจุต่อคุณภาพของลูกชิ้นปลานิล พบว่าสภาวะก๊าซต่าง ๆ ในบรรจุภัณฑ์มีผลต่อคุณภาพของลูกชิ้นปลานิลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยลูกชิ้นปลานิลที่เก็บในสภาวะ 100% CO_2 มีการเพิ่มของจุลินทรีย์และการลดลงของค่า pH น้อยที่สุด รองลงมาคือที่สภาวะ 80%CO_2+20%N_2, 60%CO_2+40%N_2 และ 40%CO_2+60%N_2 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ลูกชิ้นปลานิลมีค่า Aw ลดลง ในขณะที่มีค่าการสูญเสียน้ำและค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับผลทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาที่สภาวะ 60%CO_2+ 40%N_2 ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบนานที่สุดคือเท่ากับ 12 วัน

คำสำคัญ : ลูกชิ้นปลานิล / อายุการเก็บรักษา / บรรยากาศดัดแปร

---

[1] *นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาจุลชีววิทยา*

[2] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาจุลชีววิทยา*

Effect of Carbon Dioxide and Nitrogen Ratios on Shelf-life of Fish Balls Packed under Modified Atmosphere Condition

Patcharee Meechai [1] and Punchira Vongsawasdi [2]

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Received 22 June 2006 ; accepted 25 June 2007

Abstract

The extension of shelf-life of fish balls by modified atmosphere packaging (MAP) was investigated by packing fish balls in nylon/PE bags with various gas concentrations (100%CO_2, 80%CO_2+ 20%N_2, 60%CO_2+ 40%N_2 and 40%CO_2+ 60%N_2). All samples were kept at 4±2°C and taken for determining microbiological, chemical, physical and sensory qualities during storage. The results showed that storage time had significant effects on total bacteria, pH, Aw, drip loss and firmness ($p \leq 0.05$). As storage time increased, total bacteria, drip loss and firmness of fish balls packed under all modified atmosphere conditions increased while pH and Aw of those fish balls decreased. The various packing conditions had significant effects on qualities of fish balls as well. Total bacteria number of the fish balls packed under 100%CO_2 was lower than that of any other modified atmosphere conditions. In addition, the decrease of pH of fish balls packed under 100%CO_2 was the lowest following by 80%CO_2+20%N_2, 60%CO_2+40%N_2 and 40%CO_2+60%N_2, respectively. The increment of CO_2 concentration resulted in significant decrease in Aw but increase in drip loss and firmness ($p \leq 0.05$). However, the results from sensory evaluation indicated that fish balls packed under 60%CO_2+ 40%N_2 obtained the highest score and were accepted by the panelists until 12 days of storage.

Keywords : Fish balls / Shelf life / Modified Atmosphere

---

[1] *Graduate Student, Department of Microbiology.*

[2] *Assistance Professor, Department of Microbiology.*

1. บทนำ

ลูกชิ้นปลาเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคกันแพร่หลายทั้งภายในและต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศญี่ปุ่น จีน เกาหลีใต้ และไต้หวัน [1] อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีอายุการเก็บรักษาสั้น จิราวรรณ แย้มประยูร และคณะ [2] พบว่าลูกชิ้นปลาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°ซ (อุณหภูมิห้อง) จะเกิดการเน่าเสียภายใน 24 ชั่วโมง ในขณะที่ลูกชิ้นปลาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีอายุการเก็บรักษาได้เพียง 4 วัน สำหรับการเสื่อมเสียของลูกชิ้นปลามีสาเหตุหลักมาจากจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ เช่น *Pseudomonas* spp. [3] ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถปนเปื้อนลงในผลิตภัณฑ์ได้ทั้งในขั้นตอนการผลิต การขนส่ง และการจัดจำหน่าย ดังนั้นการเก็บผลิตภัณฑ์โดยใช้อุณหภูมิต่ำเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอต่อการรักษาคุณภาพ ด้วยเหตุนี้จึงควรมีการใช้เทคนิคอื่นๆ เข้ามาร่วมด้วย จากการศึกษา เบื้องต้นพบว่าการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปรในภาชนะบรรจุเป็นเทคนิคที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์หลายประเภท เช่น ผักและผลไม้ [4] ผลิตภัณฑ์ขนมอบ [5] และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ [6, 7] โดยข้อดีของการใช้เทคนิคนี้คือสามารถชะลอการเสื่อมเสียที่เกิดจากจุลินทรีย์ได้ Erichsen และ Molin [8] ศึกษาการเก็บรักษาเนื้อวัวที่อุณหภูมิ 4°ซ พบว่าการใช้สภาพบรรยากาศที่มี 100%CO_2 และ 78%N_2+20%CO_2 +2%O_2 สามารถเก็บรักษาเนื้อวัวได้ 51 และ 14 วัน ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาที่สภาพบรรยากาศปกติ ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้เพียง 7 วัน ส่วน Blickstas และ Molin [9] พบว่าการเก็บรักษาเนื้อหมูที่ 0°ซ ในสภาวะที่มี 100%CO_2 และสภาพบรรยากาศปกติ สามารถเก็บรักษาเนื้อหมูได้ 79 และ 15 วัน ตามลำดับ ในขณะที่การเก็บรักษาที่ 4°ซ โดยใช้ 100% CO_2 สามารถเก็บรักษาเนื้อหมูได้ 40 วัน และที่สภาพบรรยากาศปกติเก็บรักษาเนื้อหมูได้ 8 วัน จากงานวิจัยทั้งหมดข้างต้นจึงนำไปสู่แนวคิดว่าการดัดแปรบรรยากาศในภาชนะบรรจุน่าจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของลูกชิ้นปลาได้เช่นกัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บลูกชิ้นปลานิลด้วยเทคนิคการบรรจุภายใต้การดัดแปรบรรยากาศ โดยมุ่งหวังว่าผลงานวิจัยที่ได้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ทำให้ผู้บริโภคได้ผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัย มีคุณภาพสม่ำเสมอ และยังคงคุณค่าทางโภชนาการ

2. วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

2.1 ลักษณะวัตถุดิบและการเตรียมลูกชิ้นปลานิล

ปลานิล (*Oreochromis nilotica* หรือ *Nile tilapia*) สดขนาดน้ำหนักตัวเฉลี่ย 500 กรัม จากวังปลาบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร คัดเลือกความสดโดยพิจารณาปลาที่มีลักษณะตาใส เกล็ดไม่หลุด ลำตัวไม่แข็ง และไม่นิ่มจนเกินไป ไม่มีกลิ่นเน่าเสีย นำปลานิลสดมาล้างทำความสะอาด แล่ลอกหนังและหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ก่อนจะนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4±2°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำปลามาบดผสมกับเกลือแกงร้อยละ 1.5 ด้วยเครื่องบดสับเป็นเวลา 5 นาที เติมเกลือแกงอีกร้อยละ 1.5 และนำไปบด 5 นาที จากนั้นเติมน้ำตาลลงไปร้อยละ 4 และบดต่อเป็นเวลา 15 นาที โดยระหว่างนี้จะมีการเติมน้ำแข็งเพื่อปรับความชื้นเป็นร้อยละ 80 และควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในระหว่างการบดให้ต่ำกว่า 10°ซ นำมาขึ้นรูปเป็นลูกชิ้นปลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 ซม. ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 40°ซ เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำมาทำให้สุกที่อุณหภูมิ 90°ซ เป็นเวลา 20 นาที และทำให้เย็นในน้ำเย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°ซ

2.2 การติดตามอายุการเก็บรักษาลูกชิ้นปลานิลโดยใช้เทคนิคการบรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปรในภาชนะบรรจุ

นำตัวอย่างลูกชิ้นปลานิลที่ได้จากข้อ 1 มาบรรจุในถุงไนลอน/พอลิเอทิลีน (Nylon/PE) ขนาด 9 x 14 นิ้ว ซึ่งมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจนและไอน้ำ เท่ากับ 96.6 ซม.^{3}/ม.^{2}/24 ชม. ที่สภาวะ 23°ซ, 0% RH., 127.45 ซม.^{3}/ม.^{2}/24 ชม. ที่สภาวะ 23°ซ, 0% RH. และ 8.49 ก./ม.^{2}/24 ชม. ที่สภาวะ 38°ซ, 90% RH. ตามลำดับ ทำการทดลองโดยแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ในการบรรจุเป็น 100%CO_2, 80%CO_2 +20%N_2, 60%CO_2+ 40%N_2 และ 40%CO_2+60%N_2 นำตัวอย่างลูกชิ้นปลานิลทั้งหมดมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2°ซ และตรวจวิเคราะห์คุณภาพลูกชิ้นปลานิลตลอดอายุการเก็บรักษา โดยทำการทดลองสภาวะละ 2 ซ้ำ และ

เปรียบเทียบผลที่ได้กับตัวอย่างที่เก็บภายใต้บรรยากาศปกติ

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพของลูกชิ้นปลานิล

2.3.1 ประเมินคุณภาพทางด้านจุลชีววิทยา โดยวิเคราะห์แบคทีเรียโคลิฟอร์ม, *Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Salmonella* spp., *Clostridium perfringens* และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด [10]

2.3.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี โดยวัดค่าความเป็นกรดด่างด้วย pH meter (Metrohm model 713, Switzerland) โดยนำลูกชิ้นปลานิล 5 กรัม มาปั่นกับน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว 45 มล. จนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมาวัดค่า pH

2.3.3 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของก๊าซในบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่อง Gas analyzer (Servomex, England)

2.3.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางด้านกายภาพ โดยวัดค่า water activity (Aw) ด้วยเครื่องวัด Aw (NOVASINA model TH 500, Switzerland) วัดการสูญเสียน้ำของลูกชิ้นปลานิล โดยการชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักสุดท้ายของลูกชิ้นปลานิล จากนั้นนำมาคำนวณค่าการสูญเสียน้ำ (%drip loss) ตามสมการที่ (1) วัดค่าสีโดยนำตัวอย่างลูกชิ้นปลานิลมาวัดค่า L* a * และ b* ด้วยเครื่องวัดสี (Ultrascan XE/IX7, USA) จากนั้นนำมาคำนวณค่าความขาว (whiteness) ตามสมการของ Avena-Bustillos et al., [11] (สมการที่ 2) และวัดค่าเนื้อสัมผัสลูกชิ้นปลานิลด้วยเครื่อง Texture analyzer (Stable Micro Systems TA-XT2i, UK) โดยใช้ load cell ขนาด 5 กิโลกรัม ใช้หัววัด P36/R และตั้งค่าความเร็วของหัววัดขณะสัมผัสตัวอย่างไว้ที่ 1.0 มม./วินาที

$$\text{ค่าการสูญเสียน้ำ(\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น - น้ำหนักตัวอย่างสุดท้าย}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \quad (1)$$

$$\text{ค่าความขาว} = 100-((100 - L^*)^2 + b^{*2} + a^{*2})^{0.5} \quad (2)$$

2.3.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวม ทำโดยนำลูกชิ้นปลานิลแต่ละตัวอย่างมาลวกในน้ำร้อนเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำมาทดสอบการยอมรับโดยใช้ผู้ทดสอบที่รู้จักและบริโภคลูกชิ้นปลาเป็นประจำเป็นจำนวน 20 คน ผู้ทดสอบแต่ละคนจะได้รับตัวอย่างที่กำหนดรหัสตัวเลขทางสถิติแบบสุ่มและจะให้คะแนนความชอบที่มีต่อตัวอย่าง โดยใช้ 5 point hedonic scale (5 = ชอบมากที่สุด, 1 = ชอบน้อยที่สุด)

2.4 การประเมินผลทางสถิติ

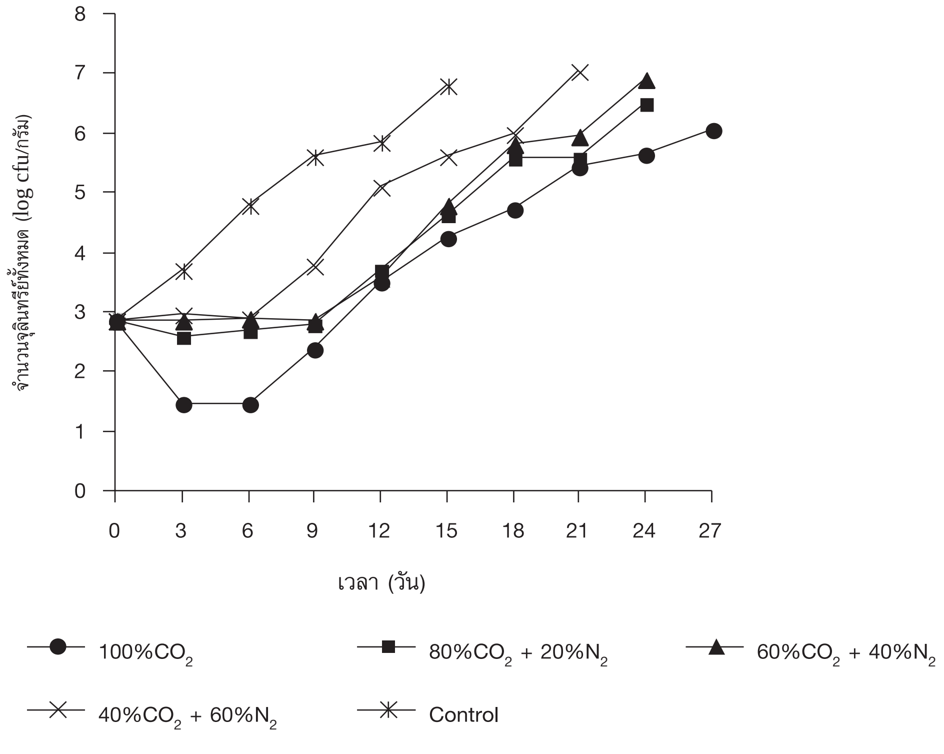
นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan's multiple range test [12]

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลของบรรยากาศดัดแปรต่อจำนวนจุลินทรีย์ในลูกชิ้นปลานิล

จากรูปที่ 1 พบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ลูกชิ้นปลานิลทุกตัวอย่างจะมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยสภาวะบรรยากาศที่ใช้มีผลต่อระยะเวลาการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือในช่วง 15 วันแรกของการศึกษา ลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศปกติจะมีจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.82 log cfu/กรัม โดยผลิตภัณฑ์จะมีกลิ่นคาวจัดและมีเมือกอยู่ที่ผิว ลักษณะข้างต้นบ่งชี้ว่าผลิตภัณฑ์สิ้นสุดอายุการเก็บรักษาแล้ว [13] ในขณะที่ลูกชิ้นปลานิลที่เก็บในสภาพบรรยากาศดัดแปรยังคงมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่า 6 log cfu/กรัม กล่าวคือมีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 4.25-5.62 log cfu/กรัม (รูปที่ 1) และเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละสภาวะที่ใช้ศึกษาพบว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์จะทำให้ลูกชิ้นปลานิลมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น กล่าวคือลูกชิ้นปลานิลที่บรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปรที่ 100%CO_2 มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำที่สุดระหว่างการเก็บรักษา และสามารถยืดอายุ

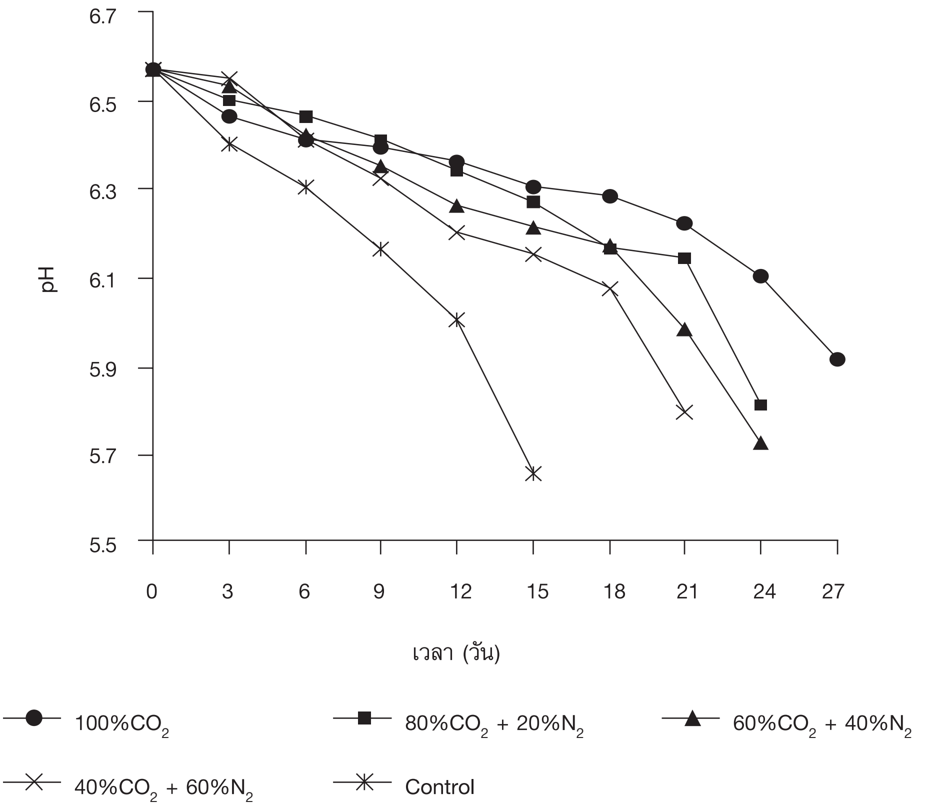
การเก็บรักษาได้นานถึง 24 วัน ส่วนสภาพบรรยากาศที่ประกอบไปด้วย 80% CO_2+20% N_2 และ 60% CO_2+40% N_2 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 21 วัน ในขณะที่ลูกชิ้นปลานิลที่บรรจุในสภาพบรรยากาศ 40% CO_2+60% N_2 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้เป็นเวลาเพียง 18 วัน (รูปที่ 1) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีคุณสมบัติเป็น Bacteriostatic สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ [3, 14] และเนื่องจากที่อุณหภูมิ 4±2°ซ คาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายเข้าไปในลูกชิ้นปลานิลได้ดี [15] ทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์มีมากกว่าที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ในช่วงแรกของการเก็บรักษาด้วย โดยการใช้ 100% CO_2 จะทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงในช่วง 6 วันแรก ในขณะที่ปริมาณจุลินทรีย์ในลูกชิ้นปลานิลในที่เก็บในสภาวะ 80% CO_2+ 20% N_2 , 60% CO_2+40% N_2 และ 40% CO_2+60% N_2 มีปริมาณเกือบคงที่ในช่วง 9 วันแรก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Stammen และคณะ [16] ที่พบว่าคาร์บอนไดออกไซด์ช่วยชะลอระยะ lag phase ให้นานขึ้น สำหรับผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ พบว่าไม่พบการเจริญของ *Staphylococcus aureus, Salmonella* spp.,*Clostridium perfringens* และ *Escherichia coli* ในผลิตภัณฑ์ทุกตัวอย่างทุกระยะเวลาการเก็บอย่างไรก็ตาม สภาพบรรยากาศที่ใช้มีผลต่อปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มในลูกชิ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือลูกชิ้นปลานิลที่บรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปร 100% CO_2 มีจำนวนแบคทีเรียโคลิฟอร์มต่ำที่สุดระหว่างการเก็บ โดยมีค่าเท่ากับ 6.65 MPN /กรัม ในขณะที่การเก็บที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 มีปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มมากที่สุดคือเท่ากับ 10.70 MPN/กรัม เมื่อเก็บรักษาลูกชิ้นปลานิลเป็นเวลา 27 วัน



รูปที่ 1 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของลูกชิ้นปลานิลที่บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2°ซ

3.2 ผลของการบรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพทางเคมีของลูกชิ้นปลานิล

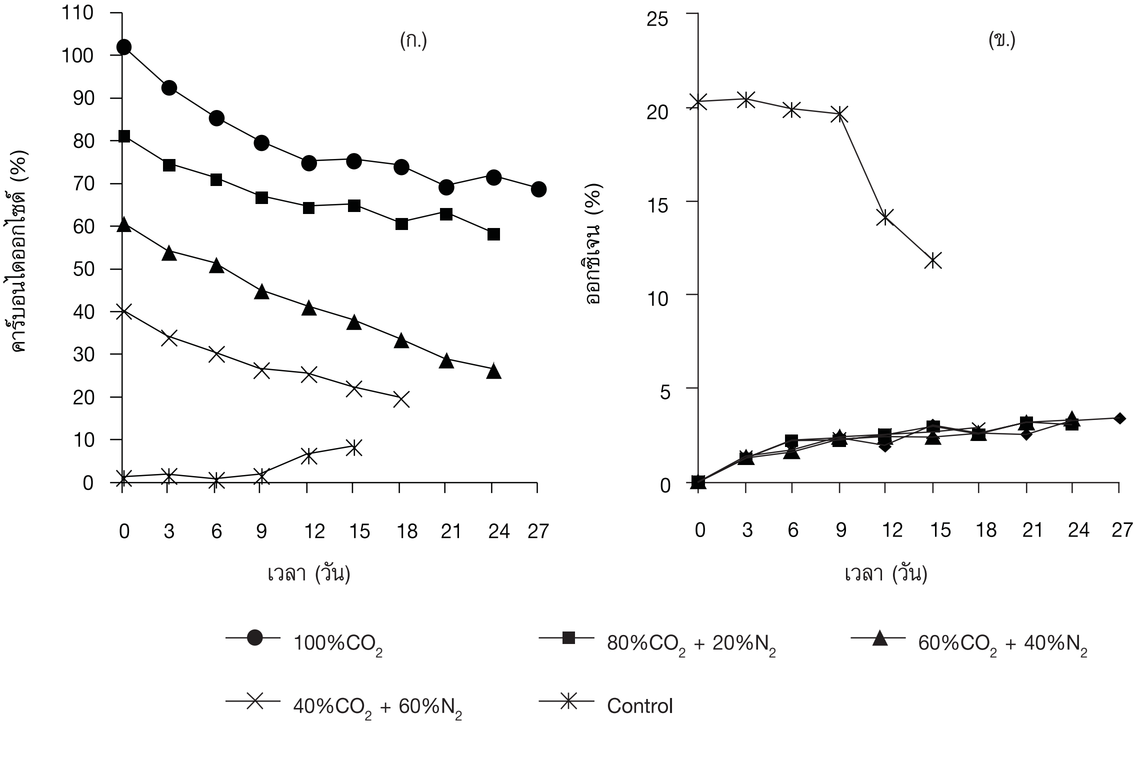
จากรูปที่ 2 พบว่า pH ของลูกชิ้นปลานิลจากทุกสภาวะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญของจุลินทรีย์ [17] โดยลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาในสภาวะ 100%CO_2 มีค่า pH ลดลงน้อยที่สุด รองลงมาคือลูกชิ้นที่เก็บในสภาวะ 80%CO_2+ 20%N_2, 60%CO_2+40%N_2 และ 40%CO_2+60%N_2 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามลูกชิ้นปลานิลที่เก็บในสภาพบรรยากาศดัดแปรทั้งหมดมีการลดลงของ pH น้อยกว่าลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ (control) กล่าวคือลูกชิ้นปลานิลที่เก็บในสภาพบรรยากาศดัดแปรทั้งหมดมีค่า pH ลดลงต่ำกว่า 5.9 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 21-27 วัน ในขณะที่ลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติเก็บไว้ได้เป็นเวลา 12 วัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้ออกซิเจนในการเจริญ [18] ดังนั้นสภาวะบรรยากาศปกติ ซึ่งเป็นสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนสูงสุดจึงมีปริมาณจุลินทรีย์สูงสุด โดยในจำนวนนี้จะมีจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Lactobacillus* spp. ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มักพบในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ที่เก็บรักษาที่อุณภูมิต่ำอยู่ด้วย [19] โดยจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้มีการผลิตกรดแลคติกในระหว่างการเจริญ ดังนั้นจึงส่งผลให้ลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติมีค่า pH ลดลงมากที่สุด ส่วนการที่ลูกชิ้นซึ่งบรรจุในสภาวะ 100%CO_2 มีค่า pH ลดลงน้อยที่สุดนั้น สามารถอธิบายได้ว่า CO_2 ที่ใช้มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ [15] ดังนั้นการใช้ CO_2 ในปริมาณสูงขึ้นจะช่วยชะลอการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ส่งผลให้มีการลดลงของ pH ช้าลงด้วย



รูปที่ 2 ค่า pH ของลูกชิ้นปลานิลที่บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2°ซ

3.3 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของก๊าซในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุลูกชิ้นปลานิลภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปรในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2°ซ

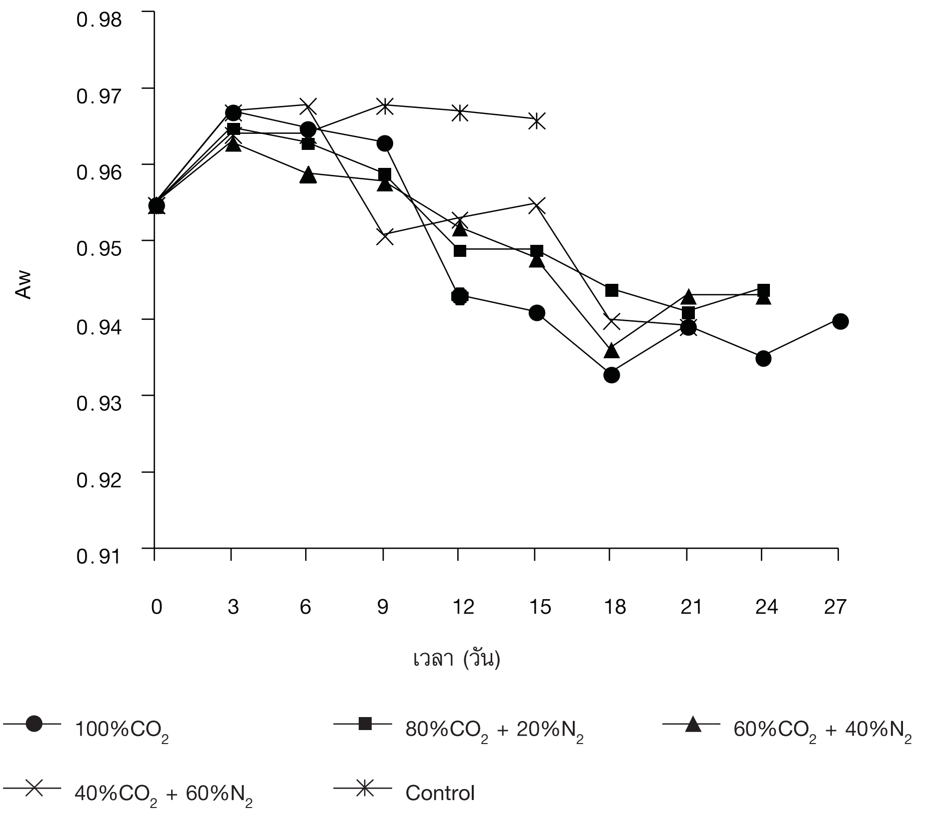
จากการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น บรรจุภัณฑ์ในสภาวะบรรยากาศปกติมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 0.04% เป็น 8.70% (รูปที่ 3ก.) และมีออกซิเจนลดลงจาก 20.40% เป็น 11.80% (รูปที่ 3ข.) ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์มีการใช้ออกซิเจนและมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ที่บรรจุลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศดัดแปรมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงแต่มีออกซิเจนเพิ่มขึ้น (รูปที่ 3) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก Nylon/PE มีคุณสมบัติยอมให้ออกซิเจนและคาร์บอน-ไดออกไซด์ผ่านเข้าออกได้ ดังนั้นถึงแม้ว่าจุลินทรีย์จะมีการใช้ออกซิเจนและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา แต่เนื่องจากปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกบรรจุภัณฑ์มีความเข้มข้นมากกว่าและน้อยกว่าปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ ตามลำดับ ประกอบกับลูกชิ้นปลานิลเป็นอาหารที่มีความชื้นสูง ซึ่งเป็นสภาวะที่เอื้อต่อการซึมผ่านของก๊าซในพอลิเมอร์ โดยความชื้นจะทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์และเพิ่มปริมาตรอิสระในพอลิเมอร์ [20] ส่งผลให้ก๊าซมีความสามารถในการซึมผ่านพอลิเมอร์ได้มากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่ภายในบรรจุภัณฑ์และมีการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากบรรจุภัณฑ์



รูปที่ 3 ปริมาณร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์ (ก.) และออกซิเจน (ข.) ภายในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุลูกชิ้นปลานิลภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2°ซ

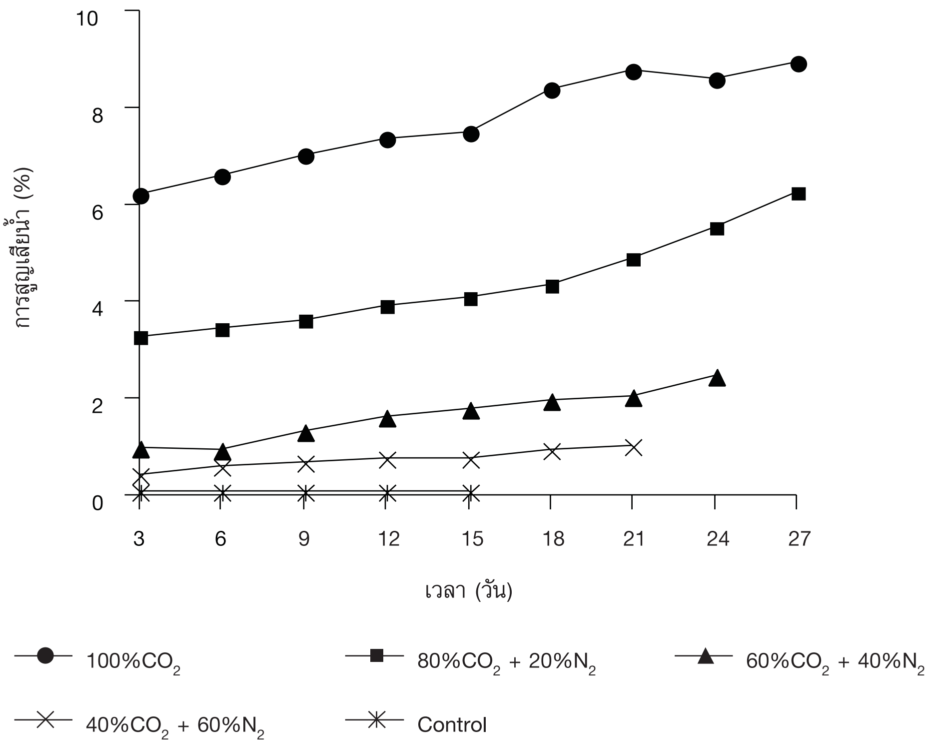
3.4 ผลของบรรยากาศดัดแปรต่อคุณสมบัติทางกายภาพของลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2°ซ

จากรูปที่ 4 พบว่าค่า Aw ของลูกชิ้นปลานิลที่บรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปรมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยลูกชิ้นปลาทุกตัวอย่างมีค่า Aw อยู่ระหว่าง 0.935-0.944 ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 18 วัน ทั้งนี้เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ส่วนหนึ่งจะละลายน้ำและเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งส่งผลให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติและสูญเสียคุณสมบัติในการจับน้ำ ดังนั้นจึงทำให้ค่า Aw ของลูกชิ้นที่บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีค่าลดลง สำหรับในส่วนของลูกชิ้นปลานิลที่เก็บในสภาวะบรรยากาศปกตินั้นพบว่ามีค่า Aw ค่อนข้างคงที่แม้ว่าจะมีค่า pH ลดลงเช่นกัน (รูปที่ 2) ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่าการลดลงของ pH ในกรณีนี้เป็นผลจากการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งนอกจากจะผลิตกรดแล้วยังมีการสร้างเมือกด้วย ซึ่งเมือกที่เกิดจะอยู่ที่ผิวด้านนอกและห่อหุ้มลูกชิ้นปลานิลไว้ ดังนั้นถึงแม้ว่าลูกชิ้นปลานิลจะมีการสูญเสียคุณสมบัติในการจับน้ำ แต่น้ำเหล่านั้นยังคงถูกกักอยู่ในลูกชิ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ยังคงมีค่า Aw สูง



รูปที่ 4 ค่า Aw ของลูกชิ้นปลานิลที่บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2°ซ

สำหรับการพิจารณาผลของสภาวะบรรยากาศที่ใช้ต่อการสูญเสียน้ำ (drip loss) ในผลิตภัณฑ์ พบว่าในช่วงเริ่มต้นของการเก็บรักษา ลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาที่สภาวะ 100%CO_2 มีการสูญเสียน้ำมากที่สุด รองลงมาคือที่สภาวะ 80%CO_2+20%N_2, 60%CO_2+40%N_2, 40%CO_2+60%N_2 และสภาวะบรรยากาศปกติ ตามลำดับ (รูปที่ 5 และตารางที่ 1) ที่เป็นเช่นนี้เพราะคาร์บอน-ไดออกไซด์มีความสามารถในการละลายน้ำ ดังนั้นจึงละลายลงไปในน้ำที่มีอยู่ในอาหาร และเกิดเป็นกรดคาร์บอนิกขึ้น ส่งผลทำให้โปรตีนในลูกชิ้นเสียสภาพธรรมชาติและเสียคุณสมบัติในการจับน้ำไป ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Sorheim และคณะ [21] ที่พบว่าการเก็บรักษาเนื้อสะโพกหมูในสภาวะ 100%CO_2 จะมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดคือ 4.3% ในขณะที่การเก็บรักษาที่สภาวะ 50%CO_2+ 50%N_2 มีการสูญเสียน้ำหนักเพียง 3.8% สำหรับในส่วนของอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษานั้นพบว่าการสูญเสียน้ำของลูกชิ้นปลานิลมีสาเหตุหลักมาจากการเจริญของจุลินทรีย์ (รูปที่ 1) ซึ่งทำให้เกิดการย่อยสลายโปรตีนและส่งผลให้เสียความสามารถในการอุ้มน้ำไป อย่างไรก็ตาม จากรูปที่ 5 ยังพบว่าลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาที่สภาวะ 40%CO_2+60%N_2 และสภาวะบรรยากาศปกติมีการสูญเสียน้ำน้อยกว่าลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาที่สภาวะ 100%CO_2, 80%CO_2+20%N_2 และ 60%CO_2+40%N_2 ทั้งที่มีปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่า ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ดังกล่าวมีการสร้างเมือกขึ้นมาห่อหุ้มลูกชิ้นไว้ ทำให้ขัดขวางการแพร่ของน้ำจากภายในลูกชิ้นออกสู่ภายนอกเป็นผลให้วัดค่าการสูญเสียน้ำได้น้อย



รูปที่ 5 ค่าการสูญเสียน้ำของลูกชิ้นปลานิลที่บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2°ซ

ตารางที่ 1 อิทธิพลของสภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อการสูญเสียน้ำของลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2°ซ

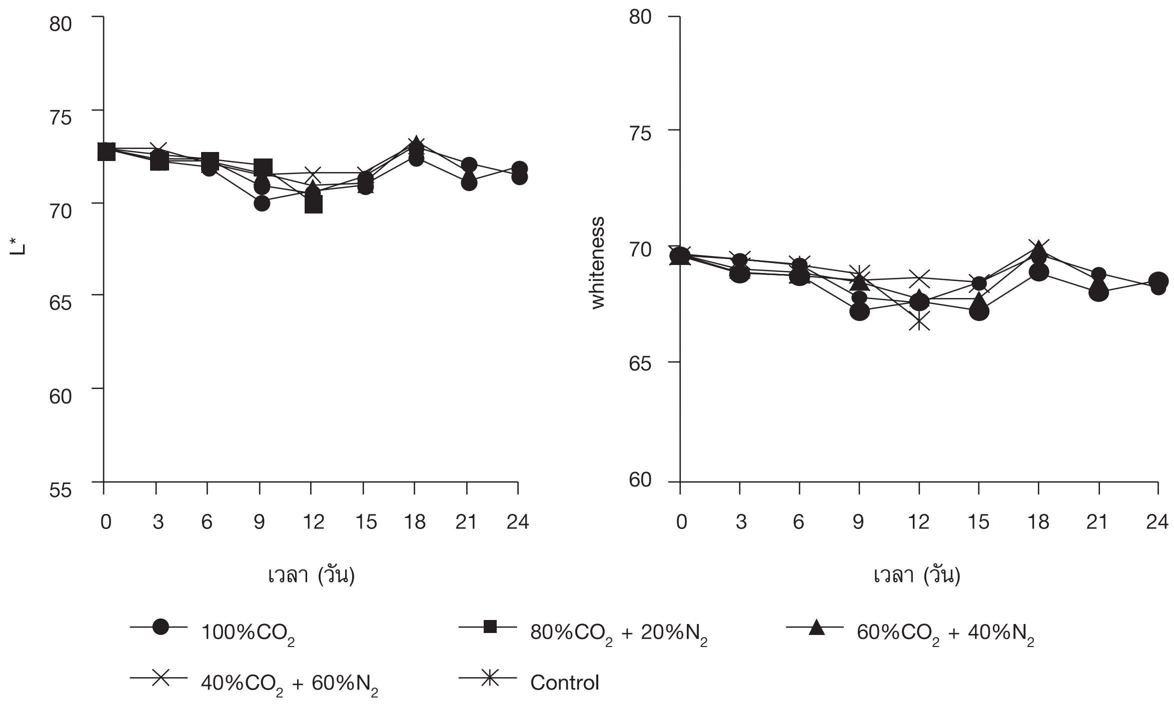
สภาวะ*	การสูญเสียน้ำ (%)**
Air (Control)	0.075^{e}±0.015
100%CO_2	7.704^{a}±1.01
80%CO_2+20%N_2	4.364^{b}±0.413
60%CO_2+40%N_2	1.632^{c}±0.522
40%CO_2+60%N_2	0.746^{d}±0.204

* วิเคราะห์ผลโดยใช้ค่าการสูญเสียน้ำของลูกชิ้นปลานิลในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 12, 24, 21, 21 และ 18 วัน สำหรับลูกชิ้นปลานิลที่เก็บในสภาวะ Air, 100%CO_2, 80%CO_2+20%N_2, 60%CO_2+40%N_2 และ 40%CO_2+60%N_2 ตามลำดับ (ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณเป็นช่วงระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 6 log CFU/กรัม)

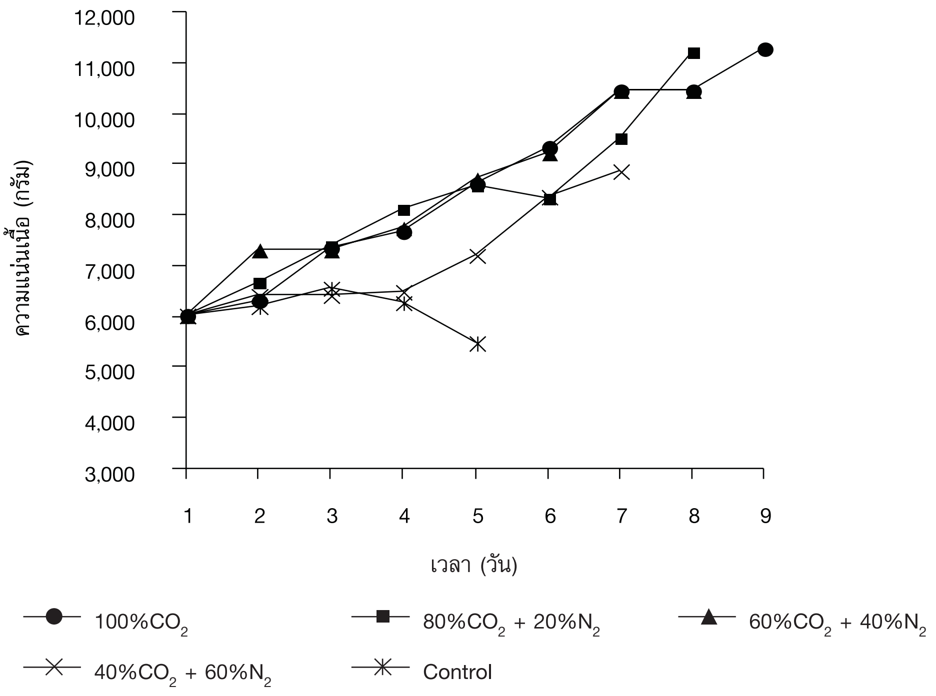
** ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน (a, b,...)ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับคุณสมบัติทางด้านสีของลูกชิ้นนั้นพบว่าลูกชิ้นปลานิลจากทุกสภาวะการเก็บมีค่า L* และ whiteness ใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 70.08-73.32 และ 66.70-69.89 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้ค่า L* และ whiteness ของลูกชิ้นปลานิลในสภาพบรรยากาศดัดแปรเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบ กล่าวคือมีค่า L* อยู่ในช่วง 70.08-72.89, 70.49-72.89, 70.93-73.32 และ 71.47-73.12 และมีค่า whiteness อยู่ในช่วง 66.70-69.89, 67.42-69.58, 67.67-69.89 และ 68.32-69.80 ที่สภาวะ100%CO_2, 80%CO_2+ 20%N_2, 60%CO_2+ 40%N_2 และ 40%CO_2+ 60%N_2 ตามลำดับ (รูปที่ 6)

เมื่อนำลูกชิ้นปลานิลมาศึกษาคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสพบว่าลูกชิ้นปลานิลที่เก็บภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรมีค่าความแน่นเนื้อหรือค่า firmness เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (รูปที่ 7) โดยผลการศึกษาอิทธิพลของสภาวะบรรยากาศดัดแปรบ่งชี้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จะส่งผลให้ลูกชิ้นปลานิลมีค่าความแน่นของเนื้อเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) ทั้งนี้เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์มีผลทำให้โปรตีนในลูกชิ้นปลานิลเสียสภาพธรรมชาติ ส่งผลให้ลูกชิ้นมีการสูญเสียน้ำและมีเนื้อสัมผัสที่แน่นขึ้น ในส่วนของลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกตินั้นพบว่ามีค่าความแน่นเนื้อลดลงเมื่อเทียบกับค่าตอนเริ่มต้นซึ่งมีค่าเท่ากับ 6034.43+442.17 กรัม ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะนี้เป็นสภาวะที่เอื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์มากที่สุด จึงมีการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากส่งผลให้มีการย่อยสลายผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในการเจริญมากขึ้นไปด้วย ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงมีความแน่นของเนื้อน้อยที่สุด



รูปที่ 6 ค่า L* value และค่า whiteness ของลูกชิ้นปลานิลที่บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปร และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2°ซ



รูปที่ 7 ค่าความแน่นเนื้อของลูกชิ้นปลานิลที่บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2°ซ

ตารางที่ 2 อิทธิพลของสภาวะบรรยากาศดัดแปรต่อความแน่นเนื้อของลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2°ซ

สภาวะ*	ความแน่นเนื้อ (กรัม)**
Air (Control)	$5429.57^{c}\pm680.19$
100% CO_2	$8715.35^{a}\pm815.99$
80% CO_2+20% N_2	$8543.39^{a}\pm538.65$
60% CO_2+40% N_2	$8042.81^{a}\pm645.32$
40% CO_2+60% N_2	$7284.47^{b}\pm178.10$

* วิเคราะห์ผลโดยใช้ค่าความแน่นเนื้อของลูกชิ้นปลานิลในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 12, 24, 21, 21 และ 18 วัน สำหรับลูกชิ้นปลานิลที่เก็บในสภาวะ Air, 100% CO_2, 80% CO_2+20% N_2, 60% CO_2+40% N_2 และ 40% CO_2+60% N_2 ตามลำดับ (ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณเป็นช่วงระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 6 log CFU/กรัม)

** ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน (a, b,...) ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

3.5 ผลการบรรจุภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปรต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 3 พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาลูกชิ้นปลานิลมีผลต่อคะแนนการยอมรับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบสภาวะการบรรจุที่ใช้พบว่าลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาที่สภาวะ 100% CO_2, 80% CO_2+20% N_2 และ 40% CO_2+60% N_2 ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบจนถึงวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ลูกชิ้นปลานิลที่เก็บรักษาที่สภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบจนถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา โดยลูกชิ้นปลานิลมีเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วงเนื้อแน่นเล็กน้อยถึงแน่นปานกลาง สำหรับการที่ลูกชิ้นปลานิลที่เก็บที่สภาวะ 100% CO_2, 80% CO_2+ 20% N_2 และ 40% CO_2+60% N_2 ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบเพียง 6 วันนั้น อธิบายได้ว่าลูกชิ้นปลานิลที่เก็บที่สภาวะ 100% CO_2 และ 80% CO_2+20% N_2 มีเนื้อสัมผัสแข็งและไม่ฉ่ำน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากลูกชิ้นปลานิลมีการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (รูปที่ 5) ส่วนลูกชิ้นปลานิลที่สภาวะ 40% CO_2+60% N_2 นั้นถึงแม้จะมีการสูญเสียน้ำน้อยกว่าในช่วงระหว่างการเก็บรักษาแต่มีเนื้อสัมผัสค่อนข้างนิ่ม ซึ่งอาจเป็นผลจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่มีอยู่เป็นจำนวนมากกว่าที่สภาวะการเก็บรักษาอื่นๆ (รูปที่ 1) ดังนั้นจึงส่งผลให้ลูกชิ้นปลานิลที่เก็บในสภาวะที่กล่าวมาข้างต้นได้คะแนนการยอมรับต่ำ

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาลูกชิ้นปลานิล คือสภาวะ 60% CO_2+40% N_2 ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เอาไว้ได้ 12 วัน (ตารางที่ 3) โดยลูกชิ้นปลานิลที่สภาวะนี้มีจำนวนมีจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 3.59 log cfu/กรัม (รูปที่ 1) มีค่า pH เท่ากับ 6.26 (รูปที่ 2) และมีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 8,731.84 กรัม (รูปที่ 7)

4. สรุป

สัดส่วนของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนมีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บของลูกชิ้นปลานิล โดยสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาลูกชิ้นปลานิลคือสภาวะ 60% CO_2+40% N_2

ตารางที่ 3 คะแนนการยอมรับของลูกชิ้นปลานิลที่บรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปรและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2°ซ

สภาวะ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)				
	0^{ns}	3^{ns}	6^{ns}	9	12
Air (control)	$3.23^{a}\pm0.83$	$3.29^{a}\pm0.58$	$3.15^{a}\pm0.80$	$^{3}1.83^{b}\pm0.57$	-
100% CO_2	$3.23^{a}\pm0.83$	$3.05^{a}\pm0.82$	$3.15^{a}\pm0.67$	$^{12}2.13^{b}\pm0.56$	-
80% CO_2+20% N_2	$3.23^{b}\pm0.83$	$3.50^{a}\pm0.51$	$3.00^{b}\pm0.57$	$^{12}2.31^{c}\pm0.64$	-
60% CO_2+40% N_2	$3.23_{a}\pm0.83$	$3.35^{a}\pm0.86$	$3.38^{a}\pm0.50$	$^{1}\ 3.25^{a}\pm0.86$	$3.06^{a}\pm0.92$
40% CO_2+60% N_2	$3.23^{ab}\pm0.83$	$3.17^{a}\pm0.88$	$3.36^{a}\pm0.92$	$^{2}\ 2.41^{b}\pm0.79$	-

* ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน (a, b,...) ในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน (1, 2,...) ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

^{ns}ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน (a, b,...) ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

5. เอกสารอ้างอิง

1. จักรี ทองเรือง, 2544, *ซูริมิ*, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 325 หน้า.

2. จิราวรรณ แย้มประยูร, พรรณทิพย์ สุวรรณสาครกุล และปรทิพย์ เกียรติกังวานไกล, 2523, "ศึกษาเทคนิคการผลิตลูกชิ้นปลา", *รายงานวิชาการและการทดลองประจำปี 2523*, กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, กรมประมง, กรุงเทพมหานคร, หน้า 50-68.

3. งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2535, *ก๊าซกับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร*, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 173 หน้า.

4. Jacxens, L., Devlighere, F., Facato, P., and Debevere, J., 1999, "Validation of a Systematic Approach to Design Equilibrium Modified Atmosphere Package for Fresh Cut Produce", *Food Science Technology*, Vol. 32 pp. 425-432.

5. Ooraikul, B. and Stile M.E. 1991, *Modified Atmosphere Packaging of Food*, Ellis Horwood Limited, New York, 293 p.

6. Garcia de Fernando, G.D., Nychas, G.J.E., Peck, M.W. and Ordonez, J.A., 1995, "Growth/Survival of Psychrotrophic Pathogens on Meat Packaged under Modified Atmospheres," *J. Food Microbiology*, Vol. 17, No. 6, pp. 221-231.

7. Luno, M., Beltran, J.A., and Roncalles, P., 1998, "Shelf-life Extension and Colour Stability of Beef Packaged in a Low O_2 Atmosphere Containing CO : Loin Steaks and Ground Meat", *J. Meat Science*, Vol. 48, No. 1, pp. 75-84.

8. Erichen, I. and Molin, G., 1981, "Microbial Flora of Normal and High pH Beef Stroed at 4°C in Difference Gas Environments", *J. Food Protection*, Vol. 44, No. 11, pp. 866-869.

9. Blickstas, E. and Molin, G., 1983, "Carbondioxide as a Controller of the Spoilage Flora of Pork, with Special Difference to Temperature and Sodium Chloride", *J. Food Protection*, Vol. 46, No. 9, pp. 750-763.

10. AOAC, 1990, *Official Methods of Analysis*, 15^{th} ed. The Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, 1,298 p.

11. Avena-Bustillos, R.J., Cisneros-Zevallos, L.A., Krochta, J.M., and Saltveit, M.E., 1993, Transactions of the ASAE, Vol. 36, No. 3, pp. 801-805.

12. Cochran, W.G. and Cox, G.M., 1985, *Experimental Design*, John Wiley and Sons, New York, 617 p.

13. Jay, J.M., 1996, *Modern Food Microbiology*, Chapman & Hall, 5^{th}ed, New York, 661 p.

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

15. Daniels, F.A., Rishamurthi, R.K., and Rizvi, S.H., 1985, "A Review of Effect of Carbondioxide on Microbial Growth and Food Quality", *J. Food Protection*, Vol. 48, pp. 532-537.

16. Stammen, K., Gerdes, D., and Caporaso, F. 1990, "Modified Atmosphere Packaging of Seafood", *J. Food Science and Nutrition*, Vol. 29, pp. 301-331.

17. Nattress, F.M. and Jeremiah, L.E., 2000, "Bacterial Mediated Off-Flavor in Retail-Ready Beef after storage in Control Atmosphere", *J. Food Research International*, Vol. 33, No. 3, pp. 743-748.

18. McMuller, L. and Stile, M.E., 1989, "Storage Life of Selected Meat Sandwiches at 4 °C in Modified Atmospheres", *J. Food Protection*, Vol. 52, No. 11, pp. 729 - 789.

19. Patsias, A., Chouliara, I., Badeka, A., Savvaidis, I.N., and Kontoninas, M.G., 2006. Shelf-life of a Chilled Precooked Chicken Product Stored in Air and under Modified Atmospheres: Microbiological, Chemical, Sensory Attributes", *Food Microbiology*, Vol. 23, pp. 423-429.

20. Paz, H.M., Guillard, V., Reynes, M., and Gontrad, N., 2005, "Ethylene Permeability of Wheat Gluten Film as a Function of Temperature and Relative Humidity", *J. Membrane Science*, Vol. 256, p. 108.

21. Sorherim, O., Krof, D.H., Hunt, M.C., Karwoski, M.T., and Warren, K.E., 1996, "Effects of Modified Gas Atmosphere Packaging on Pork Loin Colour, Display Life and Drip Loss", *J. Meat Science*, Vol. 43, No. 2, pp. 203-212.