บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือผลิตภัณฑ์ยากิโตริแช่เยือกแข็งชนิดดิบและสุกบรรจุถุงพลาสติกที่ภาวะสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบมีเนื้อไก่ดิบเป็นส่วนประกอบ และผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุกมีเนื้อไก่สุกและซอสราดเป็นส่วนประกอบ องค์ประกอบทางเคมีของ เนื้อไก่ดิบ เนื้อไก่สุก และ ซอสราด มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก สี กลิ่น กลิ่นรส ความหืน เนื้อสัมผัส ความชุ่มน้ำ และความชอบรวม ดังนั้นในการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ยากิโตริจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแต่ละส่วนเพื่อนำมาอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดในผลิตภัณฑ์ในขั้นต่อไป เนื้อไก่ที่นำมาผลิตยากิโตริในงานวิจัยเป็นเนื้อไก่ส่วนขาและสะโพก ซึ่งจากการศึกษาและสรุปของ Marsden และ Henrickson (1993) ระบุว่าปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์คือ คุณภาพของเนื้อที่เป็นวัตถุดิบ ซึ่งแปรตาม อายุสัตว์ ส่วนของกล้ามเนื้อ ลักษณะไขมัน การปฏิบัติก่อนและหลังการฆ่า Ristic (1984) ศึกษาอายุการเก็บรักษาที่ภาวะเยือกแข็งของเนื้อไก่จากส่วนต่างๆ พบว่า เนื้อส่วนขาและสะโพกมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าเนื้อจากส่วนอกเนื่องจาก กล้ามเนื้อส่วนขาและสะโพกเสียกลิ่นรส และเกิดกลิ่นหืนได้ง่าย การเลือกเนื้อส่วนนี้เป็นวัตถุดิบของยากิโตริจึงเป็นกรณีศึกษาที่ดีสำหรับการศึกษาผลของปัจจัยการผลิตต่างๆต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 4.1) พบว่า เนื้อไก่ดิบที่ใช้ในงานวิจัยมีความชื้น 69.74 % โปรตีน 16.66 % ไขมัน 8.20 % และ เถ้า 0.67 % ส่วนเนื้อไก่สุกมีความชื้น 66.71 % โปรตีน 23.80 % ไขมัน 4.96 % และ เถ้า 1.34 % ส่วนซอสราด มีความชื้น 0.88 % โปรตีน 1.72 % ไขมัน 0.12 % และ เถ้า 0.88 % ซึ่ง Mountney (1976) รายงานว่า เนื้อไก่ดิบมีความชื้น 56-71 % โปรตีน 25-35 % และ ไขมัน 6.7-8.3 % และเนื้อไก่ที่ทำให้สุกด้วยการย่างจะมีองค์ประกอบทางเคมีต่างๆคือ ความชื้น 66-68 % โปรตีน 25.4-31.5 % และ ไขมัน 1.3-7.3 % จะเห็นว่าปริมาณความชื้นและไขมันของเนื้อไก่ดิบและสุกอยู่ในช่วงดังกล่าว แต่โปรตีนมีปริมาณต่ำกว่าช่วงที่ระบุ ซึ่งความแตกต่างนี้อาจอธิบายด้วยเหตุผลของ Marsden และ Henrickson (1993) ที่กล่าวในตอนต้น แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณของไขมันมีแนวโน้มลดลงหลังจากการทำให้สุก ทั้งนี้อาจเป็นเหตุผลจากลักษณะของผลิตภัณฑ์ยากิโตริ ที่มีลักษณะเป็นเนื้อชิ้นเล็กเสียบอยู่รวมกัน การเสียโครงสร้างของมัดกล้ามเนื้อจากการตัดเป็นชิ้นเล็กทำให้ไขมันที่มักอยู่ระหว่าง perimysium และบริเวณรอบเส้นเลือด (Cassens, 1987) มีโอกาสถูกความร้อนละลายออกมาได้มากขึ้น ในส่วนการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของซอสราด แม้มีผู้ยืนยันว่าการเก็บผลิตภัณฑ์

เนื้อสัตว์สุกรวมกับน้ำราด (gravy) มีผลลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันด้วยเหตุผลว่าแป้งเป็นปัจจัยลดโอกาสสัมผัสระหว่างไขมันกับออกซิเจน (Urbain and Campbell, 1987) และซอสราดในงานวิจัยน่าจะจัดอยู่ในกรณีดังกล่าวเนื่องจากมีลักษณะข้นหนืดของแป้งพองตัว (gelatinized starch) หากแต่ผู้วิจัยคาดว่าปริมาณไขมันในส่วนซอสราดน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพด้านกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาในภาวะเยือกแข็ง แต่จากผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี พบว่ามีไขมันอยู่เพียง 0.12 % ซึ่งเมื่อเทียบกับปริมาณไขมันในเนื้อไก่สุกซึ่งมีปริมาณ 4.96 % จึงนับว่าเป็นสัดส่วนที่น้อยมาก

5.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง

ขั้นตอนนี้ทดลองเพื่อหาภาวะการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งที่ให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยากิโตริที่ดีที่สุด เพื่อสรุปภาวะที่ได้แต่ละวิธีสำหรับการศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยทั้งหมดพร้อมกันในการทดลองต่อไป วิธีแช่เยือกแข็งที่แปรคือ การแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ การแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวน และการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว การเลือกเครื่องแช่เยือกแข็ง 2 ชนิดแรกเป็นกรณีเปรียบเทียบกับการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวเนื่องจากเครื่องแช่เยือกแข็งทั้ง 2 วิธีนิยมใช้ในอุตสาหกรรมไก่สดแช่เยือกแข็งในประเทศไทย (ธนาคารนครธน, 2539) ส่วนการละลายน้ำแข็งเลือกศึกษาการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟและอากาศนิ่งเนื่องจากการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟมีแนวโน้มเป็นที่นิยมมากขึ้นจากลักษณะการดำรงชีวิตของมนุษย์ปัจจุบัน ส่วนการละลายด้วยอากาศนิ่งถือเป็นวิธีที่ง่ายและใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน

ในการทดลองเลือกใช้ภาชนะบรรจุของผลิตภัณฑ์ดิบและสุกต่างกัน คือ ผลิตภัณฑ์ดิบใช้ถุง HDPE ส่วนผลิตภัณฑ์สุกใช้ถุง Nylon/PE เนื่องจาก บรรจุภัณฑ์มีส่วนกำหนดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ ในผลิตภัณฑ์ดิบ เนื้อไก่ดิบมีเสถียรภาพในช่วงการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเยือกแข็งมากกว่าเนื้อไก่สุก เนื่องจากไม่มีผลจากพลังงานความร้อน ระหว่างการเก็บรักษาในภาวะเยือกแข็งจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันน้อยกว่า ในการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ไก่สดเพื่อส่งออกในปัจจุบันจึงเลือกใช้ถุง HDPE ซึ่งมีต้นทุนต่ำและโดยทั่วไปผู้ผลิตอ้างว่าสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานถึง 1 ปีในภาวะเยือกแข็ง ส่วนในกรณีผลิตภัณฑ์สุกซึ่งมีลักษณะพร้อมบริโภค การใช้ถุง Nylon/PE ซึ่งเป็นที่ต้องการในปัจจุบันเป็นบรรจุภัณฑ์จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนที่เป็นปัจจัยการเกิดกลิ่นหืนเข้าภายในผลิตภัณฑ์ อีกทั้งพลาสติกชนิดนี้สามารถทนความร้อนจากการให้ความร้อนโดยตรงด้วยคลื่นไมโครเวฟหรือน้ำเดือด ในการผลิตผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคจึงเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ชนิดนี้

ในการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ดิบด้วยวิธีแช่เยือกแข็งทั้งสามวิธี ลักษณะยากิโตริดิบที่เป็นชิ้นแยกจากกัน (Individual Quick Freezing: IQF) เป็นที่ต้องการของตลาดส่งออกปัจจุบันเนื่องจากง่ายต่อการละลายและการเตรียมประกอบอาหาร แต่เนื่องจากในการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ในการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ หากแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์โดยไม่บรรจุภาชนะจะทำให้น้ำระเหยจากผิวของผลิตภัณฑ์มาก ทำให้เสียน้ำหนักได้มาก และยังอาจเกิดภาวะ freezer burn ได้อีกด้วยเนื่องจากใช้เวลานาน นอกจากนั้นการไม่บรรจุมีผลให้จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดมากเกินมาตรฐานของกรมปศุสัตว์ ($5x10^5$ cfu/g.) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการแช่เยือกแข็งที่ใช้ระยะเวลานาน ประกอบกับสภาพแวดล้อมภายในห้องแช่เยือกแข็งมีการปนเปื้อนสูงเนื่องจากเป็นห้องขนาดใหญ่และมีการเดินเข้าออกในการนำผลิตภัณฑ์เข้าแช่เยือกแข็ง ในการผลิตจึงจำเป็นต้องบรรจุภายในถุง HDPE ก่อนการแช่เยือกแข็งเฉพาะวิธีลมเป่าแบบคงที่ ส่วนในผลิตภัณฑ์สุก ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ต้องการคือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะบรรจุซอสราดพร้อมบริโภค แต่ในการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีลักษณะต่างจากวิธีแช่เยือกแข็งอีกสองวิธีคือ นำผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวก่อนบรรจุถุง Nylon/PE พร้อมซอสราด ในขณะที่การแช่เยือกแข็งอีกสองวิธีบรรจุผลิตภัณฑ์พร้อมซอสราดก่อนการแช่เยือกแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากข้อได้เปรียบที่สำคัญของการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวได้จากภาวะที่มีการสัมผัสระหว่างผิวผลิตภัณฑ์กับไนโตรเจน ซึ่งจะเป็นผลให้ลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นโดยปกติการแช่เยือกแข็งจึงไม่นำภาชนะบรรจุเข้าแช่เยือกแข็งด้วยเพราะนอกจากเป็นปัจจัยที่ชลออัตราการลดของอุณหภูมิแล้ว ยังเพิ่มต้นทุนการผลิตโดยไม่จำเป็นอีกด้วย

จะเห็นได้ว่าในการทดลอง การใช้บรรจุภัณฑ์ต่างชนิดกันและลักษณะการแช่เยือกแข็งที่แตกต่างกันในลักษณะดังกล่าวจะมีผลเพิ่มตัวแปรในการเปรียบเทียบจากอัตราการแช่เยือกแข็งของแต่ละวิธีในการทดลองข้อ 3.3 แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาภาวะที่เป็นไปได้ในการผลิตจริงในระดับอุตสาหกรรม จึงถือว่าตัวแปรที่เพิ่มเข้ามาเกิดขึ้นเป็นปกติในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดในทางการค้าและจำเป็นที่ต้องนำรวมเข้าศึกษาในงานวิจัย

การประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยคุณภาพทางกายภาพด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก และคุณภาพทางประสาทสัมผัส สำหรับผลิตภัณฑ์ดิบคุณภาพด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่ใช้คือค่า thawing loss, marinade gain weight และ cooking loss thawing loss เป็นค่าที่ใช้บอกถึงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในรูปของน้ำที่ออกจากเนื้อระหว่างการละลายน้ำแข็ง marinade gain weight บอกปริมาณซอสหมักที่ดูดกลืนเข้าเนื้อไก่ระหว่างหมัก และ cooking loss บอกปริมาณน้ำหนักที่เสียไปในขั้นตอนการทำให้สุกด้วยการย่างทั้งในรูปของการระเหยของไอน้ำและในรูปของเหลวที่หยดระหว่างการย่าง ค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นเกณฑ์ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ (Calvelo, 1981) และขณะเดียวกันก็สามารถใช้เป็นแนวทางอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากอิทธิพลของวิธีแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนการดูดกลืนซอสหมัก แม้ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถรายงานองค์ประกอบที่แน่นอนเพื่อให้ทราบหน้าที่อย่างละเอียดของ

ซอสหมักได้เนื่องจากเหตุผลทางการค้า แต่โดยทั่วไปซอสหมักมักมีองค์ประกอบของเกลือ ซิอิ๊ว น้ำตาล และผงชูรส เป็นหลัก ปริมาณซอสหมักที่ดูดกลืนโดยผลิตภัณฑ์จึงมีผลโดยตรงต่อรสของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

สำหรับผลิตภัณฑ์สุก คุณภาพทางกายภาพที่วิเคราะห์ได้แก่ thawing loss และ heating loss ซึ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการละลายและให้ความร้อนก่อนบริโภค แม้ว่าการปฏิบัติดังกล่าวนี้จะไม่มีความสำคัญในเชิงพาณิชย์ แต่ก็มีผลกับคุณภาพด้านการความชุ่มน้ำและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จึงนำมาพิจารณาประกอบกับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

5.2.1 <u>ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ และการละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ</u>

5.2.1.1 <u>ผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบ</u>

ผลการวัดค่า thawing loss, marinade gain weight และ cooking loss แสดงในตารางที่ 4.2 และ คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.3 - 4.5

จากผลการทดลองด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแสดงว่า ความเร็วลมหรือความเข้มคลื่นไมโครเวฟไม่มีผลต่อค่า marinade gain weight และ cooking loss ($p>0.05$) แต่มีอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยต่อค่า thawing loss ($p\leq0.05$) โดยในผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งด้วยความเร็วลมต่ำ เมื่อความเข้มคลื่นไมโครเวฟเพิ่มขึ้นทำให้ค่า thawing loss ลดลง ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมสูง เมื่อเพิ่มความเข้มคลื่นไมโครเวฟ ค่า thawing loss ไม่เปลี่ยนแปลง และผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งด้วยความเร็วลมต่ำและละลายด้วยความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่ำ มีค่า thawing loss สูงสุด อธิบายได้ว่า เมื่อแช่เยือกแข็งด้วยความเร็วลมสูง จะทำให้เกิดการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิของเนื้อลดลงผ่านจุดเยือกแข็งอย่างรวดเร็ว มีผลให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจำนวนมากกระจายตัวอย่างสม่ำเสมออยู่ทั้งภายในและภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อ ในขณะที่การแช่เยือกแข็งด้วยความเร็วลมต่ำเป็นการแช่เยือกแข็งอย่างช้า ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจึงเกิดภายนอกเซลกล้ามเนื้อในขณะที่น้ำภายในยังมีสถานะเป็นของเหลว ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อจึงมีค่า water activity สูงกว่าจึงทำให้น้ำภายในเส้นใยกล้ามเนื้อแพร่ออกรวมตัวกับผลึกน้ำแข็งภายนอก เกิดเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ เมื่อละลายน้ำแข็งน้ำที่เคลื่อนที่ออกนอกเส้นใยกล้ามเนื้อจึงออกมาในรูปของ thawing loss ได้มากขึ้น (Reid, 1993) เมื่อพิจารณาลักษณะการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟมีผลให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการเคลื่อนที่สั่นสะเทือนอย่างรวดเร็ว การสั่นสะเทือนดังกล่าวเป็นผลให้เกิดความร้อนทั่วทั้งผลิตภัณฑ์ ซึ่งอัตราการละลายน้ำแข็งจะขึ้นกับความเข้มของคลื่นไมโครเวฟ โดยการละลายที่ความเข้มคลื่นสูงจะทำให้อัตราการสั่นสะเทือนเกิดสูงขึ้น อุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้นเร็ว ทำให้อัตราละลายน้ำแข็งสูง ซึ่งในการละลายน้ำแข็ง เมื่อ

อุณหภูมิผลิตภัณฑ์สูงขึ้น ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจะเคลื่อนที่ไปรวมตัวกับผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มความเสถียรได้มากขึ้น (Fellow, 1990) ดังนั้นการใช้ความเข้มคลื่นไมโครเวฟสูงทำให้ละลายอย่างรวดเร็ว เกิดการเคลื่อนย้ายของผลึกขนาดเล็กออกสู่ภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อได้น้อยลง ค่า thawing loss จึงมีค่าลดลง ดังนั้นจากเหตุผลดังกล่าว เมื่อผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมต่ำและละลายที่ความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่ำจึงทำให้มีค่า thawing loss สูงกว่าการละลายที่ความเข้มคลื่นไมโครเวฟสูง สำหรับในกรณีผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมสูงไม่มีผลจากความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่อค่า thawing loss เนื่องจาก การแช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมสูงเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกระจายตัวอย่างทั่วถึง เมื่อนำมาละลายน้ำแข็ง จึงเกิดการเคลื่อนย้ายของผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กได้น้อยกว่าการแช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมต่ำ ซึ่งจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าที่ระดับความแตกต่างของความเข้มคลื่นไมโครเวฟที่ใช้มีผลกระทบน้อยจนไม่พบความแตกต่างของค่า thawing loss ดังนั้นภาวะที่ดีที่สุดเมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักคือ การแช่เยือกแข็งที่ความเร็วลม 2.1 m./s. และการละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ระดับความเข้ม 80 %

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ไม่พบอิทธิพลของความเร็วลมหรือความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่อคะแนนด้านความนุ่ม ความชุ่มน้ำ และความชอบรวม ($p>0.05$) แต่พบว่า ความเร็วลมมีผลต่อคะแนนด้าน สี กลิ่น และกลิ่นรส ($p\leq0.05$) โดยคะแนนทั้งสามลักษณะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วลม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับคุณภาพทางกายภาพ ซึ่งพบว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ค่า thawing loss มีแนวโน้มลดลง จึงสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมต่ำ ทำให้เสียน้ำมากกว่าการแช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมสูง เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปย่างที่ภาวะเดียวกัน (ย่างด้วยเตาถ่านจนอุณหภูมิกึ่งกลางเป็น 75 ^{o}C) ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำต่ำกว่าจึงน่าจะมีอุณหภูมิสูงกว่าตัวอย่างที่มีน้ำมากกว่าเพราะมีผลจากการดูดกลืนพลังงานความร้อนแฝงเพื่อการเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำน้อยกว่า พลังงานความร้อนที่สะสมภายในผลิตภัณฑ์มีผลเร่งการเปลี่ยนแปลงของสีผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยา Maillard และการเกิด denatured metmyoglobin ส่วนคะแนนด้านกลิ่นสามารถอธิบายได้จากหลักการการเพิ่มอุณหภูมิหลังการย่างเช่นกัน โดยคาดว่าสารระเหยที่ให้กลิ่นรสของเนื้อไก่เช่น 2-Methyl-3-furanthiol และ 2(E),4(E)-Decadienol (Reineccius,1994) ซึ่งมีความดันไอสูงระเหยออกไปมากกว่าเมื่ออุณหภูมิผลิตภัณฑ์สูงกว่า เป็นผลให้คะแนนด้านกลิ่น และกลิ่นรสลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบไม่พบความแตกต่างด้านความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์ คาดว่า ความแตกต่างด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (ค่า thawing loss) ที่ตรวจพบได้นั้น ไม่มากพอที่จะทำให้ผู้ทดสอบตรวจพบได้ ดังนั้นสำหรับลักษณะทางประสาทสัมผัสจึงเลือกภาวะการแช่เยือกแข็งที่ความเร็วลม 2.1 m./s.

จากผลสรุปทั้งคุณภาพด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและประสาทสัมผัส จึงเลือกภาวะการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ของผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบ ที่ความเร็วลม 2.1 m./s. และใช้การละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ระดับความเข้ม 80 %

5.2.1.2 ผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก

ผลการวัดค่า thawing loss และ heating loss แสดงในตารางที่ 4.7 และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.6 - 4.9

จากผลการทดลองด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักปรากฏว่า ความเร็วลมหรือความเข้มของคลื่นไมโครเวฟไม่มีผลต่อค่า thawing loss และ heating loss ($p>0.05$) เนื้อไก่เมื่อผ่านการย่างจนสุก จะมีปริมาณความชื้นลดลงจาก 69.74 % เป็น 66.71 % (ตารางที่ 4.1) ทั้งนี้เพราะการให้ความร้อนเป็นปัจจัยที่ลดความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อเยื่อ เนื่องจาก myofibrillar proteins และโปรตีนอื่นๆที่ทำหน้าที่ในการอุ้มน้ำเกิดการแปลงสภาพ (denatured) (Sims and Bailey, 1992) การเคลื่อนย้ายของน้ำระหว่างการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งจึงน่าจะเกิดได้ง่ายขึ้น ประกอบกับซอสราดมีเกลือเป็นองค์ประกอบถึง 34.4 % ซึ่งน่าจะมีผลให้น้ำออกจากเนื้อไก่ด้วย osmotic pressure แต่ผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุกขณะละลายน้ำแข็ง เนื้อไก่จะมีชั้นของซอสราดเคลือบอยู่โดยรอบ โดยซอสราดมีองค์ประกอบของแป้งที่เกิดเจลเป็นหลัก และมีความหนืดถึง 13,000 cp. จึงคาดว่าความชื้นที่ออกมาจากส่วนของเนื้อไก่สุกจะถูกดูดกลืนในส่วนของซอสราด ซึ่งแป้งที่เกิดเจลมีความสามารถในการดูดกลืนความชื้น (Heckman, 1977) เมื่อวัด thawing loss จึงทำให้ไม่พบความแตกต่าง ดังนั้นจากเกณฑ์คุณภาพทางกายภาพจึงสามารถเลือกภาวะการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งได้ทุกวิธี

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ไม่พบอิทธิพลของความเร็วลมหรือความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่อคะแนนด้านสี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบรวม ($p>0.05$) แต่พบว่า ความเร็วลมมีผลต่อคะแนนด้านความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์ ($p\leq0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมสูงมีคะแนนความชุ่มน้ำต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมต่ำ เมื่อพิจารณาคะแนนสี การแช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมสูงคาดว่าทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของน้ำจากเนื้อไก่สู่ซอสได้น้อยลง จึงน่าจะมีผลเจือจางซอสหรือทำให้การเกาะติดของซอสราดบนเนื้อไก่ลดลง แต่จากการทดสอบด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเห็นได้ว่าทั้งด้าน thawing loss และ heating loss ไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า แม้เกิดการเคลื่อนย้ายของน้ำในลักษณะดังกล่าวแต่ไม่มีผลเจือจางหรือทำให้การเกาะติดของซอสลดลงจนทำให้ผู้ทดสอบสังเกตพบความแตกต่างได้ คะแนนสีจึงไม่ต่างกัน ส่วนในด้านกลิ่นและกลิ่นรสซึ่งมีโอกาสเสียออกนอกผลิตภัณฑ์ระหว่างการละลายในรูปของ thawing loss และระหว่างการอุ่นในรูปของ heating loss แต่จากการทดสอบทางกายภาพก็ไม่พบความแตกต่างของทั้งสองค่านี้ จึงทำให้คะแนนด้านกลิ่นและกลิ่นรสไม่แตกต่างกัน นอกจากนั้นเนื้อสุกมีโครงสร้างที่แข็งแรงเนื่องจากเกิดการแปลงสภาพของ myofibrillar proteins โดยที่ภาวะการย่างที่ใช้ (อุณหภูมิจุดกึ่งกลางสูงกว่า 75 $^{\circ}$C) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ

โปรตีนดังกล่าวอย่างสมบูรณ์ (Laroche, 1992) จึงคาดว่ามีผลกระทบจากการเคลื่อนย้ายของผลึกน้ำแข็งต่อโครงสร้าง ของผลิตภัณฑ์น้อยจนผู้ทดสอบไม่สามารถสังเกตพบความแตกต่างด้านความนุ่ม

เมื่อพิจารณาเฉพาะผลของความเร็วลมต่อคะแนนด้านความชุ่มน้ำ คะแนนของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมต่ำมีค่า 7.95 ซึ่งสูงกว่าคะแนนของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมสูงที่มีค่า 7.55 อาจอธิบายได้ว่า การเคลื่อนย้ายของน้ำจากส่วนเนื้อไก่สุกเข้าสู่ซอสราดของผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมต่ำ มีปริมาณมากกว่าที่ความเร็วลมสูง ปริมาณน้ำที่ออกมามีผลเจือจางส่วนซอสราดซึ่งมีความหนืดถึง 13000 cp. ให้เจือจางลง ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในตอนต้น เห็นได้ว่าไม่เกิดการเสียความชื้นออกนอกผลิตภัณฑ์ การที่ความชื้นมีส่วนเจือจางซอสราดโดยไม่เสียออกนอกผลิตภัณฑ์นี้คาดว่าทำให้ผู้ทดสอบสามารถสังเกตพบการเพิ่มความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์ได้ จึงเลือกการแช่เยือกแข็งที่ความเร็วลม 1.5 m./s.

จากเกณฑ์คุณภาพด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและทางประสาทสัมผัส จึงเลือกภาวะการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ของผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก ที่ความเร็วลม 1.5 m./s. และการละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความเข้มคลื่น 50 หรือ 80 % ซึ่งภาวะดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก แต่มีผลดีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

5.2.2 <u>ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ และการละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่ง</u>

5.2.2.1 <u>ผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบ</u>

ผลการวัดค่า thawing loss, marinade gain weight และ cooking loss แสดงในตารางที่ 4.10 - 4.12 และ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.13 - 4.15

จากผลการทดลองด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ไม่พบอิทธิพลของความเร็วลมในการแช่เยือกแข็ง หรืออุณหภูมิของอากาศนิ่งที่ใช้ในการละลายน้ำแข็ง ต่อค่า thawing loss และ cooking loss ($p > 0.05$) แต่พบอิทธิพล ของอุณหภูมิในการละลายน้ำแข็งต่อค่า marinade gain weight ($p \leq 0.05$) ซึ่งการละลายที่อุณหภูมิ 4 °C จะให้ค่า marinade gain weight ที่สูงกว่าการละลายด้วยอากาศนิ่งที่อุณหภูมิห้อง สามารถอธิบายได้ว่า ในการละลายน้ำแข็ง ขณะที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในภาวะเยือกแข็ง เมื่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น จะทำให้ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กมีความสามารถเคลื่อนที่ไปเกาะรวมตัวกับผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่เกิดเป็นผลึกขนาดใหญ่มากขึ้นระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อ ในการละลายอย่างช้าที่ 4 °C จะทำให้อุณหภูมิผลิตภัณฑ์สูงขึ้นอย่างช้าๆ ผลิตภัณฑ์จึงอยู่ที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน จึงทำให้ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กมีโอกาสเคลื่อนที่ออกนอกเส้นใยกล้ามเนื้อได้มากขึ้น เมื่อน้ำแข็งละลาย จึงทำให้เกิดที่ว่างนอกเส้นใยกล้ามเนื้อมากขึ้น และน่าจะมี thawing

loss เพิ่มขึ้น แต่จากผลการทดลอง การที่ thawing loss ไม่แตกต่างกันคาดว่าเกิดเนื่องจากการละลายที่ทั้งสองอุณหภูมิใช้เวลาค่อนข้างนาน คือ 3 และ 12 ชั่วโมงสำหรับการละลายที่อุณหภูมิห้องและ 4 °C ตามลำดับ ซึ่ง Jul (1984) เสนอว่าการละลายอย่างช้าที่ไม่พบความแตกต่างด้าน thawing loss อาจเกิดจากการดูดน้ำกลับเข้าสู่เส้นใยกล้ามเนื้อในช่วงระหว่างการละลาย ซึ่งคาดว่าจากเหตุผลนี้จึงทำให้ไม่พบความแตกต่างด้าน thawing loss ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดลอง แต่เมื่อพิจารณา marinade gain weight กลับพบผลจากอุณหภูมิการละลาย ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า ในผลิตภัณฑ์ที่ละลายที่ 4 °C เป็นการละลายอย่างช้า แม้อาจมีการดูดน้ำกลับ แต่การละลายอย่างช้ามีส่วนทำให้เกิดความเสียหายที่ sarcolomma ของกล้ามเนื้อไก่ (Fennema et al., 1973) จึงน่าจะทำให้ซอสหมักสามารถถูกดูดกลืนในพื้นที่ระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อ และภายในเส้นใยกล้ามเนื้อได้มากขึ้น นอกจากนั้น ในส่วนของซอสหมักยังมีเกลือ (NaCl) เป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 14.2 % ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์ได้จากการที่คลอไรด์อิออนจับกับผิวของโปรตีนเป็นจำนวนมาก จนทำให้เกิดแรงผลักกันระหว่างประจุลบของคลอไรด์อิออน ทำให้โปรตีนแยกห่างออกจากกันมากขึ้นและมีพื้นที่ให้น้ำเข้าอยู่ระหว่างโปรตีนได้มากขึ้น (Pedersen, 1987) ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ที่ละลายอย่างช้า คาดว่าการดูดกลืนซอสหมักได้มากจึงมีความเข้มข้นของ NaCl สูง และทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์เพิ่มขึ้นได้และมีค่า marinade gain weight สูงกว่า

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ไม่พบอิทธิพลของความเร็วลมหรืออุณหภูมิในการละลายน้ำแข็งต่อคะแนนด้านสี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบรวม ($p>0.05$) แต่อุณหภูมิในการละลายน้ำแข็งมีผลต่อคะแนนด้านความชุ่มน้ำ ($p\leq0.05$) โดยการละลายที่อุณหภูมิ 4 °C ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชุ่มน้ำต่ำกว่าการละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง ผลดังกล่าวนี้กลับกับการทดสอบทางกายภาพซึ่งพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้องมีค่า marinade gain weight ต่ำกว่า ซึ่งน่าจะมีคะแนนด้าน กลิ่น กลิ่นรส และความชุ่มน้ำลดลงตามไปด้วย แต่ไม่ปรากฏผลดังกล่าว คาดว่า ปริมาณซอสที่ดูดกลืนเข้าในส่วนเนื้อไม่มากเพียงพอที่จะทำให้ผู้ทดสอบพบความแตกต่างอย่างชัดเจน ส่วนในด้านความชุ่มน้ำ ผลที่ออกมาผิดความคาดหมาย (เดิมคาดว่า ผลิตภัณฑ์ที่ละลายน้ำแข็งที่ 4 °C มีความชุ่มน้ำสูงกว่า) นี้สามารถอธิบายได้ว่า ในการประเมินความชุ่มน้ำของผู้ทดสอบ จะพิจารณา 2 ขั้นตอน คือ น้ำที่ออกจากเนื้อในการกัดครั้งแรกและขั้นที่สองคือความหล่อลื่นภายในช่องปากระหว่างเคี้ยวครั้งต่อๆไป (Forrest et al., 1975) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ละลายที่อุณหภูมิห้องคาดว่าจะมีปริมาณน้ำอยู่ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อมากกว่า ขณะกัดครั้งแรก น้ำในเส้นใยกล้ามเนื้อจึงถูกบีบออกมาให้ลักษณะความชุ่มน้ำในขั้นตอนแรกได้ดีขึ้น อีกทั้งในการทดสอบผลิตภัณฑ์ดิบ ซอสราดที่เตรียมเพื่อเติมผลิตภัณฑ์หลังย่างเป็นตัวอย่างเดียวกัน จึงมีองค์ประกอบและปริมาณน้ำไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจากผลความแตกต่างของความชุ่มน้ำจึงมีเฉพาะในการกัดครั้งแรกจึงทำให้ผู้ทดสอบมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ละลายที่อุณหภูมิห้องมีลักษณะความชุ่มน้ำที่ดีกว่าการละลายที่ 4 °C

จากเกณฑ์คุณภาพด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและทางประสาทสัมผัส จึงเลือกภาวะการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ของผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบ ที่ความเร็วลม 2.1 m./s. และการละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่งที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งภาวะดังกล่าวแม้ว่าจะส่งผลกระทบให้มี marinade gain weight ต่ำกว่า แต่ไม่อยู่ในระดับที่ส่งผลต่อคะแนนด้านกลิ่นรส และส่งผลดีต่อคุณภาพด้านความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์

5.2.2.2 <u>ผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก</u>

ผลการวัดค่า thawing loss และ heating loss แสดงในตารางที่ 4.16 และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.17

จากผลการทดลองด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ไม่พบอิทธิพลของความเร็วลมในการแช่เยือกแข็ง หรืออุณหภูมิของอากาศที่ใช้ละลายน้ำแข็ง ต่อค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักทั้งสอง ($p>0.05$) ซึ่งเกิดจากสาเหตุการกักความชื้นที่ออกจากเนื้อไก่สุกด้วยซอสราด เช่นเดียวกันกับที่อธิบายไว้ในตอนที่ 5.2.1.2

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ไม่พบอิทธิพลของความเร็วลมหรืออุณหภูมิในการละลายน้ำแข็งต่อคะแนนด้าน สี กลิ่น และ กลิ่นรส ($p>0.05$) แต่พบอิทธิพลร่วมของความเร็วลมในการแช่เยือกแข็งและอุณหภูมิในการละลายน้ำแข็ง ต่อ คะแนนด้านความนุ่ม ความชุ่มน้ำ และคะแนนความชอบรวม ($p\leq0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมสูง เมื่อแปรอุณหภูมิในการละลายน้ำแข็งพบว่าผู้ทดสอบไม่สามารถสังเกตพบความแตกต่างได้ ($p>0.05$) แต่ผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมต่ำ เมื่อละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิสูงพบว่ามีคะแนนทางประสาทสัมผัสทั้งสามลักษณะสูงกว่าเมื่อละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่ำ ($p\leq0.05$) ซึ่งการที่ผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมสูงไม่มีผลจากอุณหภูมิในการละลายน้ำแข็ง เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมสูงมีอัตราการแช่เยือกแข็งที่สูงกว่า ผลึกน้ำแข็งจึงมีขนาดเล็กและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เมื่อละลายน้ำแข็ง การเคลื่อนย้ายของน้ำออกนอกเส้นใยกล้ามเนื้อจึงเกิดได้น้อยจนผู้ทดสอบสังเกตไม่พบ สำหรับกรณีผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมต่ำ อธิบายได้ว่า ในเนื้อสุกการเคลื่อนย้ายของผลึกน้ำแข็งไปจับเป็นผลึกน้ำแข็งภายนอกเซลมีผลทำให้โครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อผิดรูป และคาดว่าทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างลดลง อีกทั้งการเคลื่อนย้ายของน้ำออกสู่ส่วนซอสราดมีส่วนเพิ่มลักษณะความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์ดังแสดงในข้อ 5.2.1.2 ดังนั้นเมื่อแช่เยือกแข็งที่ความเร็วลมต่ำ จึงน่าจะทำให้คะแนนความนุ่มและความชุ่มน้ำเพิ่มขึ้น แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า ผู้ทดสอบให้ความเห็นเพิ่มเติมในส่วนท้ายแบบสอบถาม (ภาคผนวก ค) ว่าลักษณะเนื้อสัมผัสมีความยุ่ยเพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์มีความชุ่มน้ำน้อยลง ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ยุ่ยแสดงให้เห็นว่าการทำลายโครงสร้างของเนื้อสุกจากผลึกน้ำแข็งทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อแยกออกจากกันได้ง่าย ส่วน

ความชุ่มน้ำที่ลดลง คาดว่าเป็นผลกระทบจากการประเมินลักษณะความนุ่มเพราะเนื้อที่มีลักษณะยุ่ยอาจมีผลทำให้ผู้ทดสอบเกิดความรู้สึกแห้งตามไปด้วย

จากเกณฑ์คุณภาพด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและทางประสาทสัมผัส จึงเลือกภาวะการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ ที่ความเร็วลม 1.5 m./s. และการละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่งที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งภาวะดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านกายภาพและมีผลดีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

5.2.3 <u>ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวน และการละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ</u>

5.2.3.1 <u>ผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบ</u>

ผลการวัดค่า thawing loss, marinade gain weight และ cooking loss แสดงในตารางที่ 4.18 - 4.20 และ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.21 - 4.23

จากการทดลองด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ไม่พบอิทธิพลของอุณหภูมิลมในการแช่เยือกแข็ง หรือความเข้มของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ละลายน้ำแข็งต่อค่า marinade gain weight และ cooking loss ($p>0.05$) แต่พบอิทธิพลของอุณหภูมิลมที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งต่อค่า thawing loss ($p\leq0.05$) ซึ่งการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิลม -30 °C ให้ค่า thawing loss ที่ต่ำกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิลม -24 °C อันเนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิลมต่ำมีผลให้ผลต่างอุณหภูมิระหว่างผลิตภัณฑ์กับอากาศรอบนอกมากขึ้น จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า อัตราการแช่เยือกแข็งมีค่าสูง ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจึงเกิดกระจายอยู่ทั่วผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว การเคลื่อนย้ายของน้ำออกสู่ภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อจึงเกิดน้อยกว่า ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ออกมาจากผลิตภัณฑ์หลังละลายน้ำแข็งมีค่าน้อยกว่า ค่า thawing loss จึงลดต่ำลงด้วย (Fellows, 1990)

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ไม่พบอิทธิพลของอุณหภูมิลมหรือความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่อคะแนนด้านกลิ่น กลิ่นรส และความชอบรวม ($p>0.05$) ซึ่งคาดว่าสารระเหยที่ให้กลิ่นและกลิ่นรสไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการแช่เยือกแข็งและการละลายน้ำแข็งที่ใช้ในระดับที่ผู้ทดสอบสังเกตพบ แต่ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิลมและความเข้มของคลื่นไมโครเวฟต่อคะแนนด้านความนุ่ม และความชุ่มน้ำ ขณะที่อุณหภูมิลมในการแช่เยือกแข็งเพียงอย่างเดียวมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ ($p\leq0.05$)

ในด้านคะแนนความนุ่ม และความชุ่มน้ำที่ได้รับอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิลมในการแช่เยือกแข็งและความเข้มของคลื่นไมโครเวฟในการละลายน้ำแข็ง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงและความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่ำมีคะแนนทั้งสองลักษณะต่ำกว่าพวกที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่ำ ($p\leq0.05$) เกิดเนื่องจาก ในการ

แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูง มีอัตราการแช่เยือกแข็งช้า การเคลื่อนที่ของผลึกน้ำแข็งออกภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อจึงเกิดได้เพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่บริเวณภายนอกดังที่อธิบายในข้อ 5.2.1.1 เมื่อประกอบกับการละลายน้ำแข็งที่ความเข้มคลื่นต่ำซึ่งมีอัตราการละลายช้า จึงทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของผลึกน้ำแข็งออกนอกเส้นใยกล้ามเนื้อได้มากขึ้นดังที่อธิบายในข้อ 5.2.2.1 ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ที่เกิดภายนอกจึงมีผลทำให้รูปร่างของเส้นใยกล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลงได้มากขึ้น และความแข็งแรงของ sarcolemma ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่หุ้มรอบๆเส้นใยกล้ามเนื้อลดลง ซึ่งในการประเมินความนุ่ม จะมีผลจากการจัดเรียงตัว อันตรกิริยา(interaction) และลักษณะทางกายภาพของเส้นใยกล้ามเนื้อและ myofibrils ซึ่งเป็นโปรตีนของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Lawrie, 1966) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเส้นใยกล้ามเนื้อจากผลึกน้ำแข็งนี้จึงน่าจะทำให้ลดความแข็งแรงของเส้นใยกล้ามเนื้อลงโดยรวม เมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส จึงน่าจะทำให้มีลักษณะนุ่มมากขึ้น และการเสียน้ำออกภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อน่าจะทำให้มีคะแนนความชุ่มน้ำลดลง แต่จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในการทดลองกลับพบว่าเนื้อมีคะแนนความชุ่มน้ำลดลง และมีคะแนนด้านความนุ่มลดลงด้วย ซึ่งจากข้อเสนอแนะท้ายแบบสอบถาม ระบุว่า คะแนนความนุ่มเนื้อที่ลดลงเป็นลักษณะยุ่ยของเนื้อ ซึ่งคาดว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงและละลายที่ความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่ำมีผลทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อของผลิตภัณฑ์ลดความแข็งแรงลงและแยกออกจากกันได้ง่ายกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำและละลายที่ความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่ำ เนื้อที่ได้จึงเสียโครงสร้างจนมีลักษณะยุ่ย และการเสียน้ำทำให้มีคะแนนความชุ่มน้ำลดลง ซึ่งภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองคือ การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -30 °C และละลายน้ำแข็งที่ความเข้มคลื่น 50 หรือ 80 % และการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -24 °C และละลายน้ำแข็งที่ความเข้มคลื่น 80 %

ในด้านสี พบว่าได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิลมในการแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$) โดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีสีดีกว่า ซึ่งอธิบายได้จากลักษณะเฉพาะของการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวน ซึ่งเรียงผลิตภัณฑ์ลงบนสายพานโดยไม่มีภาชนะบรรจุ อากาศเย็นที่สัมผัสโดยตรงกับผิวของผลิตภัณฑ์จะนำความชื้นออกจากผิวของผลิตภัณฑ์ การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูง มีผลให้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างผลิตภัณฑ์กับอากาศโดยรอบน้อยกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จึงลดลงอย่างช้าๆ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า ความดันไอของน้ำมีค่ามากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การลดลงอย่างช้าๆของอุณหภูมิจึงทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ประกอบกับการแช่เยือกแข็งชนิดนี้ให้ลมเป่าบนผิวผลิตภัณฑ์โดยตรง จึงทำให้เสียความชื้นที่ผิวผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ซึ่งจากลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เป็นชิ้นเนื้อไก่ขนาดเล็กเสียบรวมกันในไม้ มีลักษณะผิวขรุขระ เกิดเป็นซอกหลืบที่ผิว จึงทำให้บริเวณที่สัมผัสกับลมเย็นมากเสียน้ำได้มากกว่าบริเวณที่สัมผัสกับลมเย็นน้อยกว่า เมื่อนำมาย่างที่ภาวะเดียวกัน แม้ว่าในการย่างจะใช้สีผิวของผลิตภัณฑ์เป็นตัวกำหนดจุดยุติการย่าง แต่พบว่าผิวของผลิตภัณฑ์มีสีไม่สม่ำเสมอ เกิดเป็นรอยไหม้ได้ง่ายตามบริเวณที่เสียน้ำมากดังกล่าว จึงทำให้ผู้ทดสอบสังเกตพบและ

ให้คะแนนด้านสีต่ำลง แต่จากช่วงคะแนนจากแบบสอบถาม (ภาคผนวก ค) พบว่า อยู่ในระดับที่ผิดปกติเล็กน้อยแต่ยังยอมรับได้ ดังนั้นจึงเลือกการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -30 °C

ดังนั้นจากผลสรุปจากเกณฑ์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและทางประสาทสัมผัส จึงเลือกภาวะการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวน ด้วยอุณหภูมิลม -30 °C และการละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความเข้มคลื่น 50 หรือ 80 % ซึ่งภาวะนี้ส่งผลกระทบทางบวกต่อทั้งคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสดังกล่าว

5.2.3.2 <u>ผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก</u>

ผลการวัดค่า thawing loss และ heating loss แสดงในตารางที่ 4.24 - 4.26 และ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.27

จากผลการทดลองด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ไม่พบอิทธิพลของอุณหภูมิลมในการแช่เยือกแข็ง หรือความเข้มของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในการละลายน้ำแข็งต่อค่า thawing loss ($p>0.05$) สามารถอธิบายด้วยเหตุผลเดียวกันกับข้อ 5.2.1.2 คือความแตกต่างจากการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งทำให้น้ำที่ออกจากเนื้อไก่สุกไม่มากเพียงพอที่ทำให้ความสามารถในการเกาะของซอสราดบนผิวเนื้อไก่สุกแตกต่างกัน แต่จากการทดลองตรวจพบผลของอุณหภูมิลมต่อค่า heating loss ($p\leq0.05$) โดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิลมสูงกว่าจะให้ค่า heating loss สูงกว่า ซึ่งอาจเนื่องจากอุณหภูมิลมที่สูงกว่าทำให้อัตราการแช่เยือกแข็งช้ากว่า จึงทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของน้ำภายในส่วนของเนื้อไก่สุกได้มากกว่า เมื่อน้ำออกมานอกเส้นใยกล้ามเนื้อได้เป็นปริมาณมาก พลังงานความร้อนระหว่างการอุ่นก่อนบริโภคจึงทำให้ระเหยออกสู่ภายนอกได้โดยง่าย ค่า heating loss จึงสูงขึ้น

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ไม่พบอิทธิพลของอุณหภูมิลมหรือความเข้มของคลื่นไมโครเวฟต่อคะแนนด้าน กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม ความชุ่มน้ำ และความชอบรวม ($p>0.05$) แต่พบอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิลมและความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่อคะแนนด้านสี โดย การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำความเข้มคลื่นไมโครเวฟไม่มีผลต่อคะแนนสีของผลิตภัณฑ์ ($p>0.05$) แต่ในการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูง ผลิตภัณฑ์ที่ละลายที่ความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่ำมีคะแนนสีต่ำกว่าตัวอย่างที่ละลายน้ำแข็งที่ความเข้มคลื่นสูง ($p\leq0.05$) อธิบายได้ว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำมีอัตราการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว ผลึกน้ำแข็งที่เกิดจึงมีขนาดเล็กและกระจายตัวสม่ำเสมอในผลิตภัณฑ์ เมื่อนำมาละลายน้ำแข็งจึงเกิดการเคลื่อนย้ายผลึกได้น้อยกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูง

แต่สำหรับกรณีผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงซึ่งมีผลของความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่อคะแนนสี อธิบายได้ว่า การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงมีอัตราการแช่เยือกแข็งช้า ผลึกน้ำแข็งมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ผลจากการละลายจึงมีมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็ง

ที่อุณหภูมิต่ำ โดยการละลายที่ความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่ำ พลังงานจากคลื่นไมโครเวฟที่ถ่ายทอดไปยังผลิตภัณฑ์มีน้อย ทำให้อัตราการละลายน้ำแข็งลดลง ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจึงสามารถเคลื่อนย้ายออกนอกเส้นใยกล้ามเนื้อได้มากขึ้น ทำให้น้ำออกมาอยู่ในส่วนซอสราดได้มากขึ้น จากข้อเสนอแนะท้ายแบบสอบถาม พบว่าการเคลื่อนย้ายของน้ำมีผลให้สีอ่อนลง ซึ่งคาดว่าน้ำที่ออกมามีผลเจือจางส่วนซอส จึงทำให้ผู้ทดสอบมีแนวโน้มที่จะสังเกตการจางลงของสีได้มากขึ้นนั่นเอง จากผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย จึงเลือกการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -30 °C และละลายน้ำแข็งที่ความเข้มคลื่น 50 % หรือการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -24 °C และละลายน้ำแข็งที่ความเข้มคลื่น 80 %

เป็นที่น่าสังเกตว่า แม้จะมีผลของอุณหภูมิลมที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งต่อค่า heating loss แต่ไม่ปรากฏผลแตกต่างในการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านคะแนนความนุ่มหรือความชุ่มน้ำแต่อย่างใด ทั้งนี้อาจเนื่องจากความแตกต่างดังกล่าวที่พบได้ด้วยการทดสอบทางกายภาพไม่อยู่ในระดับสูงเพียงพอที่จะทำให้ผู้ทดสอบสามารถรู้สึกถึงความแตกต่างได้

ดังนั้นจากผลสรุปด้านเกณฑ์ทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส จึงเลือกภาวะการแช่เยือกแข็งยากิโตริสุกด้วยวิธีลมเป่าแบบสายพานวน ที่อุณหภูมิลม -30 °C และการละลายด้วยไมโครเวฟที่ความเข้มคลื่น 50 %

5.2.4 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวน และการละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่ง

5.2.4.1 ผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบ

ผลการวัดค่า thawing loss, marinade gain weight และ cooking loss แสดงในตารางที่ 4.28 และ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.29 - 4.31

จากผลการทดลองด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ไม่พบอิทธิพลจากอุณหภูมิลมที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง หรืออุณหภูมิในการละลายน้ำแข็งต่อค่า thawing loss, marinade gain weight และ cooking loss ($p>0.05$) ซึ่งอาจเป็นเนื่องจากการละลายด้วยอากาศนิ่งใช้เวลาในการละลายน้ำแข็งค่อนข้างนาน คือ 3 ชั่วโมงสำหรับอุณหภูมิห้อง และ 12 ชั่วโมงสำหรับที่ 4 °C จึงทำให้น้ำที่ได้เสียออกมาจากส่วนเนื้อมีโอกาสดูดซึมกลับสู่เนื้อดิบ (Jul, 1984) โดยปกติการละลายด้วยอากาศนิ่งถือเป็นการละลายที่ช้าและผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ที่เกิดภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อน่าจะทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อผิดรูปและเกิดช่องว่างบริเวณนอกเส้นใยกล้ามเนื้อมากขึ้น ค่า thawing loss และ cooking loss จึงควรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า marinade gain weight ควรมีแนวโน้มลดลง ผลดังกล่าวนี้อาจเนื่องจาก การแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวนเป็นแบบ I.Q.F.

ซึ่งมีอัตราเร็วสูง ไม่ว่าจะใช้อุณหภูมิสูงหรือต่ำจึงไม่มีผลจากภาวะการแช่เยือกแข็งที่จะกระทบต่อไปยังภาวะการละลายน้ำแข็ง การเปลี่ยนน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงไม่ต่างกัน

ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ไม่พบอิทธิพลของอุณหภูมิลมหรืออุณหภูมิในการละลายน้ำแข็งต่อคะแนนด้าน กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม ความชุ่มน้ำ และความชอบรวม ($p>0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างจากกระบวนการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งไม่มากพอที่จะเกิดความแตกต่างของคุณภาพต่างในระดับที่ผู้ทดสอบสังเกตพบ แต่พบว่า อุณหภูมิของอากาศนิ่งในการละลายน้ำแข็งมีผลต่อคะแนนด้านสี ($p\leq0.05$) โดยการละลายที่อุณหภูมิห้องจะได้คะแนนด้านสีดีกว่าการละลายที่อุณหภูมิ 4 °C ซึ่งจากข้อเสนอแนะท้ายแบบสอบถามพบว่ามีลักษณะสีคล้ำกว่าปกติ คล้ายไหม้ ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจาก ในผลิตภัณฑ์ที่ละลายแบบช้าที่ 4 °C จะเกิดการเคลื่อนย้ายของน้ำออกนอกเส้นใยกล้ามเนื้อได้มากกว่า ทำให้เกิดการเสียน้ำออกมาภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อมาก ซึ่งมีผลให้ตัวถูกละลายในเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์หลังย่าง เช่น myoglobin หรือ น้ำตาลรีดิวซ์และหมู่อะมิโนของโปรตีนในการเกิดปฏิกิริยา Mailard มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น Fox (1987) กล่าวว่า สีของเนื้อสัตว์หลังย่างจะเกิดจากการเพิ่มอัตราส่วนของ heme pigment ในระหว่างการย่าง (Fox, 1987) เมื่อความเข้มข้นของสารให้สีของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีได้เร็วกว่าที่ภาวะการย่างเดียวกัน

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ทั้งทางด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก และทางประสาทสัมผัสจึงเลือกภาวะการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -30 หรือ -24 °C และการละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่งที่อุณหภูมิห้อง

5.2.4.2 <u>ผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก</u>

ผลการวัดค่า thawing loss และ heating loss แสดงในตารางที่ 4.32 - 4.34 และ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.35

จากผลการทดลองด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ไม่พบอิทธิพลของอุณหภูมิลมที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งหรืออุณหภูมิในการละลายน้ำแข็งต่อค่า thawing loss ($p>0.05$) ด้วยเหตุผลเดียวกันกับที่กล่าวในข้อ 5.2.1.2 แต่พบว่า อุณหภูมิในการละลายน้ำแข็งมีผลต่อค่า heating loss ($p\leq 0.05$) โดยการละลายน้ำแข็งที่ 4 °C จะให้ค่า heating loss ที่สูงกว่าการละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งสามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกันกับในหัวข้อ 5.2.3.2 คือ การละลายน้ำแข็งในอัตราการละลายต่ำทำให้เกิดการเกิดผลึกใหม่และการเคลื่อนย้ายของน้ำในลักษณะเดียวกันกับการแช่เยือกแข็งในอัตราที่ต่ำ ทำให้น้ำออกมาในรูปอิสระได้มากขึ้น เมื่อได้รับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟในการอุ่นผลิตภัณฑ์ให้ร้อน จึงทำให้มีโอกาสที่จะระเหยออกไปนอกผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า

ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ปรากฏว่า ไม่พบผลกระทบของปัจจัยอุณหภูมิลมที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง หรืออุณหภูมิในการละลายน้ำแข็งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกค่า แสดงให้เห็นว่าระดับความเปลี่ยนแปลงที่สามารถตรวจพบได้ในการทดสอบทางกายภาพไม่อยู่ในระดับที่ทำให้ผู้ทดสอบตรวจพบความแตกต่างทางประสาทสัมผัสได้

จากผลสรุปทางด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและทางประสาทสัมผัส สามารถสรุปได้ว่าภาวะที่เหมาะสมคือ การแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวน ที่อุณหภูมิลม -30 หรือ -24 °C และใช้การละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่งที่อุณหภูมิห้อง

5.2.5 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว และละลายน้ำแข็ง

5.2.5.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว

ผลการประเมินความเสียหายบริเวณผิวผลิตภัณฑ์จากการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิต่างๆแสดงในตารางที่ 4.36 รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 พบว่า เมื่อลดอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งต่ำกว่า -60 °C จะทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์ดิบและสุกเกิดรอยแตกร้าวเป็นรอย 1-2 รอย ซึ่งสามารถอธิบายด้วยเหตุผลของการขยายปริมาตรจากการแช่เยือกแข็งกล่าวคือ โดยปกติเมื่อน้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง จะขยายปริมาตรและเพิ่มความแข็งขึ้น เป็นผลให้ความยืดหยุ่นของเนื้อเยื่อลดลง สำหรับการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวเป็นการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราเร็วสูงมากทำให้น้ำส่วนนอกของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งในขณะที่น้ำเนื้อเยื่อภายในอยู่ในสถานะของเหลว เมื่อน้ำภายในเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งและขยายตัว จึงเกิดแรงดันจากภายในต่อผิวภายนอกที่เป็นของแข็ง ลักษณะผิวภายนอกที่แข็งตัวและไม่มีความยืดหยุ่นจึงทำให้ผิวแตกออก ปรากฏการณ์การแตกนี้มักเกิดในการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วสำหรับผลิตภัณฑ์ชิ้นใหญ่ และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Fennema et al., 1973) ดังนั้นจากผลการทดลองจึงเลือกภาวะการแช่เยือกแข็งที่การปรับอุณหภูมิตามการผลิตของเครื่อง Cryo-QUICK™ ที่อุณหภูมิ -60 °C สำหรับการผลิตยากิโตริดิบและสุกแช่เยือกแข็งในการศึกษาขั้นต่อไป

5.2.5.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบ

ผลการวัดค่า thawing loss, marinade gain weight และ cooking loss แสดงในตารางที่ 4.37 และ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.38

จากผลการทดลองด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก พบว่า ไม่พบอิทธิพลจากความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่อค่า thawing loss, marinade gain weight และ cooking loss ($p>0.05$) ซึ่งอาจเป็นเนื่องจากการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีอัตราเร็วสูง ผลึกน้ำแข็งที่เกิดอยู่บริเวณภายในเส้นใยกล้ามเนื้อจำนวนมากและกระจายทั่วผลิตภัณฑ์ การละลายที่ถือว่ารวดเร็วด้วยการใช้คลื่นไมโครเวฟที่ความแตกต่างในการทดลองจึงส่งผลเปลี่ยนแปลงเช่นการเกิดผลึกใหม่หรือการเคลื่อนย้ายของน้ำน้อยมาก จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดังกล่าว

ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ความเข้มคลื่นไมโครเวฟไม่มีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสใดๆ ($p>0.05$) ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามเหตุผลที่กล่าวในการทดสอบทางกายภาพข้างต้น ซึ่งการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของผลึกน้ำแข็งนี้จึงเป็นผลให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ส่งผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสต่างๆ

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ทั้งทางด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและทางประสาทสัมผัสจึงเลือกภาวะการละลายได้ทั้งความเข้มคลื่น 50 และ 80 %

ผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก

ผลการวัดค่า thawing loss และ heating loss แสดงในตารางที่ 4.39 และ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.40

จากผลการทดลองด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก พบว่า ไม่พบอิทธิพลจากความเข้มคลื่นไมโครเวฟต่อค่า thawing loss และ heating loss ($p>0.05$) ซึ่งอาจเป็นเนื่องจากการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีอัตราเร็วสูง ผลึกน้ำแข็งที่เกิดอยู่บริเวณภายในเส้นใยกล้ามเนื้อจำนวนมากและกระจายทั่วผลิตภัณฑ์ และเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ดิบ ผลต่างของอัตราการละลายจากการแปรความเข้มคลื่น 50 และ 80 % มีผลให้อัตราการละลายต่างกันไม่มากเพียงพอ จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดังกล่าว

ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ความเข้มคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ละลายน้ำแข็งไม่มีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสใดๆ ($p>0.05$) ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามเหตุผลที่กล่าวในการทดสอบทางกายภาพข้างต้นคือ การกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของผลึกน้ำแข็งนี้จึงเป็นผลให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ส่งผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสต่างๆ

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ทั้งทางด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและทางประสาทสัมผัสจึงเลือกภาวะการละลายด้วยอากาศนิ่งได้ทั้งความเข้มคลื่น 50 และ 80 %

5.2.5.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่ง ผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบ

ผลการวัดค่า thawing loss, marinade gain weight และ cooking loss แสดงในตารางที่ 4.41 และ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.42

จากผลการทดลองด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก พบว่า ไม่พบอิทธิพลจากอุณหภูมิในการละลายน้ำแข็งต่อค่า thawing loss และ cooking loss ($p>0.05$) แต่มีผลต่อ marinade gain weight ($p\leq0.05$) โดยการละลายที่อุณหภูมิห้องจะมีค่า marinade gain weight สูงกว่าการละลายที่ 4 °C การที่ไม่พบความแตกต่างของค่า thawing loss คาดว่าเกิดจากการดูดน้ำกลับเข้าสู่เส้นใยกล้ามเนื้อระหว่างการละลายที่เวลานาน (Jul, 1984) แต่ความแตกต่างของ marinade gain weight ที่เกิดขึ้น เกิดจากการที่การละลายที่ 4 °C มีอัตราการละลายต่ำ จึงเกิดการเคลื่อนย้ายของผลึกระหว่างละลายน้ำแข็งออกภายนอกมาก ซึ่งคาดว่าระดับความเข้มข้นของของเหลวภายในเซล เช่น เกลือแร่ มากขึ้นจนสามารถแปลงสภาพของโปรตีนกล้ามเนื้อในลักษณะเดียวกับการแช่เยือกแข็งกล้ามเนื้อไก่อย่างช้าๆ (deFremery et al., 1977) แม้ว่าในการทดลองด้านการเปลี่ยนน้ำหนักด้าน thawing loss ทำให้คาดว่าเกิดการดูดน้ำกลับเข้าสู่เส้นใยกล้ามเนื้อ แต่ผลของการแปลงสภาพของโปรตีนจึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำที่เพิ่มจากส่วนซอสหมักไม่เพิ่มมากนัก

ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า อุณหภูมิในการละลายน้ำแข็งไม่มีผลต่อคะแนนด้านสี กลิ่น ความนุ่ม และความชุ่มน้ำ ($p>0.05$) แต่มีผลต่อคะแนนด้านกลิ่นรส และความชอบรวม ($p\leq0.05$) โดยการละลายที่ 4 °C ให้ตัวอย่างที่มีค่าคะแนนทั้งสองลักษณะต่ำกว่าการละลายที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งสามารถอธิบายได้ประกอบกับผลการทดลองด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักได้โดย ตัวอย่างที่ละลายน้ำแข็งที่ 4 °C มีค่า marinade gain weight มากกว่า จึงทำให้ซอสหมักสามารถเข้าภายในเนื้อไก่ได้มากขึ้น ส่วนของ เกลือ ซิอิ๊ว และผงชูรสที่เข้าไปมากขึ้นจึงมีบทบาทเพิ่มคุณภาพด้าน กลิ่นรส และส่งผลถึงความชอบรวมได้มากขึ้นในระดับที่ผู้ทดสอบตรวจพบ

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ทั้งทางด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและทางประสาทสัมผัสจึงเลือกภาวะการละลายด้วยอากาศนิ่งได้ที่อุณหภูมิห้อง

ผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก

ผลการวัดค่า thawing loss และ heating loss แสดงในตารางที่ 4.43 และ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.44

จากผลการทดลองด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ไม่พบอิทธิพลจากอุณหภูมิในการละลายน้ำแข็งต่อค่า thawing loss ($p>0.05$) แต่มีผลกับค่า heating loss ($p\leq0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ซึ่งละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 °C มีค่า heating loss สูงกว่าตัวอย่างที่ละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเกิดเนื่องจากการละลายแบบช้าอาจทำให้เกิดผลึกใหม่และการเคลื่อนย้ายของน้ำออกสู่ภายนอกเนื้อไก่สุกมาก แต่ถูกกักไว้ด้วยซอสราด ทำให้ไม่พบความแตกต่างของค่า thawing loss เมื่ออุ่นก่อนบริโภคน้ำที่ออกมาในซอสมีความเป็นอิสระมากขึ้นจึงสามารถระเหยออกไปได้ อีกทั้งเมื่อซอสราดมีความชื้นเพิ่มมากขึ้น จึงมีความสามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟได้มากขึ้น ซึ่งคาดว่าทำให้อุณหภูมิของซอสเพิ่มสูงขึ้น การระเหยของน้ำจึงเกิดได้มากยิ่งขึ้น ความแตกต่างของค่า heating loss จึงเกิดในลักษณะที่พบ

ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า อุณหภูมิในการละลายน้ำแข็งไม่มีผลต่อคะแนนด้านกลิ่น ความนุ่ม และความชุ่มน้ำ ($p>0.05$) แต่มีผลต่อคะแนนด้านสี กลิ่นรส และความชอบรวม ($p\leq0.05$) โดยที่อุณหภูมิ 4 °C ผลิตภัณฑ์มีคะแนนทางประสาทสัมผัสทั้งสามต่ำกว่าเมื่อละลายที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามเหตุผลที่กล่าวในการทดสอบทางกายภาพข้างต้น คือการละลายน้ำแข็งแบบช้าทำให้เกิดการเสียน้ำจากเนื้อไก่สุกมากกว่าในขณะนำผลิตภัณฑ์ไปอุ่นก่อนทดสอบ โดยสังเกตจากค่า heating loss เห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์เสียน้ำมากขึ้นซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสีและกลิ่นรสจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้คะแนนทางประสาทสัมผัสทั้งสองลดลงในตัวอย่างที่ละลายที่อุณหภูมิ 4 °C

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ทั้งทางด้านการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและทางประสาทสัมผัสจึงเลือกภาวะการละลายด้วยอากาศนิ่งที่ อุณหภูมิห้อง

5.3 ศึกษาผลของ ชนิดผลิตภัณฑ์ วิธีแช่เยือกแข็ง วิธีละลายน้ำแข็ง และ เวลาเก็บ ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยากิโตริ

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของ ชนิดผลิตภัณฑ์ วิธีการแช่เยือกแข็ง วิธีการละลายน้ำแข็ง และอายุการเก็บรักษา ต่อคุณภาพของยากิโตริ ไปพร้อมๆกันโดยใช้แผนการทดลอง Asymetric Factorial Expperiment ซึ่งใช้ภาวะเหมาะสมของการแช่เยือกแข็งและการละลายน้ำแข็งที่สรุปได้จากข้อ 5.2 เป็นภาวะการเตรียมผลิตภัณฑ์ เพื่อพิจารณาผลจากปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วมทั้งหมดที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ยากิโตริ ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยด้านอาหารแช่เยือกแข็งส่วนใหญ่เว้นการพิจารณาการละลายน้ำแข็งประกอบกับการแช่เยือกแข็งด้วยเหตุผลว่าเป็นขั้นตอนการปฏิบัติของผู้บริโภคจึงไม่มีความสำคัญต่อผู้ผลิต (James and Bailey, 1984) ซึ่งในความเป็นจริง ผลจากปัจจัยต่างๆล้วนแต่มีทฤษฎีรองรับจำนวนมาก และผู้วิจัยคาดว่าข้อมูลในส่วนผลของการละลายน่าจะมีประโยชน์ในการแนะนำผู้บริโภคในการเตรียมตัวอย่างให้ได้คุณภาพดีก่อนบริโภค จากการทดลองค่าสีแสดงในตารางที่ 4.45-4.51 ค่าแรงตัดขาดแสดงในตารางที่ 4.52-4.55 ค่า TBA แสดงในตารางที่ 4.52-4.53, 4.56-4.58 ค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของยากิโตริดิบ (thawing loss, marinade gain weight และ cooking loss) แสดงในตารางที่ 4.59-4.61 ผลการทดลองค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของยากิโตริสุก (thawing loss และ heating loss) แสดงในตารางที่ 4.56-4.65 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4.66-4.67 และ คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.68-4.75

สี

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดผลิตภัณฑ์กับอายุการเก็บต่อความสว่างของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.47) พบว่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ดิบหลังย่างค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษาในขณะที่ผลิตภัณฑ์สุกมีแนวโน้มสว่างเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาจากค่า thawing loss ของผลิตภัณฑ์สุก (ตารางที่ 4.57) ไม่พบผลของเวลาเก็บต่อค่า thawing loss ($p>0.05$) จึงแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงความสว่างในผลิตภัณฑ์เป็นผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดภายในผลิตภัณฑ์ ไม่ใช่จากการเสียซอสราดที่เคลือบ ทั้งนี้คาดว่าเกิดเนื่องจาก ในผลิตภัณฑ์สุกเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กที่อยู่ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อจะเกิดการเคลื่อนย้ายออกรวมตัวกับผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ภายนอก ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์ Oswald ripening เมื่อละลายน้ำแข็งจึงทำให้เสียน้ำออกนอกผลิตภัณฑ์มากขึ้นตามอายุการเก็บ แต่เนื่องจากซอสราดโดยรอบผลิตภัณฑ์สุกมีส่วนกักความชื้นที่ออกจากเนื้อไก่ จึงทำให้ซอสราดเจือจางลง และมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น แต่สำหรับผลิตภัณฑ์ดิบการที่ความสว่างของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการย่างใช้ระดับสีของผลิตภัณฑ์เป็นจุดยุติค่าความสว่างที่ได้จึงใกล้เคียงกัน อีกทั้งเมื่อนำผลิตภัณฑ์ราดด้วยซอสราดซึ่งเตรียมใหม่แต่ละเดือน

ในภาวะเดียวกัน จึงทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอมากขึ้น ความแตกต่างจึงไม่สามารถตรวจพบแม้ด้วยการใช้เครื่องมือตรวจสอบ

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีแช่เยือกแข็งกับวิธีละลายน้ำแข็งต่อค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.48) พบว่า ค่าสีของผลิตภัณฑ์ทั้งดิบและสุกที่ผ่านการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่และละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟมีความสว่างสูงกว่าการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งวิธีอื่นๆ สามารถอธิบายแยกแต่ละชนิดผลิตภัณฑ์ดิบและสุกได้โดย ผลิตภัณฑ์ดิบ ในการทดลองสังเกตพบลักษณะขาวสุก (over cooked) ที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งดังกล่าว ซึ่งคาดว่าเกิดจากลักษณะของผลิตภัณฑ์ดิบที่แช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ได้บรรจุผลิตภัณฑ์ก่อนการแช่เยือกแข็ง หลังจากแช่เยือกแข็ง ผิวของเนื้อไก่สัมผัสกับผิวพลาสติกมากกว่าการแช่เยือกแข็งอีกสองวิธีที่นำผลิตภัณฑ์เยือกแข็งแล้วมาบรรจุ จึงเกิดช่องว่างสุญญากาศระหว่างผิวเนื้อไก่ที่แข็งและไม่เรียบกับผิวภาชนะ ระหว่างการนำผลิตภัณฑ์ออกจากตู้เยือกแข็งและระหว่างการให้พลังงานคลื่นไมโครเวฟ พลังงานความร้อนจากอากาศโดยรอบจะถ่ายโอนผ่านภาชนะบรรจุเข้าสู่ผิวของเนื้อไก่ในผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ได้มากขึ้นเนื่องจากมีผิวสัมผัสกับภาชนะบรรจุมากกว่า ทำให้อุณหภูมิผิวเนื้อไก่ขณะละลายน้ำแข็งสูงกว่าผลิตภัณฑ์จากการแช่เยือกแข็งอีกสองวิธี ในการดูดกลืนพลังงานคลื่นไมโครเวฟ บริเวณอาหารที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีความสามารถดูดกลืนพลังงานได้มากกว่า (Mullin, 1995) ผิวของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่จึงมีอุณหภูมิสูงกว่า (ซึ่งจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิผิวเฉลี่ยสูงถึง 57.2 $^{\circ}$C หลังการละลายด้วยไมโครเวฟในขณะที่อุณหภูมิกึ่งกลางเป็น -1 $^{\circ}$C) ซึ่งที่อุณหภูมิดังกล่าว myofibrillar proteins เกิดการแปลงสภาพ (Wierbicki et al., 1963) เมื่อนำไปย่าง บริเวณผิวที่แปลงสภาพจึงเสียน้ำและเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีผิวจนถึงจุดยุติของการย่างได้อย่างรวดเร็ว เป็นผลให้ความชื้นภายในเหลืออยู่มากกว่า ภายหลังการย่างขณะนำผลิตภัณฑ์ใส่ในภาชนะปิดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนก่อนการทดสอบคุณภาพในทุกด้าน ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นภายในสูงประกอบกับอุณหภูมิภายในที่สูงถึง 75 $^{\circ}$C จึงมีผลให้น้ำระเหยออกและกลั่นตัวกลับที่ผิวผลิตภัณฑ์เมื่อผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงมากขึ้น ซึ่งระหว่างการย่าง ไขมันและน้ำที่เสียออกจากเนื้อจะหยดตัวลงบนถ่านร้อน เป็นผลให้เกิดการเผาไหม้เป็นเขม่าควันจับและให้ลักษณะสีของผลิตภัณฑ์ไก่ย่างที่บริเวณผิว น้ำที่กลั่นตัวกลับที่ผิวของผลิตภัณฑ์จึงมีส่วนพาเขม่าควันที่ผิวเนื้อไก่ออกได้มากขึ้น ซึ่งในการทดลองสามารถสังเกตพบเขม่าควันในน้ำที่กลั่นตัวและหยดออกจากผลิตภัณฑ์หลังย่าง การเสียเขม่าควันจากผิวดังกล่าวจึงทำให้เกิดความแตกต่างของความสว่างในลักษณะที่พบ แต่สำหรับกรณีของผลิตภัณฑ์สุก น่าสังเกตว่าการเพิ่มขึ้นของความสว่างมีลักษณะสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่า thawing loss ของตัวอย่างที่ละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟเมื่อเทียบกับการละลายด้วยอากาศนิ่ง (ตารางที่4.65) หรือค่า thawing loss ของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ที่มากกว่าลมเป่าแบบสายพานวนและไนโตรเจนเหลว (ตารางที่ 4.64ง) ดังนั้นค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้นจึงน่าจะเกิดจากการเสียซอสราดที่มีสีดำสนิทออกจาก

ผิวผลิตภัณฑ์ ส่วนสาเหตุของการเพิ่มค่า thawing loss ขออธิบายในหัวข้อค่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุกต่อไป จากเหตุผลที่อธิบายในทั้งสองผลิตภัณฑ์ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความสว่างในลักษณะที่พบ

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดผลิตภัณฑ์กับวิธีละลายน้ำแข็งต่อค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.49) พบว่าโดยรวมผลิตภัณฑ์สุกมีค่าสีแดงต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ดิบที่นำมาย่างจนสุกเท่ากัน และผลิตภัณฑ์สุกไม่มีผลจากการละลายต่อค่าสีแดง ขณะที่ผลิตภัณฑ์ดิบที่ละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟแล้วย่างมีค่าสีแดงมากกว่าตัวอย่างที่ละลายด้วยอากาศนิ่งแล้วย่าง ลักษณะต่างๆนี้สามารถอธิบายได้ดังนี้ การที่ผลิตภัณฑ์สุกมีค่าสีแดงต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ดิบที่ย่างหลังละลายน้ำแข็งเกิดจากในการให้ความร้อน Wright et al. (1977) ระบุว่า myoglobin จะเริ่มแปลงสภาพที่อุณหภูมิ 60 ^{o}C และแปลงสภาพต่อเนื่องอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 80-85 ^{o}C (Hutchings, 1994) ซึ่งภาวะการย่างในการทดลองกำหนดอุณหภูมิที่ 75 ^{o}C จึงทำให้มี myoglobin บางส่วนไม่แปลงสภาพ เมื่อนำไปบรรจุในภาวะใกล้สุญญากาศ myoglobin ที่เหลืออยู่จึงแปลงสภาพเป็น metmyoglobin และคาดว่าเป็นปัจจัยให้ลดค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์สุกลง

ส่วนการที่ผลิตภัณฑ์สุกไม่มีผลกระทบจากการละลายต่อค่าสีแดงทั้งนี้เนื่องจากในผลิตภัณฑ์สุก เนื้อไก่ดิบที่นำมาย่างมีสภาพเดียวกันเมื่อนำมาย่างที่ภาวะเดียวกัน ความเข้มข้นของรงควัตถุสีแดงที่ผิวจึงมีปริมาณใกล้เคียงกัน เมื่อนำมาแปรภาวะการละลาย แม้ว่าการละลายจะมีผลต่อการเสียน้ำออกจากเนื้อ แต่คาดว่าส่วนซอสราดที่ปกคลุมผลิตภัณฑ์เป็นส่วนกักการเสียรงควัตถุสีแดงที่อาจออกมากับน้ำ (เช่น myoglobin ที่ยังหลงเหลืออยู่) จึงทำให้ไม่พบความแตกต่าง แต่ในกรณีของผลิตภัณฑ์ดิบที่พบว่าการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟแล้วย่างให้ค่าสีแดงสูงกว่าการละลายด้วยอากาศนิ่งแล้วย่าง สามารถอธิบายได้ว่า การละลายที่ต่างกันมีผลต่อการเสียรงควัตถุต่างกัน โดยที่การละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นการละลายอย่างรวดเร็ว การเคลื่อนย้ายของ myoglobin ออกสู่ภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อพร้อมกับน้ำในระหว่างการละลายจึงเกิดได้น้อย ซึ่งคาดว่าเป็นผลให้ myoglobin ถูกกักไว้ในเนื้อเยื่อได้มากกว่า เมื่อเทียบกับการละลายด้วยอากาศนิ่งซึ่งเสีย myoglobin ออกมาในรูปของ thawing loss ได้มากกว่า จึงเป็นผลให้เมื่อวัดค่าสีแดงจึงมีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ละลายด้วยอากาศนิ่ง

เมื่อพิจารณาผลของอายุการเก็บต่อค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ทั้งสอง (ตารางที่ 4.50) พบว่า ค่าสีแดงและเหลืองมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น สามารถแยกอธิบายแต่ละชนิดผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้ ในผลิตภัณฑ์ดิบ ค่าสีแดงที่ลดลงเกิดเนื่องจากการแปลงสภาพของ myoglobin ที่ให้สีแดงกลายเป็น metmyoglobin ที่ให้สีน้ำตาลภายใต้ภาวะใกล้สุญญากาศจึงทำให้สีแดงลดลง ส่วนค่าสีเหลืองที่ลดลงคาดว่าเกิดจากปฏิกิริยา lipolysis ของไขมันจากเอนไซม์ในเนื้อดิบ ทำให้ไขมันที่ให้สีเหลืองของเนื้อดิบเปลี่ยนเป็นสีเทา (Daudin, 1992) และในอาหารแช่เยือกแข็งเอนไซม์ต่างๆสามารถทำงานได้แม้ที่อุณหภูมิ -73 ^{o}C (Desrosier and Desrosier, 1977) แต่

สำหรับกรณีผลิตภัณฑ์สุก การลดลงของสีแดงอาจอธิบายได้ด้วยการแปลงสภาพของ myoglobin ที่หลงเหลือในผลิตภัณฑ์หลังย่างให้กลายเป็น metmyoglobin และ denatured metmyoglobin ส่วนค่าสีเหลืองที่ลดลงคาดว่าเกิดเนื่องจากออกซิเดชั่นของไขมัน ซึ่งมีผลเปลี่ยนสีให้คล้ำลง ดังนั้นจึงทำให้เมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้น ค่าสีแดงและสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดจึงลดลง

เมื่อพิจารณาผลของชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อค่าสีเหลือง (ตารางที่ 4.51) พบว่าผลิตภัณฑ์ดิบหลังย่างมีค่าสีเหลืองมากกว่าผลิตภัณฑ์สุก ทั้งนี้คาดว่าเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในระหว่างการเก็บ ทำให้สีเหลืองของไขมันจากผลิตภัณฑ์สุกคล้ำลง ซึ่งคาดว่ามีผลมากกว่าการสลายตัวของไขมันในเนื้อดิบจากเอนไซม์ให้กลายเป็นสีเทา (Daudin, 1992) จึงทำให้สีเหลืองของผลิตภัณฑ์ดิบหลังย่างสูงกว่าผลิตภัณฑ์สุก

ค่าแรงตัดขาด

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง วิธีแช่เยือกแข็ง วิธีละลายน้ำแข็ง และ อายุการเก็บ ต่อค่าแรงตัดขาด (ตารางที่ 4.54 และรูปที่ 4.5) สามารถแยกพิจารณาแต่ละกรณีดังนี้ เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่และละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟมีค่าแรงตัดขาดสูงขึ้น ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งอีกสองวิธีไม่ว่าจะละลายน้ำแข็งวิธีใดมีค่าแรงตัดขาดค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้เกิดจากการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งช้ากว่าเมื่อเทียบกับการแช่เยือกแข็งอีกสองวิธี จึงทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อได้มากกว่า เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ผลของการเคลื่อนย้ายผลึกน้ำแข็งออกนอกเส้นใยกล้ามเนื้อระหว่างการเก็บ (Oswald ripening) จึงเกิดได้มากกว่า เมื่อละลายน้ำแข็งจึงเกิดการเสียน้ำออกภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อและออกมาอยู่โดยรอบชิ้นไก่ ในการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ บริเวณที่มีน้ำมากในผลิตภัณฑ์เป็นบริเวณที่สามารถดูดกลืนพลังงานคลื่นไมโครเวฟได้มากกว่า และเพิ่มอุณหภูมิ เมื่อแยกพิจารณาแต่ละผลิตภัณฑ์ จึงพบว่าในผลิตภัณฑ์ดิบเกิดการสุกและแปลงสภาพของโปรตีน เมื่อนำไปย่างจึงทำให้เกิดผิวหน้าแห้งแข็งได้มากขึ้น ส่วนในผลิตภัณฑ์สุก คาดว่าจะเกิดการเสียน้ำออกที่ผิวเช่นกัน เกิดเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้นในลักษณะการทำแห้ง ด้วยลักษณะที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ทั้งสอง จึงทำให้เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น แนวโน้มแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่และละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งอีกสองวิธี เมื่อละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟเช่นกันกลับทำให้ค่าแรงตัดขาดมีแนวโน้มคงที่ ซึ่งคาดว่าเกิดจากการแช่เยือกแข็งทั้งสองวิธีมีอัตราการแช่เยือกแข็งสูงกว่าวิธีแรก ผลึกน้ำแข็งที่เกิดอย่างสม่ำเสมอมากกว่าจึงน่าจะลดผลของ Oswald ripening ลง เมื่อละลายน้ำแข็งน้ำจึงออกจากเส้นใยกล้ามเนื้อได้น้อยกว่าและทำให้การดูดกลืนพลังงานคลื่นไมโครเวฟเกิดได้อย่างทั่วถึงมากขึ้น ผลิตภัณฑ์จึงไม่เกิดการเสียน้ำในลักษณะที่กล่าวในตอนต้น ค่าแรงตัดขาดจึงไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาการละลายน้ำแข็งอีกวิธี (การละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่ง) พบว่า เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น การแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่และการละลายด้วยอากาศนิ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าแรงตัดขาดลดลงตามอายุการเก็บ ในขณะที่การแช่เยือกแข็งอีกสองวิธีมีค่าค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ในผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่มีผลกระทบจาก Oswald ripening มากกว่าอีกสองวิธีดังเหตุผลที่กล่าวตอนต้น แต่เนื่องจากการละลายด้วยอากาศนิ่งมิได้ทำให้เกิดการแปลงสภาพของโปรตีนในผลิตภัณฑ์ดิบหรือการเสียน้ำของผลิตภัณฑ์สุกดังเช่นการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟ จึงไม่มีส่วนของแข็งเปลือกนอกที่จะเพิ่มแรงต้านการตัดขาด และเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น เอนไซม์ proteolytic ซึ่งยังมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายแม้ที่อุณหภูมิเยือกแข็ง อาจมีผลทำให้เนื้อนุ่มลงได้บ้าง ส่วนผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งอีกสองวิธี ค่าแรงตัดขาดที่ไม่เปลี่ยนแปลงคาดว่าเกิดจากการแช่เยือกแข็งทั้งสองมีอัตราการแช่เยือกแข็งสูงกว่าวิธีแรก ผลึกน้ำแข็งที่เกิดจึงมีขนาดเล็กและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และลดผลการเกิด Oswald ripening ลง เอนไซม์จึงปลดปล่อยจากแหล่งเก็บได้น้อยกว่า ประสิทธิภาพในการย่อยสลายโปรตีนจึงต่ำ จนทำให้เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้นในระยะเวลา 5 เดือน ไม่มีผลต่อค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดผลิตภัณฑ์กับวิธีละลายน้ำแข็งต่อค่าแรงตัดขาด (ตารางที่ 4.55) พบว่า โดยรวมแล้วผลิตภัณฑ์สุกมีค่าแรงตัดขาดมากกว่าผลิตภัณฑ์ดิบหลังย่าง โดยที่ผลิตภัณฑ์สุกไม่มีผลกระทบจากวิธีละลายน้ำแข็งในขณะที่ผลิตภัณฑ์ดิบที่ละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟมีค่าแรงตัดขาดหลังย่างสูงกว่า การที่ผลิตภัณฑ์สุกมีค่าแรงตัดขาดสูงกว่าผลิตภัณฑ์ดิบเนื่องจากการให้ความร้อนทำให้ myofibrillar proteins ของเนื้อดิบเกิดการจับก้อน (coagulation) ประกอบกับการหดตัวของ collagen เป็นผลให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้นในเนื้อสุก (Laroche, 1992) เมื่อนำเนื้อสุกมาแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งแม้ว่าในทางทฤษฎีระบุว่าผลึกน้ำแข็งมีผลทำลายโครงสร้าง (Blanshard and Franks, 1987) แต่เนื้อสุกมีความแข็งแรงของโครงสร้างมาก ผลการทำลายจึงเกิดน้อย นอกจากนั้นขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์สุกก่อนบริโภคต้องให้ความร้อน ซึ่งทำให้เกิดการเสียน้ำเพิ่มขึ้นเป็นผลให้มีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้นและต้านแรงตัดขาดได้มากขึ้น ขณะที่เนื้อดิบมีการเสียโครงสร้างจากผลึกน้ำแข็งระหว่างแช่เยือกแข็ง ละลายน้ำแข็ง และย่างก่อนบริโภคเท่านั้น ผลิตภัณฑ์ดิบจึงมีค่าแรงตัดขาดน้อยกว่าผลิตภัณฑ์สุก

การที่วิธีละลายน้ำแข็งไม่มีผลต่อค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์สุกเพราะโครงสร้างมีความแข็งแรง ขณะที่ผลิตภัณฑ์ดิบที่ละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟมีค่าแรงตัดขาดสูงกว่าผลิตภัณฑ์ดิบที่ละลายด้วยอากาศนิ่ง เนื่องด้วยเหตุผลของการเสียน้ำที่ผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์ที่ละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟเกิดมากอยู่แล้วและเสียมากยิ่งขึ้นจากการย่างก่อนบริโภค เป็นผลให้มีความสามารถต้านทานแรงตัดขาดได้มากขึ้นไปอีก

อย่างไรก็ดี สังเกตเห็นจากผลการทดลองได้ว่าผลของวิธีแช่เยือกแข็งต่อค่าแรงตัดขาดไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน (ตารางที่ 4.54 และ 4.55) แม้เมื่อเริ่มเก็บผลิตภัณฑ์ (0 เดือน) ซึ่งไม่มี

ผลจาก Oswald ripening (ตารางที่ 4.54) เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (รูปที่ 4.16-4.18) พบว่าช่องว่างระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อที่เกิดการเคลื่อนย้ายผลึกน้ำแข็งออกภายนอกมีพื้นที่เรียงจากน้อยไปมากในตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว ลมเป่าแบบสายพานวน และลมเป่าแบบคงที่ตามลำดับ ซึ่งน่าจะมีผลต่อค่าแรงตัดขาด แต่ผลความแตกต่างของค่าแรงตัดขาดที่ไม่ชัดเจนนี้อาจเนื่องจาก ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงตัดขาดของเนื้อเยื่อประกอบด้วย connective tissues และ myofibrillar proteins (Ledward, 1979) โดยที่ปัจจัยหลักคือ connective tissues ซึ่งมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นสูง การแช่เยือกแข็งทั้งสามวิธีจัดอยู่ในการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว ซึ่งคาดว่าลักษณะการฉีกขาดทำลายของ connective tissues ที่หุ้มรอบและยึดเส้นใยกล้ามเนื้อแม้จะมีเกิดขึ้นบ้าง แต่ไม่มากพอที่จะทำลายความแข็งแรงโดยรวมของ connective tissues จนเป็นผลให้ตรวพบความแตกต่าง

ค่า TBA

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง วิธีละลายน้ำแข็งกับอายุการเก็บต่อค่า TBA (ตารางที่ 4.56) พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ค่า TBA ค่อนข้างคงที่ แต่ตัวอย่างที่ละลายด้วยอากาศนิ่งมีค่า TBA เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บ ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า ในระหว่างการเก็บรักษา ผลึกน้ำแข็งน้ำแข็งขนาดเล็กภายในเส้นใยกล้ามเนื้อจะเคลื่อนย้ายออกจับกับผลึกขนาดใหญ่ภายนอก (Oswald ripening) มีผลให้ของเหลวที่ไม่ถูกแช่เยือกแข็งมีความเข้มข้นของเกลือเพิ่มมากขึ้น (Reid, 1993) จึงมีโอกาสเร่งการเกิดออกซิเดชั่นของไขมัน จึงน่าจะมีผลให้ค่า TBA มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟ อัตราการละลายมีค่าสูงกว่าการละลายด้วยอากาศนิ่ง ระหว่างละลายจึงเกิดการเคลื่อนย้ายของผลึกน้ำแข็งเกิดเป็นผลึกขนาดใหญ่ภายนอกเซลได้น้อยกว่า ความเข้มข้นของของเหลวที่ไม่ถูกแช่เยือกแข็งภายในเซลจึงน้อยกว่า ไขมันกับเกลือแร่จึงมีโอกาสสัมผัสกันน้อยลง และเกิดออกซิเดชันได้น้อยกว่า จึงทำให้ค่า TBA ไม่เปลี่ยนแปลงมากเท่ากับการละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่ง

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของชนิดผลิตภัณฑ์ต่อค่า TBA (ตารางที่ 4.57) พบว่าผลิตภัณฑ์ดิบมีค่า TBA ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์สุก โดยปกติการให้ความร้อนมีผลให้อัตราส่วนของ phospholipid ต่อ neutral lipid มีค่าเพิ่มขึ้น (Campbell and Turkki, 1967; Keller and Kinsella, 1973) และเริ่มต้นเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ hydrolyse ของไขมันด้วยความร้อน (Harris and Linsay, 1972) เกิดเป็นกรดไขมันมากขึ้น ซึ่งมีผลให้เกิดกลิ่นหืนได้ง่ายขึ้น จึงน่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์สุกมีค่า TBA สูงกว่าผลิตภัณฑ์ดิบ แต่เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ต่างกัน กล่าวคือผลิตภัณฑ์ดิบใช้ถุง HDPE ในขณะที่ผลิตภัณฑ์สุกใช้ถุง Nylon/PE ซึ่งเห็นได้ว่าการซึมผ่านของออกซิเจนในผลิตภัณฑ์ดิบมากกว่าในขณะที่ไขมันมีความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชันได้มากกว่า จากการ

ทดลอง พบความแตกต่างของค่า TBA ระหว่างผลิตภัณฑ์ทั้งสองมีค่าเพียง 0.05 ซึ่งถือว่าน้อยมาก ทั้งนี้อาจเกิดจากในผลิตภัณฑ์สุกมีซอสราดเคลือบผิวอยู่โดยรอบเนื้อไก่สุก (โดยมีอัตราส่วน 10 กรัม/ไม้ คิดเป็น 18.18 % ของน้ำหนักเนื้อไก่สุก) แป้งในซอสราดที่เคลือบจึงน่าจะมีผลลดการสัมผัสกันระหว่างไขมันและออกซิเจน (Urbain and Campbell, 1987) อีกทั้งซอสราดที่เพิ่มเข้ามาในผลิตภัณฑ์มีไขมันอยู่น้อยมาก (ตารางที่ 4.1) การเกิดออกซิเดชันในส่วนซอสราดจึงไม่น่าจะมีผลกระทบต่อค่า TBA อีกทั้งลักษณะบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันดังกล่าวจึงทำให้ความแตกต่างของค่า TBA ของทั้งสองผลิตภัณฑ์น้อย

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของวิธีแช่เยือกแข็งต่อค่า TBA (ตารางที่ 4.58) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีค่า TBA สูงกว่าตัวอย่างจากการแช่เยือกแข็งอีกสองวิธี ทั้งนี้ในทางทฤษฎีเมื่อพิจารณาผลอัตราการแช่เยือกแข็งต่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายในเนื้อเยื่อแล้ว การแช่เยือกแข็งที่อัตราเร็วสูงจะเกิดผลึกขนาดเล็กกระจายอยู่อย่างทั่วถึงตลอดทั้งเนื้อเยื่อ ไขมันและเกลือแร่ซึ่งเป็นปัจจัยการเกิดออกซิเดชันในเนื้อสัตว์จึงอยู่อย่างกระจายตัวกันเป็นผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงเกิดได้น้อยกว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้า ดังนั้นการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วด้วยไนโตรเจนเหลวจึงน่าจะวัดค่า TBA ได้น้อยกว่า แต่ผลการทดลองที่ขัดแย้งคาดว่าเกิดเนื่องจากสภาวะการเก็บรักษาภายในผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน กล่าวคือ การแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้วบรรจุในถุง ผิวที่แข็งตัวและไม่เรียบของผลิตภัณฑ์จึงทำให้ในการทดลองสังเกตพบช่องว่างสุญญากาศระหว่างผิวของผลิตภัณฑ์กับผิวของภาชนะจำนวนมากกว่า ซึ่งช่องว่าที่เป็นสุญญากาศนี้คาดว่าเป็นปัจจัยเพิ่มอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนจากภายนอก เนื่องจากมีผลทำให้เกิดแรงผลักดัน (gradient) ระหว่างผิวทั้งสองข้างของภาชนะเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกันการบรรจุที่ผิวผลิตภัณฑ์แนบสนิทอยู่กับภาชนะ เมื่อพิจารณากรณีของผลิตภัณฑ์สุกซึ่ง Urbain และ Campbell (1987) อ้างว่าน้ำราด (gravy) ที่บรรจุและเคลือบผิวเนื้อสุกมีผลลดการเกิดออกซิเดชั่นของไขมันได้ เนื่องจากแป้งมีส่วนป้องกันการสัมผัสระหว่างไขมันและออกซิเจน แต่ในการบรรจุในลักษณะที่ผิวผลิตภัณฑ์ไม่แนบสนิทกับผิวภาชนะ ทำให้ซอสราดที่เติมเข้าไปไม่เคลือบอย่างทั่วถึงตลอดทั้งผลิตภัณฑ์ และในการทดลองพบว่าซอสไม่สามารถเคลือบบริเวณเนื้อไก่ที่ใกล้กับไม้จับ เกิดเป็นช่องว่างสุญญากาศขึ้น คาดว่าทำให้ออกซิเจนที่ซึมผ่านภาชนะบรรจุมีโอกาสสัมผัสกับผิวของเนื้อไก่สุกได้ ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่เหลืออยู่ในภาชนะกับปริมาณไขมันในตัวอย่างดิบและสุกจึงเป็นปัจจัยทำให้สามารถวัดค่า TBA ได้มากขึ้น แต่จากค่า TBA ที่พบ เห็นได้ว่ามีค่าความแตกต่างอยู่ในช่วง 0.05-0.09 ซึ่งเป็นช่วงค่าที่ถือว่าน้อยมากสำหรับการวัดความหืนด้วยวิธีนี้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณออกซิเจนที่คาดว่าซึมผ่านภาชนะบรรจุมีปริมาณเพียงเล็กน้อย และไม่น่าจะมีผลกระทบต่อคะแนนทางประสาทสัมผัส

<u>ค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ดิบ</u>

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีแช่เยือกแข็ง วิธีละลายน้ำแข็ง และอายุการเก็บ (ตารางที่ 4.59) พบว่า ค่า marinade gain weight (รูปที่ 4.6) ของผลิตภัณฑ์จากการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่มีค่าต่ำ และที่เวลาเก็บ 1 เดือน ค่าดังกล่าวต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ตั้งต้น จากนั้นจึงสูงขึ้นเมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดจาก การแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบนิ่งมีอัตราการแช่เยือกแข็งช้ากว่าอีกสองวิธี เกิดผลึกขนาดใหญ่บริเวณภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อ เมื่อนำมาละลายน้ำแข็งน้ำนอกเส้นใยกล้ามเนื้อจึงสามารถออกมาบริเวณรอบนอกผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ประกอบกับการบรรจุที่ผิวของเนื้อไก่ที่แนบสนิทกับผิวบรรจุภัณฑ์จึงมีความร้อนจากอากาศรอบผลิตภัณฑ์ถ่ายเทเข้าสู่ผิวผลิตภัณฑ์ช่วงนำผลิตภัณฑ์ออกจากตู้เยือกแข็งก่อนละลายและระหว่างละลายมากขึ้น จึงทำให้บริเวณผิวผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นและมีน้ำมาก ซึ่งการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟบริเวณอาหารที่มีอุณหภูมิสูงและมีน้ำมากสามารถดูดกลืนพลังงานไมโครเวฟได้มากขึ้น และมีผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนสามารถสังเกตพบการสุกที่บริเวณผิวของตัวอย่างแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่และลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ และทำให้เสียน้ำเพิ่มขึ้นทั้งจากรูปของไอน้ำและน้ำที่ไหลออกมา ค่า thawing loss ของการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟจึงสูงกว่าการละลายด้วยอากาศนิ่งอย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 4.55) เมื่อนำมาหมักซอส โปรตีนที่ผิวซึ่งแปลงสภาพไปทำให้ไม่สามารถดูดกลืนความชื้นเพิ่มขึ้นจากส่วนซอสหมัก อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงขึ้นที่ผิวผลิตภัณฑ์หลังละลายน้ำแข็ง (อุณหภูมิเฉลี่ย 57.2 ^{o}C) มีผลต่อการแปลงสภาพของโปรตีนอย่างต่อเนื่องหลังจากการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังละลายน้ำแข็ง ซึ่งคาดว่ามีผลทำให้เกิดการเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น และน้ำหนักของซอสที่ดูดกลืนเข้ามามีค่าน้อยกว่าน้ำที่เสียไปจากการแปลงสภาพอย่างต่อเนื่องจากอุณหภูมิ เมื่อนำมาคำนวนค่า marinade gain weight (ดูการคำนวนในข้อ 3.2.1.1) จึงได้ผลการคำนวนออกมาเป็นลบ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า เมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ค่า marinade gain weight มีค่าเพิ่มขึ้นทั้งที่ทางทฤษฎีอายุการเก็บที่เพิ่มขึ้นจะเกิดการเคลื่อนย้ายผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กเกาะรวมตัวกับผลึกขนาดใหญ่ เพิ่ม ionic strength ของของเหลวที่ไม่ถูกแช่เยือกแข็งในเนื้อเยื่อ มีผลในการเปลี่ยนโครงสร้างของโปรตีนและลดประจุที่ผิวโปรตีนจาก Oswald ripening ซึ่งค่า marinade gain weight ที่ได้น่าจะลดลง ทั้งนี้จากผลการทดลองที่ได้คาดว่าเกิดเนื่องจากการดูดเก็บซอสหมักเกิดภายในช่องว่างระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อในรูปของ bulk water โดยเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ช่องว่างระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อจะมีปริมาตรมากขึ้นจากปรากฏการณ์ Oswald ripening จึงทำให้ซอสหมักสามารถเข้าภายในเนื้อเยื่อมากขึ้น และมีค่า marinade gain weight สูงขึ้น

เมื่อพิจารณาต่อในตารางที่ 4.59 ด้านค่า marinade gain weight พบว่า ทุกวิธีแช่เยือกแข็ง ค่า marinade gain weight ของการละลายด้วยอากาศนิ่งมีค่าสูงกว่าการละลายด้วยไมโครเวฟ ซึ่งสามารถอาศัยเหตุผลการแปลงสภาพของโปรตีนที่ผิวผลิตภัณฑ์ที่ละลายด้วยไมโครเวฟดังที่กล่าวในตอนต้นอธิบายได้โดย ค่า marinade gain weight สูงสุดพบในทุกวิธีการแช่เยือกแข็งที่ละลายด้วยอากาศนิ่ง และค่าต่ำสุดพบในการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่และการละลาย

ด้วยไมโครเวฟซึ่งคาดว่าเกิดจากเหตุผลการแปลงสภาพของโปรตีนบริเวณผิวที่อธิบายในตอนต้น เช่นกันจนมีผลให้ค่า marinade gain weight ลดลง

เมื่อพิจารณาผลของวิธีแช่เยือกแข็งและวิธีละลายน้ำแข็ง และอายุการเก็บ ต่อค่า cooking loss (ตารางที่ 4.59) พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟ เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ค่า cooking loss ไม่แตกต่าง ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ละลายด้วยอากาศนิ่งมีแนวโน้มค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากช่วงระหว่างการเก็บ ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กมีแนวโน้มเคลื่อนที่ออกนอกเส้นใยกล้ามเนื้อจับกับผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มเสถียรภาพ (Oswald ripening) (Blanshard and Frands, 1987; Reid, 1983) มีผลให้เกลือแร่ต่างๆซึ่งเป็นปัจจัยการแปลงสภาพของโปรตีนสามารถสัมผัสกับผิวโปรตีนได้มากขึ้นเนื่องจากไม่มีผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กมากระจายเกลือแร่ภายในเซล โปรตีนเกิดการแปลงสภาพ ลดความสามารถในการอุ้มน้ำ เมื่อนำมาย่างจึงน่าจะมีค่า cooking loss เพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บ แต่ในการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟ บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนระหว่างการละลายน้ำแข็งดังกล่าวในตอนต้น เมื่อนำไปย่างจึงทำให้เกิดการเสียน้ำอย่างรวดเร็วที่บริเวณผิว เกิดเป็นลักษณะผิวหน้าแห้งแข็งของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีผลลดการเสียน้ำจากด้านในของเนื้อเยื่อ (Shafer et al., 1973) ประกอบกับการใช้จุดยุติการย่างด้วยสีของผิวผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ความชื้นเสียไปน้อยกว่าการละลายด้วยอากาศนิ่ง ซึ่งเกิดลักษณะเปลือกนอกระหว่างการย่างช้ากว่า ทำให้ผลของการแปลงสภาพของโปรตีนและการเคลื่อนย้ายของน้ำออกสู่ภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อได้จากปรากฏการณ์ Oswald ripening แสดงผลออกมาในรูปของ cooking loss ได้อย่างชัดเจน เมื่อสังเกตผลการทดลองโดยรวมแล้วจะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีค่า cooking loss ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งอีกสองวิธี ซึ่งสามารถอธิบายจากผลของการกระจายตัวอย่างทั่วถึงของผลึกน้ำแข็งในการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวทำให้ลดความเข้มข้นของตัวถูกละลายจำพวกเกลือแร่ (Fennema et al., 1973) จึงมีผลลดการแปลงสภาพของโปรตีนและมีความสามารถในการอุ้มน้ำดีกว่าการแช่เยือกแข็งอีกสองวิธี เมื่อนำไปย่างที่สภาวะเดียวกันจึงมีค่า cooking loss ที่ต่ำกว่า โดยจากผลการทดลอง ผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่และละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่งมีค่า cooking loss สูงสุด และผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวและละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟมีค่าดังกล่าวต่ำสุด

เมื่อพิจารณาผลของวิธีละลายต่อค่า thawing loss (ตารางที่ 4.61) พบว่า การละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟผลิตภัณฑ์มีค่า thawing loss สูงกว่าการละลายด้วยอากาศนิ่ง สามารถอาศัยเหตุผลที่กล่าวข้างต้น คือในการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟจะเกิดชั้นเปลือกนอกที่สูญเสียน้ำจากการดูดกลืนพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์มากกว่าบริเวณภายใน เกิดลักษณะสุกที่บริเวณผิว โดยความชื้นที่เสียไปคาดว่าเกิดทั้งการเสียความชื้นในรูปของน้ำจากการเสียโครงสร้างของโปรตีนจากความร้อน และการเสียความชื้นในรูปของไอน้ำจากการระเหยที่ผิวของ

ผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (รูปที่ 4.12-4.15) แสดงให้เห็นว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะดังกล่าว

ค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุก

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของวิธีแช่เยือกแข็งต่อค่า thawing loss (ตารางที่ 4.64) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่มีค่า thawing loss สูงกว่า การแช่เยือกแข็งอีกสองวิธี ซึ่งเป็นผลเนื่องจากในเนื้อเยื่อสุก myofibrillar proteins มีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงที่อุณหภูมิ 40-50 $^{\circ}$C น้ำจึงอยู่ในรูปของ bulk water ในปริมาณมากขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาความชื้นของเนื้อไก่สุก พบว่ามีความชื้นเหลืออยู่ถึง 66.71 % (ตารางที่ 4.1) การที่เนื้อไก่สุกมีน้ำเหลืออยู่มากโดยที่มีความสามารถในการจับน้ำได้น้อยลงจึงน่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์สุกมีการเคลื่อนย้ายของน้ำระหว่างภายในและภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อในช่วงการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งได้มาก จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (รูปที่ 4.16-4.18) แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของผลิตภัณฑ์จากการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวนและไนโตรเจนเหลวมีความสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน ในขณะที่การแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบนิ่งมีผลให้โครงสร้างเสียหายได้มากกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก เมื่อแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ ทำให้อัตราการแช่เยือกแข็งช้ากว่า ผลึกน้ำแข็งจึงเกิดภายนอกเซลและมีขนาดใหญ่ เมื่อละลายน้ำแข็ง จึงทำให้เสียน้ำออกภายนอกผลิตภัณฑ์มากขึ้น น้ำที่ออกมาจะกักไว้ภายในซอสราดที่หุ้มเนื้อไก่ ซึ่งคาดว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่มีปริมาณน้ำที่เคลื่อนย้ายออกมามากกว่า จนทำให้ซอสราดเจือจางลง และสามารถเสียออกจากผิวเนื้อไก่ได้มากขึ้นและพบความแตกต่างเมื่อเทียบกับการแช่เยือกแข็งอีกสองวิธี

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของวิธีละลายน้ำแข็งต่อค่า thawing loss (ตารางที่ 4.65) พบว่าการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟทำให้ค่า thawing loss มีค่าสูงกว่าการละลายด้วยอากาศนิ่ง ซึ่งในทางทฤษฎีเมื่อละลายน้ำแข็งอย่างรวดเร็ว ปริมาณความชื้นที่ออกจากเนื้อเยื่อควรจะมีค่าลดลงจากการลดการเคลื่อนย้ายของผลึก จึงน่าจะได้ค่า thawing loss ต่ำกว่า แต่ผลที่เกิดขึ้นในลักษณะดังกล่าวเกิดเนื่องจากการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์ร้อนกว่าภายในจากการดูดกลืนพลังงานไม่เท่ากันตลอดทั้งชิ้นตัวอย่าง โดยบริเวณผิวผลิตภัณฑ์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าภายในเป็นผลให้สามารถดูดกลืนพลังงานคลื่นไมโครเวฟได้ดีกว่าภายใน จึงทำให้อุณหภูมิในส่วนของซอสราดที่ผิวสูงขึ้น ซึ่งตามปกติตามลักษณะของสารละลาย เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้มีพลังงานจลน์มากขึ้น ตัวถูกละลายจึงมีระยะห่างจากกันมากขึ้นทำให้ความหนืดของสารละลายลดลง ซอสราดซึ่งถือว่าเป็นสารละลายชนิดหนึ่งจึงมีลักษณะดังกล่าว เมื่อความหนืดลดลง จึงทำให้ปริมาณซอสที่เกาะอยู่บนผิวเนื้อไก่สุกลดลง อีกทั้งในการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟทำให้อุณหภูมิผิวเนื้อไก่สูงขึ้นตามไปด้วย น้ำภายในเนื้อไก่จึงเสียออกมามากขึ้นเมื่อเทียบกับการละลายด้วยอากาศนิ่ง ซึ่งสามารถเห็นได้จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (รูปที่ 4.19-4.20) ค่า thawing loss จึงเพิ่มขึ้น

จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด

เมื่อพิจารณาผลจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดจาก ชนิดผลิตภัณฑ์ วิธีการแช่เยือกแข็ง วิธีละลายน้ำแข็ง และอายุการเก็บ (ตารางที่ 4.66) พบว่า เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้นจำนวนแบคทีเรียมีแนวโน้มลดลง โดยการละลายด้วยอากาศนิ่งมีจำนวนแบคทีเรียมากกว่าการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟเล็กน้อย และผลิตภัณฑ์สุกมีจำนวนแบคทีเรียน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ดิบ ทั้งนี้เนื่องจากระหว่างการเก็บในภาวะเยือกแข็ง การเคลื่อนย้ายของผลึกน้ำแข็งเกิดเป็นผลึกใหม่ขนาดใหญ่ ทำให้ความเข้มข้นภายในเซลแบคทีเรียเปลี่ยนแปลง ทำให้โปรตีนของเซล ผนังเซล และเอนไซม์ของแบคทีเรียแปลงสภาพ (Daudin, 1992) จึงทำให้การแช่เยือกแข็งมีผลลดจำนวนแบคทีเรีย Schmidt-Lorenz และ Gutschmidt อ้างถึงใน Fennema et al. (1973) พบว่า เมื่อเก็บรักษาสัตว์ปีกที่อุณหภูมิ -30 $^{\circ}$C เป็นเวลา 57 อาทิตย์ สามารถลดจำนวนแบคทีเรียลงได้ถึง 60 % โดย bacteria gram (-) มีความสามารถทนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิดังกล่าวได้น้อยกว่า bacteria gram (+) เมื่อพิจารณาการละลาย พบว่าตัวอย่างที่ละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟมีจำนวนแบคทีเรียน้อยกว่าตัวอย่างที่ละลายด้วยอากาศนิ่งเล็กน้อย Mullin (1995) สรุปว่า จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ทางอาหารในช่วง 1945-1995 ที่ผ่านมา ยืนยันว่า คลื่นไมโครเวฟไม่มีผลทำลายแบคทีเรียโดยตรง แต่มีผลทางอ้อมคือทำให้น้ำโดยรอบแบคทีเรียมีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วจึงมีผลทำลายแบคทีเรีย ในการทดลองจำนวนแบคทีเรียที่แตกต่างกันดังกล่าวอาจเกิดเนื่องจากในการละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ บริเวณผิวผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงกว่าผิวตัวอย่างที่ละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่ง เช่นในการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟของตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธีลมเป่าแบบคงที่มีอุณหภูมิผิวสูงถึง 57.2 $^{\circ}$C ซึ่งน่าจะมีผลลดจำนวนแบคทีเรียบางส่วน อีกทั้งในการละลายด้วยอากาศนิ่ง อุณหภูมิที่ผิวอยู่ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน ซึ่งแบคทีเรียที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่อาศัยอยู่บริเวณผิวผลิตภัณฑ์ จึงสามารถเจริญเพิ่มจำนวนได้ ดังนั้นจากสาเหตุทั้งสองประการจึงทำให้สังเกตเห็นว่าการละลายด้วยอากาศนิ่งมีจำนวนแบคทีเรียมากกว่าการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟเล็กน้อย เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ดิบและสุก พบว่าผลิตภัณฑ์ดิบมีจำนวนแบคทีเรียมากกว่าผลิตภัณฑ์สุก ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนในการย่างมีผลในการทำลายแบคทีเรียโดยตรง โดยอุณหภูมิที่ใช้ คือ 75 $^{\circ}$C เป็นลักษณะการกำจัดเฉพาะแบคทีเรียที่ก่อโรค (pasteurization) จึงลดจำนวนแบคทีเรียลง แต่ยังสามารถตรวจพบหลงเหลือได้บางส่วน โดยมาตรฐานของกรมปศุสัตว์ ระบุจำนวนแบคทีเรียมาตรฐานของเนื้อสัตว์ดิบและสุกแช่เยือกแข็งส่งออกคือ $5x10^5$ และ $1x10^5$ cfu/g. ตามลำดับ ซึ่งปรากฏว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว

เมื่อพิจารณาเฉพาะในกลุ่มผลิตภัณฑ์ดิบ พบว่า จำนวนแบคทีเรียของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่มีน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวน และไนโตรเจนเหลว ในทางทฤษฎี การแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วเช่นการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีผลทำลายเซลได้น้อยกว่าเนื่องจากมีผลกระทบต่อการเพิ่มค่า ionic strength ของสารละลาย

ในเนื้อเยื่อน้อยกว่า (Daudin, 1992) แต่ทั้งนี้ เนื่องจากในการผลิตด้วยการแช่เยือกแข็งทั้งสอง มิได้บรรจุผลิตภัณฑ์ในภาชนะ จึงทำให้เกิดการปนเปื้อนจากบริเวณสายพาน และจากอากาศโดยรอบระหว่างการแช่เยือกแข็ง ผลการตรวจจำนวนแบคทีเรียบนสายพานพบว่าเครื่องแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวนและเครื่องแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีค่า 522 และ 413 cfu/g. ตามลำดับ (ตารางที่ 4.73) ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกรมปศุสัตว์ (< 1000 cfu/cm^2) และการปนเปื้อนจากสภาพแวดล้อมดังกล่าวทำให้จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกรมปศุสัตว์เช่นกัน และเมื่อพิจารณาเฉพาะในกลุ่มผลิตภัณฑ์สุกก็ให้ลักษณะเช่นเดียวกันคือผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว (ไม่บรรจุภาชนะ) มีจำนวนแบคทีเรียสูงกว่าวิธีแช่เยือกแข็งอีกสองวิธี แต่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน ผลลักษณะดังกล่าวนี้มิได้แสดงให้เห็นความแตกต่างจากอัตราการแช่เยือกแข็งต่อจำนวนแบคทีเรีย เนื่องจากมีปัจจัยด้านการปนเปื้อนจากสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมให้เท่ากันได้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมแต่ละวิธี แต่สามารถสรุปได้ว่าในภาวะการผลิตจริงปริมาณแบคทีเรียสามารถควบคุมให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ในทุกวิธีแช่เยือกแข็งแม้ว่าใช้เวลาเก็บที่ 0 °C ก่อนการแช่เยือกแข็งถึง 5 ชั่วโมง และมิได้ใช้ภาชนะบรรจุป้องกันการปนเปื้อนระหว่างการแช่เยือกแข็ง อีกทั้งปริมาณแบคทีเรียมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น

<u>คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส</u>

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดผลิตภัณฑ์ วิธีแช่เยือกแข็ง และอายุการเก็บต่อคะแนนด้านสี (ตารางที่ 4.71) พบว่า เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ดิบหลังย่างและสุก ทุกวิธีการแช่เยือกแข็งมีคะแนนด้านสีลดลง มาอยู่ในระดับไม่ต่างกัน ช่วง 7-8 (ช่วงเริ่มต้นรู้สึกว่าผิดปกติเล็กน้อยแต่ยังเป็นที่ยอมรับ) ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับลักษณะสีผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคที่วัดด้วยเครื่องวัดสีในตอนต้น พบว่าในผลิตภัณฑ์ดิบหลังย่างแม้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลง (ตารางที่4.47) แต่พบว่าค่าสีแดงและสีเหลืองมีค่าลดลง (ตารางที่ 4.50) ส่วนผลิตภัณฑ์สุกมีความสว่างเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.47) ประกอบกับมีค่าสีแดงและสีเหลืองลดลงเช่นกัน จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงทั้งสองเมื่อพิจารณาประกอบกับคะแนนด้านสีแสดงให้เห็นว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้ผู้ทดสอบยอมรับน้อยลง

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดผลิตภัณฑ์กับอายุการเก็บต่อคะแนนด้านกลิ่น (ตารางที่ 4.72) พบว่า เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้นคะแนนด้านกลิ่นลดลง โดยที่อายุการเก็บ 0 เดือนคะแนนของผลิตภัณฑ์ดิบเท่ากับผลิตภัณฑ์สุก แต่เมื่อถึงเดือนที่ 5 ผลิตภัณฑ์สุกมีค่าต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ดิบ โดยมีคะแนน 7.0 และ 6.23 ตามลำดับ (สามารถสังเกตความผิดปกติเล็กน้อยแต่ยังเป็นที่ยอมรับ) ซึ่งสามารถอธิบายตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA ที่เพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บ (ตารางที่ 4.56) แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีแช่เยือกแข็งกับวิธีละลาย (ตารางที่ 4.73) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็งที่มีคะแนนด้านกลิ่นต่ำที่สุดคือ การแช่

เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวน-ละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟ และ การแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว-ละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟ สามารถอธิบายได้ว่า โดยปกติการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวนและไนโตรเจนเหลวมีอัตราการแช่เยือกแข็งที่สูง การเคลื่อนย้ายของผลึกน้ำแข็งออกภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อจึงน่าจะเกิดได้น้อย เมื่อละลายน้ำแข็งจึงน่าเสียกลิ่นรสของเนื้อสัตว์ที่เป็นสารละลายน้ำได้น้อยกว่า และอัตราการแช่เยือกแข็งที่สูงน่าจะมีผลลดอัตราการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้เมื่อเทียบกับการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ดังเหตุผลที่กล่าวในการวัดค่า TBA แต่ความแตกต่างด้านกลิ่นที่พบนี้ ผลเป็นไปในทางตรงข้าม และการวัดค่า TBA พบการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนคาดว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะดังกล่าวไม่น่าเกิดจากกลิ่นหืน ซึ่งน่าจะสามารถอธิบายด้วยการเสียสารให้กลิ่นในสภาวะบรรจุของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดดังนี้ เมื่อพิจารณากรณีผลิตภัณฑ์ดิบผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวน ลมเย็นจะสัมผัสกับผิวผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลานานจึงเกิดการเสียสารให้กลิ่น และเมื่อนำมาบรรจุในภาวะสุญญากาศ ลักษณะผิวที่แข็งตัวและไม่เรียบของผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดช่องว่างสุญญากาศระหว่างผิวผลิตภัณฑ์กับภาชนะบรรจุ เมื่อนำมาละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งปกติมักทำให้อุณหภูมิผิวสูงกว่าภายใน อุณหภูมิที่สูงขึ้นประกอบกับช่องว่างสุญญากาศภายในผลิตภัณฑ์จึงทำให้เสียสารให้กลิ่นได้มากขึ้น และเมื่อพิจารณากรณีผลิตภัณฑ์สุกคาดว่าในช่วงแช่เยือกแข็งทำให้เสียสารให้กลิ่นออกภายนอกเช่นกันเนื่องจากใช้อุณหภูมิและความเร็วลมสูง เมื่อนำมาละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟ จึงทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและเสียสารให้กลิ่นเพิ่มขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวนและละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟจึงมีคะแนนด้านกลิ่นลดลง

ส่วนในกรณีการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว ทั้งผลิตภัณฑ์ดิบและสุกในการแช่เยือกแข็งก่อนบรรจุ แม้ว่ามีอัตราการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว (เวลาในการแช่เยือกแข็ง 9 นาที) จะทำให้เสียสารให้กลิ่นน้อยมาก แต่ในสภาวะบรรจุเกิดช่องว่างสุญญากาศระหว่างผิวที่แข็งและไม่เรียบของผลิตภัณฑ์กับผิวพลาสติก ซึ่งเมื่อนำมาละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟ อุณหภูมิผิวตัวอย่างที่สูงขึ้นประกอบกับช่องว่างสุญญากาศจึงคาดว่ามีผลเร่งการเสียสารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์ในระดับที่ผู้ทดสอบสังเกตพบ แต่อย่างไรก็ดี จากช่วงคะแนนด้านกลิ่นในตารางที่ 4.73 พบว่าอยู่ในช่วง 7.29-7.65 ซึ่งหมายถึงเริ่มสังเกตความผิดปกติเล็กน้อยแต่ยังเป็นที่ยอมรับ จึงคาดว่าผลกระทบดังกล่าวมีไม่มากนัก

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดผลิตภัณฑ์และอายุการเก็บต่อคะแนนกลิ่นรส (ตารางที่ 4.72) พบว่าผลิตภัณฑ์ดิบและสุกมีคะแนนลดลงเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์ดิบมีคะแนนกลิ่นรสดีกว่าผลิตภัณฑ์สุกในเดือนที่ 4 ($p \leq 0.05$) คาดว่าความแตกต่างดังกล่าวเกิดจากการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์สุกช่วงย่างมีผลกระตุ้นการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น การเคลื่อนย้ายผลึกเป็นผลึกขนาดใหญ่นอกเส้นใยกล้ามเนื้อ (Oswald ripening) มีผลให้ความเข้มข้นของของเหลวที่ไม่เปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งเพิ่มมากขึ้น จึงคาดว่าทำให้ผลิตภัณฑ์สุก

เกิดออกซิเดชันได้มากกว่าและมีผลให้ผู้ทดสอบพบความแตกต่างด้านกลิ่นรสได้ในเดือนที่4 แต่หากสังเกตความแตกต่างของคะแนนแล้ว พบว่าอยู่ในช่วง 6.55-7.97 ซึ่งหมายถึงรู้สึกถึงความผิดปกติเล็กน้อยแต่เป็นที่ยอมรับ สอดคล้องกับความแตกต่างของค่า TBA ที่พบว่าน้อยมาก จึงสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสจากปัจจัยดังกล่าวมีผลน้อยมาก

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บต่อคะแนนกลิ่นรส (ตารางที่ 4.74) พบว่าที่อายุการเก็บ 0 เดือน คะแนนด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมากกว่าการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้นคะแนนดังกล่าวลดลงอย่างใกล้เคียงกันจนไม่พบความแตกต่างตลอดทั้ง 5 เดือน อยู่ในช่วงคะแนน 6-7 (สามารถสังเกตความผิดปกติเล็กน้อยแต่ยังเป็นที่ยอมรับ) เมื่อพิจารณาค่า TBA (ตารางที่ 4.58) พบว่าโดยรวมผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีค่าสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการแช่เยือกแข็งอีกสองวิธี เนื่องจากภายในภาชนะบรรจุมีช่องว่างสุญญากาศระหว่างผิวแข็งและไม่เรียบของผลิตภัณฑ์กับผิวภาชนะ แต่ความแตกต่างมีน้อยมากเพียง 0.05 และ 0.09 จึงแสดงให้เห็นว่าคะแนนกลิ่นรสที่แตกต่างกันน่าเป็นปัจจัยจากความหืนน้อยมาก ความแตกต่างที่เกิดขึ้นจึงน่าจะอธิบายได้ด้วยอัตราการแช่เยือกแข็งและการเสียสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ดังนี้ คะแนนด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์จากการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีค่าสูงกว่าวิธีแช่เยือกแข็งอื่นที่จุดเริ่มต้นอายุการเก็บ เป็นเพราะธรรมชาติของสารให้กลิ่นรสของเนื้อที่เป็นสารประเภทละลายน้ำ (Pearson et al., 1994) ดังนั้นการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วด้วยไนโตรเจนซึ่งสามารถลดการเสียน้ำได้ในกรณีค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์ดิบ (ตารางที่ 4.59) หรือกรณีค่า thawing loss ของผลิตภัณฑ์สุก (ตารางที่ 4.64) ทำให้เสียสารให้กลิ่นรสได้น้อยกว่าจึงมีกลิ่นรสที่ดีกว่า และที่อายุการเก็บเริ่มต้นคาดว่าการเสียสารให้กลิ่นรสออกสู่ช่องว่างสุญญากาศระหว่างผิวแข็งและไม่เรียบของผลิตภัณฑ์กับผิวภาชนะไม่อยู่ในระดับที่มากพอ จึงทำให้คะแนนผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวสูงกว่า แต่เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น คาดว่าเกิดการเสียสารให้กลิ่นรสออกสู่ช่องว่างดังกล่าวมากขึ้นและลดข้อดีจากการเพิ่มขึ้นของค่า marinade gain weight ในช่วงอายุการเก็บ (ตารางที่ 4.59)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีแช่เยือกแข็งกับอายุการเก็บต่อคะแนนความนุ่ม (ตารางที่ 4.74) พบว่า ทุกวิธีแช่เยือกแข็งเมื่อเพิ่มเวลาการเก็บ พบว่าคะแนนลดลงในอัตราใกล้เคียงกัน โดยที่อายุการเก็บ 5 เดือนลดลงมาที่ช่วงคะแนน 6-7 (สามารถสังเกตความผิดปกติเล็กน้อยแต่ยังเป็นที่ยอมรับ) เมื่อพิจารณาประกอบกับค่าแรงตัดขาดจะเห็นได้ว่าความแตกต่างของแรงตัดขาดที่เป็นผลจากชนิดผลิตภัณฑ์กับวิธีละลายน้ำแข็ง (ตารางที่ 4.55) ไม่มากเพียงพอที่จะตรวจพบได้ด้วยผู้ทดสอบ แต่ความแตกต่างของค่าแรงตัดขาดจากผลของเวลาการเก็บ (ตารางที่ 4.54) สามารถตรวจพบได้ด้วยผู้ทดสอบ โดยเมื่ออายุการเก็บมากขึ้นค่าแรงตัดขาดมีแนวโน้มลดลงและเป็นผลให้คะแนนด้านความนุ่มลดลง ซึ่งคะแนนที่ลดลงจากความหมายของแบบสอบถามคือ

ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเหนียวหรือยุ่ย แต่จากข้อเสนอแนะของผู้ทดสอบระบุว่าเป็นลักษณะยุ่ย จึงแสดงให้เห็นว่า ค่าแรงตัดขาดที่ลดลงน่าจะเป็นลักษณะเนื้อสัมผัสที่แยกออกจากกันได้ง่าย และมีลักษณะยุ่ยมากกว่าที่จะเพิ่มความนุ่ม

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง ชนิดผลิตภัณฑ์กับอายุการเก็บต่อคะแนนด้านความชุ่มน้ำ (ตารางที่ 4.72) พบว่า ที่เวลาเริ่มต้นผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดอยู่ในระดับเดียวกัน แต่เมื่อเพิ่มเวลาเก็บคะแนนมีค่าลดลงเรื่อยๆและผลิตภัณฑ์สุกมีคะแนนความชุ่มน้ำต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ดิบที่อายุการเก็บเดือนที่ 5 สามารถอธิบายได้โดย ในผลิตภัณฑ์สุกจะเกิดการแปลงสภาพของโปรตีนที่ทำหน้าที่ในการอุ้มน้ำของเนื้อเยื่อระหว่างการย่าง เป็นผลให้ลดความสามารถในการอุ้มน้ำ เมื่อนำมาแช่เยือกแข็งจึงน่าจะทำให้มีน้ำที่สามารถเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งได้มากขึ้น ทำให้เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ผลึกน้ำแข็งที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อจึงเคลื่อนย้ายเกาะรวมตัวกับผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ได้มากขึ้น ปรากฏการณ์ Oswald ripening จึงสามารถเกิดได้มากกว่า เมื่อละลายน้ำแข็งปริมาณน้ำที่ออกนอกเนื้อเยื่อจึงเพิ่มขึ้น แม้ว่าน้ำที่ออกมาเป็นผลให้คะแนนด้านความชุ่มน้ำเพิ่มขึ้นดังที่อธิบายในข้อ 5.2.1.2 แต่เมื่อศึกษาช่วงอายุการเก็บที่นานถึง 5 เดือน คาดว่าการเคลื่อนย้ายของน้ำเกิดมากจนส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านความนุ่มด้วย (ตารางที่ 4.74) คือทำให้เนื้อสัมผัสมีลักษณะยุ่ยที่แตกต่างกัน (แต่ในขณะที่ในการทดลองข้อ 5.2.1.2 คะแนนความนุ่มไม่แตกต่างกัน ซอสที่กักน้ำจึงมีผลต่อคะแนนความชุ่มน้ำ) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อผู้ทดสอบประเมินผลิตภัณฑ์ที่มีความนุ่มต่างกัน ในการประเมินความชุ่มน้ำจึงมีผลจากปริมาณของน้ำในเนื้อไก่ และ ซึ่งโดยปกติคะแนนทางประสาทสัมผัสทั้งสองค่ามักมีความเกี่ยวข้องกันในการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Horsfield and Taylor, 1976)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีแช่เยือกแข็งกับอายุการเก็บต่อคะแนนด้านความชุ่มน้ำ (ตารางที่ 4.74) พบว่าทุกวิธีแช่เยือกแข็งมีคะแนนลดลงเมื่อเพิ่มอายุการเก็บ ซึ่งเป็นไปในแนวเดียวกันกับคะแนนด้านความนุ่ม เกิดเนื่องจากปรากฏการณ์ Oswald ripening ดังที่กล่าวในตอนต้น ซึ่งคะแนนด้านความชุ่มน้ำลดลงอยู่ในช่วง 6-7 ในเดือนที่5 (สามารถสังเกตความผิดปกติเล็กน้อยแต่ยังเป็นที่ยอมรับ)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีละลายกับอายุการเก็บต่อคะแนนด้านความชุ่มน้ำ (ตารางที่ 4.75) พบว่า คะแนนมีค่าลดลงไม่แตกต่างกันเมื่อเพิ่มอายุการเก็บ แต่ที่อายุการเก็บเดือนที่ 5 ผลิตภัณฑ์ที่ละลายด้วยไมโครเวฟมีคะแนนความชุ่มน้ำสูงกว่าตัวอย่างที่ละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่ง สามารถอธิบายได้โดยการแยกพิจารณาแต่ละชนิดผลิตภัณฑ์ โดยในผลิตภัณฑ์ดิบ ค่า cooking loss มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บในผลิตภัณฑ์ที่ละลายด้วยอากาศนิ่ง แต่สำหรับการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟไม่มีการเปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 4.59) ซึ่งเกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟบริเวณผิวเกิดการแปลงสภาพและเสียน้ำของโปรตีนจากความร้อนที่เกิดระหว่างละลายน้ำแข็ง ชั้นที่เสียน้ำเกิดเป็นผิวหน้าแห้งแข็งรอบนอกระหว่างการย่างในเวลาต่อมา ซึ่งเป็น

ส่วนขัดขวางการเสียน้ำจากภายในเนื้อเยื่อ เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส จึงทำให้มีลักษณะของน้ำที่ออกมาในช่วงแรกของการเคี้ยวได้มากกว่า จึงทำให้ผู้ทดสอบมีความเห็นว่ามีความชุ่มน้ำดีกว่าการละลายด้วยอากาศนิ่ง ส่วนผลิตภัณฑ์สุกพบว่าค่า thawing loss ของการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟมีค่าสูงกว่าการละลายด้วยอากาศนิ่ง (ตารางที่ 4.71) ซึ่งอาจเป็นเนื่องจากการเสียซอสราดที่มีลักษณะข้นหนืดออกไปจากผิวผลิตภัณฑ์ เมื่อนำมาทดสอบ สัดส่วนของไขมันในผลิตภัณฑ์จึงมีมากขึ้น เนื่องจากในส่วนของซอสราดมีไขมันเพียง 0.12 % ทำให้ไขมันที่อยู่ภายในเนื้อไก่มีโอกาสสัมผัสกับเนื้อเยื่อภายในช่องปากได้มากและรวดเร็วขึ้น เกิดลักษณะความชุ่มน้ำประเภทการหล่อลื่นระหว่างการเคี้ยวครั้งหลังได้มาก ซึ่งลักษณะความชุ่มน้ำชนิดนี้เป็นปัจจัยที่มีผลมากในการประเมินความชุ่มน้ำผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Cross, 1987) ดังนั้นผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟน่าจะมีค่าความชุ่มน้ำมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ละลายด้วยอากาศนิ่ง ส่วนการที่ความชุ่มน้ำลดลงเมื่อเพิ่มอายุการเก็บสามารถอธิบายได้โดย ลักษณะการเคลื่อนย้ายของน้ำในผลิตภัณฑ์ดิบและสุกได้เพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้นจากผลของ Oswald ripening ซึ่งผลแสดงให้เห็นว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างกันอย่างชัดเจนที่อายุการเก็บเดือนที่ 5 จึงทำให้การละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟมีคะแนนความชุ่มน้ำมากกว่าการละลายที่เวลาเก็บดังกล่าว

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง ชนิดผลิตภัณฑ์ วิธีแช่เยือกแข็ง และอายุการเก็บต่อคะแนนความชอบรวม (ตารางที่ 4.71) พบว่าที่เวลาเก็บเริ่มต้นมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บพบว่ามีค่าลดลง ซึ่งเป็นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลดคุณภาพทางประสาทสัมผัสทั้งด้านสี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม และความชุ่มน้ำที่ล้วนแต่มีค่าลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เป็นที่น่าสังเกตว่าคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์สุกที่แช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งคาดว่าเกิดจากการเสียกลิ่นรสจากเนื้อไก่ออกสู่ช่องว่างสุญญากาศภายในผลิตภัณฑ์ดังที่อธิบายในหัวข้อคุณภาพด้านกลิ่น และกลิ่นรส

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งต่อคะแนนความชอบรวม (ตารางที่ 4.73) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวนและละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟมีคะแนนต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนด้านกลิ่น ซึ่งการที่ปัจจัยร่วมที่มีผลต่อคะแนนความชอบรวมเป็นปัจจัยร่วมเดียวกันกับคะแนนด้านสี (ตารางที่ 4.71) และคะแนนด้านกลิ่น (ตารางที่ 4.73) จึงคาดว่า ลักษณะสีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์มีผลต่อคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ในการประเมิน ซึ่งน่าจะใช้เป็นปัจจัยเบื้องต้นในการเลือกภาวะการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งของผลิตภัณฑ์

จากผลการทดลองทั้งหมดในหัวข้อ 5.3 สามารถสรุปตามลักษณะการประเมินทางประสาทสัมผัสประกอบกับผลการทดลองด้านกายภาพที่เกี่ยวข้อง เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการแช่

เยือกแข็ง การละลายน้ำแข็ง ตามปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) แยกตามชนิดของผลิตภัณฑ์ดิบและสุก ได้ดังตารางที่ 4.76 และสามารถแยกเปรียบเทียบตามปัจจัยได้ดังต่อไปนี้

<u>ชนิดผลิตภัณฑ์</u> พบว่า

ด้านสีแม้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังในตารางที่ 4.76 ต่อผู้ทดสอบไม่สามารถพบความแตกต่างได้

ด้านกลิ่นและกลิ่นรส พบว่าแม้ว่าค่า TBA แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างด้านความหืน แต่จากการทดลองความแตกต่างอยู่ในระดับที่ไม่น่าจะพบความแตกต่างด้านความหืน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นที่เกิดน่าจะเป็นการเสียกลิ่นเฉพาะของผลิตภัณฑ์มากกว่า ซึ่งพบว่าที่เดือนที่ 5 ผลิตภัณฑ์ดิบมีคะแนนกลิ่นสูงกว่าผลิตภัณฑ์สุก ส่วนด้านกลิ่นรสไม่พบความแตกต่างด้วยผู้ทดสอบ ด้านความนุ่ม แม้ว่าค่าแรงตัดขาดจะแตกต่างกัน แต่ความแตกต่างไม่มากพอที่จะทำให้ผู้ทดสอบสังเกตพบ

ด้านความชุ่มน้ำ พบว่าคะแนนความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์ดิบสูงกว่าผลิตภัณฑ์สุกที่อายุการเก็บเดือนที่ 5

ส่วนด้านความชอบรวมไม่แตกต่างกัน

ค่าแบคทีเรียทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งสองผลิตภัณฑ์

ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ดิบมีคุณภาพดีกว่าผลิตภัณฑ์สุกในด้านกลิ่นและความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์

<u>วิธีการแช่เยือกแข็ง</u> พบว่า

ด้านสีแม้ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 4.76) แต่ผู้ทดสอบไม่สามารถสังเกตพบ

ด้านกลิ่นและกลิ่นรส แม้พบความแตกต่างค่า TBA แต่อยู่ในระดับที่น้อยจนไม่น่าเกิดความแตกต่างด้านความหืน จึงคาดว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเกิดจากการเสียกลิ่นรส จากผลการทดลองคาดว่าลักษณะการบรรจุมีผลต่อการเสียกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ โดยที่แม้ว่าในผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีคะแนนกลิ่นรสดีกว่าผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ที่เริ่มต้นการเก็บรักษา แต่เมื่ออายุการเก็บเดือนที่สองก็ไม่พบความแตกต่าง แต่คะแนนด้านกลิ่นกลับระบุว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งวิธีลมเป่าสายพานวน และไนโตรเจนเหลว หากละลายน้ำแข็งด้วยไมโครเวฟ มีคะแนนด้านกลิ่นลดลง และเป็นปัจจัยกระทบต่อความชอบรวมด้วย

ด้านความนุ่ม แม้ว่าเกิดความแตกต่างต่อลักษณะกายภาพต่างๆ แต่ไม่มากเพียงพอที่ทำให้ผู้ทดสอบสามารถสังเกตพบอย่างชัดเจน

ด้านความชุ่มน้ำก็มีลักษณะเช่นเดียวกันกับความนุ่ม แต่จากการทดสอบทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับความชุ่มน้ำ พบว่าในผลิตภัณฑ์ดิบการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวมีการเสียน้ำหนักด้าน cooking loss น้อยกว่าการแช่เยือกแข็งอีกสองวิธี และในผลิตภัณฑ์สุกการแช่เยือกแข็งด้วยลมเป่าแบบคงที่มีผลให้ค่า thawing loss มากกว่า ซึ่งการเสียน้ำหนักดังกล่าวสามารถพิจารณาในแง่คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ เห็นได้ว่าการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวให้ข้อดีในด้านดังกล่าว

ส่วนด้านความชอบรวม เห็นได้ว่ามีผลกระทบเช่นเดียวกับคะแนนกลิ่นของผลิตภัณฑ์

ค่าแบคทีเรียทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งสองผลิตภัณฑ์

จึงเห็นได้ว่าในผลิตภัณฑ์ยากิโตริแม้ว่าอัตราการแช่เยือกแข็งที่รวดเร็วมีผลดีในทางทฤษฎีทั้งด้านการลดการเกิดออกซิเดชันของไขมัน การลดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และเห็นได้จากผลการทดลองว่ามีส่วนลดการเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากในผลิตภัณฑ์สุกมีส่วนของซอสราดซึ่งแป้งในซอสราดเป็นปัจจัยลดการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้เป็นอย่างดี โดยมีค่า TBA อยู่เพียงช่วง 0.5-0.6 ที่อายุการเก็บ 5 เดือน และผลิตภัณฑ์ดิบมีการเปลี่ยนแปลงจากการเกิดออกซิเดชันในภาวะเยือกแข็งน้อย ผลของอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งจึงน้อยลง อีกทั้งความแตกต่างด้านเนื้อสัมผัสทั้งความนุ่มและความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์จากการแช่เยือกแข็งทั้งสามวิธีไม่มากเพียงพอที่จะทำให้ผู้ทดสอบสามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน จึงคาดว่าในผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ผลของอัตราการแช่เยือกแข็งจึงมีไม่มากนัก แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ในระดับที่ผู้ทดสอบตรวจพบแม้ว่าความแตกต่างของค่า TBA มีน้อยมาก และคะแนนความชอบรวมในการทดลองมักมีปัจจัยที่มีผลกระทบชนิดเดียวกันคะแนนด้านกลิ่น แสดงให้เห็นว่าคุณภาพด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงในผลิตภัณฑ์ได้แม้ในภาวะเยือกแข็ง และน่าจะเป็นประเด็นศึกษาต่อไปในผลิตภัณฑ์ชนิดนี้

<u>วิธีละลายน้ำแข็ง</u> พบว่า

ด้านสี จากทั้งการทดสอบทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสไม่พบความแตกต่างจากวิธีละลายน้ำแข็ง

ด้านกลิ่นและกลิ่นรส ในการวัดค่า TBA และคะแนนกลิ่นรสไม่พบผลกระทบ แต่คะแนนกลิ่น พบว่าในผลิตภัณฑ์ที่มีช่องว่างสุญญากาศระหว่างละลาย คะแนนด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่ละลายด้วยไมโครเวฟมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการละลายด้วยอากาศนิ่ง

ด้านความนุ่ม แม้ว่าจะพบความแตกต่างค่าแรงตัดขาดในลักษณะที่สรุปในตารางที่ 4.76 แต่ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกัน

ด้านความชุ่มน้ำ เห็นได้ว่าในผลิตภัณฑ์ดิบการละลายน้ำแข็งด้วยไมโครเวฟมีผลเพิ่มค่า thawing loss ลดค่า marinde gain weight และ cooking loss และในผลิตภัณฑ์สุกพบว่ามีผลเพิ่มค่า thawing loss แต่ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเห็นได้ว่า เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้นคะแนนด้านความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์มากกว่าการละลายด้วยอากาศนิ่งชัดเจนที่อายุการเก็บเดือนที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในอายุการเก็บระยะยาวของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ การละลายด้วยไมโครเวฟมีผลให้รักษาลักษณะความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการละลายด้วยอากาศนิ่ง

ด้านความชอบรวม เห็นได้ว่ามีผลเช่นเดียวกันกับคะแนนด้านของผลิตภัณฑ์

ค่าแบคทีเรียทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งสองผลิตภัณฑ์

ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า วิธีละลายน้ำแข็งด้วยไมโครเวฟมีผลดีต่อลักษณะความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์ แต่มีผลลดลักษณะกลิ่นและลดความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ในขณะเดียวกัน ซึ่งหากสรุปตามคะแนนความชอบรวมซึ่งเป็นผลโดยรวมจากผู้บริโภค จึงน่าจะเลือกการละลายด้วยอากาศนิ่ง แต่เป็นที่น่าสนใจว่า หากสามารถลดการเสียกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการละลายได้ เช่นการบรรจุผลิตภัณฑ์ก่อนการแช่เยือกแข็ง การละลายด้วยไมโครเวฟจึงน่าจะส่งผลดีต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ทุกด้าน

<u>อายุการเก็บ</u> พบว่า

ในทุกด้านแม้เกิดการเปลี่ยนแปลงในทิศทางต่างๆที่สรุปในตารางที่ 4.76 จะเห็นได้ว่าคะแนนอยู่ในช่วง 7-8 แม้อายุการเก็บผ่านไป 5 เดือน ซึ่งจากแบบสอบถาม (ภาคผนวก ค) แสดงให้เห็นว่าเป็นลักษณะเริ่มพบความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ปกติ แต่ยังเป็นที่ยอมรับ ซึ่งสรุปได้ว่าในระยะเวลาเก็บผลิตภัณฑ์ 5 เดือน ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพในการบริโภค (eating quality) อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

5.4 ศึกษาผลของวิธีให้ความร้อนก่อนบริโภค และอายุการเก็บ ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของรูปแบบการให้ความร้อนโดยตรงจากภาวะเยือกแข็งของผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุกที่แช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว การเลือกผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งวิธีนี้เป็นตัวแทนการแช่เยือกแข็งที่ใช้ในการศึกษาเนื่องจากเป็นการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว เกิดผลึกขนาดเล็กกระจายทั่วผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถเห็นผลกระทบจากวิธิให้ความร้อนได้อย่างชัดเจน การศึกษาในขั้นตอนการให้ความร้อนคาดว่ามีความสำคัญต่อการเลือกวิธีให้ความร้อนโดยผู้บริโภค ซึ่งมีเวลาในการประกอบอาหารน้อยลงเนื่องจากลักษณะการดำรงชีวิตในปัจจุบัน การเลือกการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟเปรียบเทียบกับการให้ความร้อนด้วยน้ำเดือดเนื่องจากการใช้เตาไมโครเวฟแพร่หลายโดยทั่วไป และการให้ความร้อนด้วยน้ำเดือดมักเป็นวิธีที่แนะนำในผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมรับประทาน โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ยากิโตริที่ส่งประเทศญี่ปุ่น การเปรียบเทียบวิธีให้ความร้อนทั้งสองจึงน่าจะเป็นประโยชน์ในการหาภาวะการเตรียมผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม โดยเลือกติดตามคุณภาพต่างๆตามการทดลองข้อ 3.3 ยกเว้นคุณภาพด้านสีที่ภาวะเยือกแข็ง และในการทดสอบทางประสาทสัมผัสสามารถศึกษาอายุการเก็บรักษาได้เพียง 3 เดือน เนื่องจากเกิดการสูญหายในช่วงระหว่างการเก็บในห้องเยือกแข็งระดับอุตสาหกรรม ผลการทดลอง ค่าสีแสดงในตารางที่ 4.77-4.80 ค่าแรงตัดขาดแสดงในตารางที่ 4.81-4.84 ค่า TBA แสดงในตารางที่ 4.81-4.83 ค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (thawing loss) แสดงในตารางที่ 4.85-4.87 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4.88 และ คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.89-4.91

ค่าสี

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของวิธีการให้ความร้อนต่อค่าความสว่างและสีเหลือง (ตารางที่ 4.79) พบว่าการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าทั้งสองน้อยกว่าการให้ความร้อนด้วยน้ำเดือด ซึ่งเป็นเนื่องจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีลักษณะทำให้อุณหภูมิผิวผลิตภัณฑ์สูงกว่าภายใน ซึ่งทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกสู่ภายนอกได้มากขึ้น ดังสังเกตได้จากค่า heating loss (ตารางที่ 4.87) การระเหยออกของน้ำจึงทำให้ส่วนของซอสราดเข้มข้นขึ้น เมื่อนำไปวัดจึงทำให้ ค่าความสว่างและค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์จึงมีค่าลดลงดังกล่าว

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอายุการเก็บต่อค่าสีแดง (ตารางที่ 4.80) พบว่าค่าลดลงในช่วงระหว่างเดือนที่ 2 และ 3 และจากนั้นคงที่ตลอด 5 เดือน คาดว่าเกิดจาก myoglobin ซึ่งเป็นรงควัตถุสีแดงที่ยังคงหลงเหลือบางส่วนในเนื้อหลังย่างเปลี่ยนเป็น metmyoglobin ที่เป็นรงควัตถุสีน้ำตาลอย่างสมบูรณ์ระหว่างเดือนที่ 2 และ 3 จึงทำให้ค่าสีแดงคงที่ตลอดอายุการเก็บที่เหลือ

ค่าแรงตัดขาด

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอายุการเก็บต่อค่าแรงตัดขาด (ตารางที่ 4.83) พบว่า ค่าแรงตัดขาดลดลงในช่วงระหว่างอายุการเก็บเดือนที่ 1 และ 2 และคงที่ตลอดเวลาการเก็บที่เหลือ ทั้งนี้คาดว่าผลของการแช่เยือกแข็งและปรากฏการณ์ Oswald ripening เป็นผลให้ลดความแข็งแรงของโครงสร้างเนื้อสุกในช่วงเดือนที่ 1 และ 2 แต่เนื่องจากโครงสร้างของเนื้อไก่สุกมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากการหดตัวของ myofibrillar proteins ในช่วงการย่างให้สุก จึงคาดว่าผลของ Oswald ripening จึงไม่มีมากพอที่ทำให้โครงสร้างของเนื้อสุกเปลี่ยนแปลงมากขึ้น จึงทำให้ค่าแรงตัดขาดมีค่าคงที่ตลอดอายุการเก็บที่เหลือ

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของวิธีการให้ความร้อนต่อค่าแรงตัดขาด (ตารางที่ 4.84) พบว่าการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าแรงตัดขาดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการเสียน้ำบริเวณผิวจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ เนื้อไก่จึงแห้งจับตัวกันแน่นยิ่งขึ้นในลักษณะการทำแห้ง ทำให้เกิดความสามารถต้านแรงตัดขาดได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีให้ความร้อนทั้งสอง การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจึงมีค่าแรงตัดขาดสูงกว่าการให้ความร้อนด้วยน้ำเดือด

ค่า TBA

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอายุการเก็บต่อค่า TBA (ตารางที่ 4.83) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการที่ผลิตภัณฑ์มีช่องว่างสุญญากาศระหว่างผิวผลิตภัณฑ์ที่แข็งและไม่เรียบกับผิวของภาชนะ จึงทำให้ค่า TBA ที่วัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ดี ค่า TBA ที่พบอยู่ในช่วง 0.24-0.57 ซึ่งถือว่าเป็นช่วงความแตกต่างที่น้อยมาก และไม่น่าส่งผลกระทบต่อการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของวิธีให้ความร้อนต่อค่า heating loss (ตารางที่ 4.87) พบว่าการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟมีค่า heating loss สูงกว่าการให้ความร้อนด้วยน้ำเดือดซึ่งเป็นผลจากลักษณะการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟเกิดการเสียน้ำจากการระเหยดังที่กล่าวในตอนต้น โดยในระหว่างการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟน้ำในผลิตภัณฑ์ที่ระเหยออกเป็นจำนวนมากจนเกิดแรงดันทำให้ถุงโป่งพองออกจนสามารถสังเกตเห็นการแตกของถุงเนื่องจากแรงดันไอน้ำภายในถุงผลิตภัณฑ์ได้หากไม่กรีดเปิดรอยระเหยไอน้ำก่อนให้ความร้อน ซึ่งการที่น้ำระเหยออกนี้เองจึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า heating loss ในลักษณะดังกล่าว

จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด

เมื่อพิจารณาผลการวัดแบคทีเรียทั้งหมด (ตารางที่ 4.88) พบว่าการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่อายุการเก็บเริ่มต้นพบจำนวนแบคทีเรียหลงเหลืออยู่ และเมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้นค่าลดลงอยู่ในระดับที่ไม่สามารถตรวจพบ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ให้ความร้อนด้วยน้ำเดือดไม่พบแบคทีเรียในปริมาณที่สามารถวัดได้ตลอดอายุการเก็บ ทั้งนี้อาจเป็นเนื่องจากในการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟในการทดลอง เตาไมโครเวฟที่ใช้ (Litton "Futura", AH15610.A) เป็นชนิดที่ไม่มีจานหมุน ซึ่งภายในเตาไมโครเวฟชนิดนี้มักเกิดจุด cold spot คือจุดที่ไม่ได้รับพลังงานไมโครเวฟอันเนื่องจากผลิตภัณฑ์อยู่ที่จุดอับของคลื่นไมโครเวฟภายในเตาไมโครเวฟ บริเวณดังกล่าวจึงมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณอื่น ทำให้ผลการทำลายแบคทีเรียมีไม่มากเพียงพอที่ทำให้ลดจำนวนแบคทีเรียจนอยู่ในระดับที่ตรวจวัดไม่พบ ในขณะที่การให้ความร้อนด้วยน้ำเดือด แม้ภาชนะบรรจุทำหน้าที่เป็นฉนวนในการส่งผ่านความร้อน แต่การที่น้ำเดือดสัมผัสกับผิวผลิตภัณฑ์โดยรอบ จึงทำให้ความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ผลิตภัณฑ์อย่างทั่วถึง เมื่อเปรียบเทียบกับการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ จึงทำให้เห็นว่ามีการทำลายแบคทีเรียที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า จำนวนแบคทีเรียของผลิตภัณฑ์จึงพบน้อยกว่า และเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น จำนวนแบคทีเรียมีแนวโน้มที่จะลดลงด้วยการเปลี่ยน ionic strength ภายในเซลแบคทีเรีย จาก Oswald ripening ดังที่อธิบายในข้อ 5.3 จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟมีแบคทีเรียลดลงจนไม่สามารถตรวจพบเมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น

คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากข้อมูลการทดสอบทางประสาทสัมผัส แม้ว่าความแตกต่างค่าแรงตัดขาดและ heating loss จากวิธีการให้ความร้อนในตารางที่ 4.84 และ 4.87 จะแสดงให้เห็นว่าน่าจะเกิดการเสียน้ำในผลิตภัณฑ์ที่ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ แต่ไม่พบผลต่อคุณภาพด้านสี กลิ่นรส ความนุ่ม และความชุ่มน้ำ ซึ่งคาดว่าความแตกต่างของการระเหยของผลิตภัณฑ์ระหว่างการให้ความร้อนทั้งสองวิธี ไม่ทำให้สีเข้มเพิ่มขึ้น เกิดการเปลี่ยนกลิ่นรส เกิดการเพิ่มความแข็งในการประเมินความนุ่ม หรือแม้แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในตัวอย่างที่ประเมินความชุ่มน้ำ ในระดับที่มากเพียงพอที่จะสังเกตพบได้ด้วยผู้ทดสอบ แต่ผลของเวลาการเก็บต่อคะแนนด้านกลิ่น และความชอบรวม (ตารางที่ 4.91) แสดงให้เห็นว่ามีค่าลดลงตลอดการเก็บ 3 เดือน ซึ่งเมื่อพิจารณาประกอบกับค่า TBA ที่วัดจะเห็นได้ว่า ค่าอยู่ในช่วง 0.24 - 0.54 ซึ่งถือว่ามีความแตกต่างน้อยมาก และไม่น่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านความหืนของผลิตภัณฑ์ จึงคาดว่าการลดลงของคะแนนด้านกลิ่นและความชอบรวมน่าจะเกิดจากการเสียสารให้กลิ่นออกสู่ช่องว่างสุญญากาศระหว่างผิวแข็งและไม่เรียบของผลิตภัณฑ์กับผิวภาชนะบรรจุในกรณีเดียวกับที่พบในข้อ 5.3 เมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นจึงทำให้คะแนนด้านกลิ่นลดลง และมีผลให้คะแนนความชอบรวมลดตามลงไปด้วย แต่อย่างไรก็ดี คะแนนที่พบอยู่ในช่วงเริ่มพบความแตกต่างแต่ยังเป็นที่ยอมรับ แสดงให้เห็นว่าผลกระทบดังกล่าวมีค่อนข้างน้อย

จากการเปรียบเทียบวิธีการให้ความร้อนทั้งหมด สามารถสรุปตามลักษณะการประเมินทางประสาทสัมผัสประกอบกับผลการทดลองด้านกายภาพที่เกี่ยวข้องได้ดังตารางที่ 4.92 เห็นได้ว่าการให้ความร้อนด้วยน้ำเดือดมีข้อดีกว่าการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟในทุกด้าน กล่าวคือ การให้ความร้อนด้วยน้ำเดือดมีผลดีต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและความชอบรวม มีค่า heating loss ต่ำกว่า อีกทั้งมีผลทำลายแบคทีเรียภายในผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ชนิดนี้การให้ความร้อนด้วยน้ำเดือดจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่าอีกวิธีอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ดีเช่นเดียวกับการสรุปผลในข้อ 5.3 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการนำผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งก่อนบรรจุมีส่วนทำให้คุณภาพด้านกลิ่นลดลงบ้างเล็กน้อย และในผลิตภัณฑ์ชนิดนี้การเกิดกลิ่นหืนไม่เป็นปัจจัยต่อการเปลี่ยนคุณภาพภายในอายุการเก็บ 5 เดือน อีกทั้งคะแนนความชอบรวมมักมีปัจจัยเดียวกันกับคะแนนด้านกลิ่น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาในรายละเอียดด้านการเปลี่ยนแปลงกลิ่นและกลิ่นรสภายในผลิตภัณฑ์ต่อไป