ผลของจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งและการใช้เอนไซม์ปาเปนต่อคุณภาพของเนื้อสุกร

Effect of Freeze-thaw Cycles and Papain Treatments on Quality of Pork

อาภัสสร ศิริจริยวัตร*, รุ่งกานต์ บุญนาถกร, บุศราวรรณ ไชยะ และ โศรยา แสนเมือง

Arpassorn Sirijariyawat*, Rungkan Boonnartkorn, Bussarawan Chaiya and Soraya Saenmuang

คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จ.สกลนคร

Faculty of Natural Resources and Agro-Industry, Kasetsart University Chalermphrakiat Sakonnakhon Province Campus

Received : 20 July 2019

Revised : 29 August 2019

Accepted : 11 September 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งร่วมกับการใช้เอนไซม์ปาเปนเพื่อปรับปรุงความนุ่มของเนื้อสุกร โดยนำตัวอย่างเนื้อสุกรไปผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งจำนวน 0 1 3 และ 2 รอบก่อนนำไปแช่ในสารละลายเอนไซม์ปาเปนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 วัดค่าพีเอช ความสามารถในการอุ้มน้ำ การสูญเสียน้ำหนักหลังการละลายน้ำแข็ง การสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก การสูญเสียน้ำหนักรวม ความชื้น เนื้อสัมผัสและค่าสีของตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งที่เพิ่มขึ้นจาก 0.49 เป็น 5.21 g/100g การแช่เอนไซม์ปาเปนส่งผลให้ค่าพีเอชของตัวอย่างลดลงเล็กน้อย ($p<0.05$) การนำเนื้อสุกรมาผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง 5 รอบร่วมกับการแช่ในสารละลายเอนไซม์ปาเปนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ส่งผลให้เนื้อสุกรมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและความชื้นลดลงอย่างมาก ในขณะที่การสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกและการสูญเสียน้ำหนักรวมมีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ($p<0.05$) เนื้อสุกรที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งก่อนนำมาแช่ในสารละลายเอนไซม์ปาเปนมีค่า Hardness ต่ำกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่เอนไซม์แต่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง อย่างไรก็ตามค่า Shear force ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) การแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งจำนวน 3 และ 5 รอบก่อนการแช่เอนไซม์ส่งผลให้เนื้อสุกรมีค่า Chewiness ต่ำที่สุด ($p<0.05$) ตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งจำนวน 3 รอบก่อนการแช่เอนไซม์มีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมและมีค่าการสูญเสียน้ำหนักรวมน้อยกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง 5 รอบก่อนการแช่เอนไซม์ ดังนั้นการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง 3 รอบก่อนการแช่ในสารละลายเอนไซม์ปาเปนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเนื้อสุกร

คำสำคัญ : เนื้อสุกร, ปาเปน, การแช่เยือกแข็ง, ความนุ่มเนื้อ, ความสามารถในการอุ้มน้ำ

***Corresponding author. E-mail** : csnaps@ku.ac.th

Abstract

The objective of this research was to study the effect of freeze-thaw processes and papain treatment to improve the tenderness of pork. The pork samples were frozen-thawed for 0, 1, 3, and 5 cycles before immersed in 0.5% papain solution. The pH, water holding capacity, drip loss, cooking loss, total exudate loss, moisture, texture, and color of the samples were evaluated. The result showed that the drip loss increased as the number of freeze-thaw cycles increased from 0.49 to 5.21 g/100g. The immersion in papain solution slightly decreased pH of the samples ($p<0.05$). The freeze-thaw for 5 cycles combined with the immersion in papain solution for 2 hr greatly decreased water holding capacity and moisture content of the samples while the highest increased in cooking loss and total exudate loss were observed ($p<0.05$). The samples which were frozen and thawed previously immersed in papain solution had a lower hardness value than the enzyme-treated samples without freezing. However, no significant difference in shear force was observed ($p>0.05$). The freeze-thaw for 3 and 5 cycles before immersion in the enzyme solution resulted in the lowest chewiness ($p<0.05$). The sample which was frozen-thawed for 3 cycles before immersed in enzyme solution had lightness, redness, and yellowness value similar to the control sample and had lower total exudate loss than the sample that has been frozen and thawed for 5 cycles before immersed in the enzyme solution. Therefore, the frozen-thaw for 3 cycles before immersed in 0.5% papain solution was the most suitable method for improving the texture of pork.

Keywords : pork, papain, freezing, tenderness, water holding capacity

บทนำ

จากการรายงานของ National statistics office Thailand (2018) พบว่า ประเทศไทยมีจำนวนและสัดส่วนของผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากปี พ.ศ.2537 มีผู้สูงอายุคิดเป็นร้อยละ 6.8 จนกระทั่งปีพ.ศ.2561มีสัดส่วนของผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 16.7 แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่เข้าสู่สังคมสูงวัย (Aged society) ผู้สูงอายุส่วนมากมักจะประสบปัญหาในการเคี้ยว อาหารทำให้หลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารที่เคี้ยวยาก เนื้อสัตว์เป็นหนึ่งในอาหารที่ผู้สูงอายุส่วนใหญ่หลีกเลี่ยงการรับประทาน ดังนั้นการหาวิธีการในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์ให้มีลักษณะนุ่มเคี้ยวง่ายจึงมีความจำเป็นอย่างมาก ไม่เฉพาะสำหรับกลุ่มผู้สูงอายุเท่านั้นที่นิยมรับประทานเนื้อสัตว์ที่มีความนุ่ม ผู้บริโภคทั่วไปก็นิยมเนื้อสัตว์ที่มีความนุ่มเช่นกัน ที่ผ่านมามีนักวิจัยได้ศึกษาวิธีการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์ให้นุ่มขึ้นด้วยวิธีการต่างๆอย่างหลากหลายทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวเคมี การใช้เอนไซม์เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์เป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยม ดังตัวอย่างเช่นการศึกษาของ Sullivan & Calkins (2010) ได้ศึกษาการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเนื้อวัวโดยการใช้เอนไซม์จากพืช เอนไซม์ทางการค้า และเอนไซม์จากจุลินทรีย์ พบว่าการใช้เอนไซม์ทำให้เนื้อสัมผัสของเนื้อวัวนุ่มขึ้น โดยเฉพาะเอนไซม์ปาเปนและโบรมิเลนซึ่งโดยธรรมชาติพบในมะละกอและสับปะรด Abdel-Naeem & Mohamed (2016) ได้ศึกษาการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพและเคมีของแฮมเบอเกอร์เนื้ออูฐ โดยใช้เอนไซม์ปาเปนร่วมกับเอนไซม์ที่สกัดจากขิงเปรียบเทียบกับการ

ใช้เอนไซม์เพียงชนิดเดียว และใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ต่างกัน พบว่าการใช้เอนไซม์ปาเปนความเข้มข้นร้อยละ 0.005 ร่วมกับเอนไซม์ที่สกัดจากขิงความเข้มข้นร้อยละ 5 ช่วยปรับปรุงคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเบอเกอร์เนื้ออูฐ Ha *et al*. (2012) รายงานว่าเอนไซม์แต่ละชนิดมีความจำเพาะต่อสารตั้งต้น เช่น เอนไซม์แอคทิดิน (Actidin) มีความจำเพาะต่อการย่อยโปรตีนไมโอไฟบริล เอนไซม์ซินจิเบียน (Zingibain) จำเพาะต่อการย่อยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และเอนไซม์ที่มีกิจกรรมการย่อยโปรตีนสูงทำให้เนื้อนุ่มมากที่สุดคือปาเปนและโบรมีเลน นอกจากนี้ในประเทศไทยมีรายงานการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเนื้อสุกร เนื้อโค และเนื้อไก่ โดยการใช้เอนไซม์สกัดหยาบจากยางต้นรัก ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 สามารถทำให้ค่า Firmness และ Toughness ของเนื้อทั้ง 3 ชนิดลดลงได้ (Rawdkuen *et al*., 2013) และงานวิจัยของ Nontaloon & Sirijariyawat (2018) ซึ่งศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของเอนไซม์ต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อสุกรส่วนสะโพกพบว่าการใช้เอนไซม์ปาเปนมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความนุ่มของเนื้อสุกรได้ดีกว่าเอนไซม์โบรมีเลน แต่การเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์มากเกินไปส่งผลเสียต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อสุกรโดยทำให้เนื้อมีลักษณะนิ่มเละที่บริเวณผิวด้านนอก แต่ภายในยังคงเหนียวอยู่ ดังนั้นการหากระบวนการมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเอนไซม์จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างยิ่ง

กระบวนการแช่เยือกแข็งเป็นการลดอุณหภูมิของอาหารโดยดึงความร้อนออก เพื่อลดอุณหภูมิของอาหารลงจนต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของอาหารชนิดนั้นๆ ส่งผลให้น้ำในอาหารเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็ง ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นนี้จะไปทำลายโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้การเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกเซลล์ของน้ำและตัวถูกละลายเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งหากนำกระบวนการแช่เยือกแข็งมาใช้ร่วมกับการใช้เอนไซม์อาจส่งผลให้เอนไซม์สามารถแทรกซึมเข้าไปภายในชิ้นตัวอย่างได้ดีขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของการใช้กระบวนการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งโดยใช้จำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง 1 3 และ 5 รอบร่วมกับการใช้เอนไซม์ปาเปนเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเนื้อสุกรให้มีความนุ่มเพิ่มขึ้น รวมถึงศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเนื้อสุกรที่ผ่านกระบวนการดังกล่าว

วิธีดำเนินการวิจัย

1. *<u>การเตรียมตัวอย่าง</u>*

นำเนื้อสุกรส่วนสะโพกที่ซื้อจากห้างสรรพสินค้ามาล้างทำความสะอาด แล้วจึงนำมาหั่นให้ได้ขนาดกว้างxยาวxหนา 3 x3x1.5 เซนติเมตร นำตัวอย่างบรรจุถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แล้วนำมาแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 °C จนกระทั่งจุดกึ่งกลางของตัวอย่างมีอุณหภูมิ -18 °C จากนั้นนำตัวอย่างมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 °C จนกระทั่งจุดกึ่งกลางของตัวอย่างมีอุณหภูมิ 4 °C จึงถือว่าเป็นการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง 1 รอบ ทำการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งจำนวน 1 รอบ 3 รอบ และ 5 รอบ บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างเนื้อสุกรทั้งก่อนการแช่เยือกแข็งและหลังการละลายน้ำแข็งเพื่อนำมาคำนวณค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการละลายน้ำแข็ง (Drip loss)

นำเนื้อสุกรซึ่งไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และเนื้อสุกรที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งจำนวน 1 รอบ 3 รอบ และ 5 รอบ มาแช่ในสารละลายเอนไซม์ปาเปน (บริษัท Xi'an Lyphar Biotech จำกัด ประเทศจีน กิจกรรมของเอนไซม์ 201 U/mg) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนของเนื้อสุกร 100 g ต่อสารละลายเอนไซม์ 100 ml หลังจากแช่ครบ 2 ชั่วโมงแล้ว นำไปวิเคราะห์ค่าพีเอชและค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) จากนั้นนำเนื้อสุกรส่วนที่เหลือไปทำให้สุกโดยการนึ่งให้อุณหภูมิใจกลางชิ้นเนื้อเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส

นำเนื้อสุกรสุกที่ได้ไปวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก (Cooking loss) การสูญเสียของเหลวทั้งหมด (Total exudate loss) ความชื้น ลักษณะเนื้อสัมผัส และค่าสี ดังนี้

2. *การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภายของตัวอย่าง*

2.1 การสูญเสียน้ำหนักหลังการละลายน้ำแข็ง

ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างก่อนแช่แข็งและน้ำหนักหลังจากละลายน้ำแข็ง คำนวณค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการละลายน้ำแข็ง (g/100g) (Xia *et al*., 2009) ดังนี้

$$\text{Drip loss (g/100g)} = \frac{\text{(น้ำหนักก่อนแช่แข็ง - น้ำหนักหลังละลายน้ำแข็ง)}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่แข็ง}} \times 100 \quad (1)$$

2.2 ค่าพีเอช

ชั่งตัวอย่างเนื้อดิบ 5 g ปั่นผสมกับน้ำกลั่น 25 ml ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที วัดค่าพีเอชของตัวอย่างโดยใช้เครื่อง pH meter (รุ่น UB-5 Ultrabasic benchtop pH Meter บริษัท Denver Instruments สหรัฐอเมริกา) (Aroeira *et al*., 2016)

2.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำ

นำตัวอย่างเนื้อดิบสับละเอียด 20 g ใส่ลงในหลอดหมุนเหวี่ยงที่มี โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.6 M ปริมาตร 30 ml คนด้วยแท่งแก้ว 1 นาที จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที แล้วคนด้วยแท่งแก้วอีกครั้ง ก่อนนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ด้วยความเร็วรอบ 3000 g เป็นเวลา 25 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วชั่งน้ำหนักเนื้อหลังหมุนเหวี่ยง (Wardlaw *et al*., 1973) คำนวณค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (g/100g) ดังนี้

$$\text{Water holding capacity (g/100g)} = \frac{\text{(น้ำหนักเนื้อก่อนหมุนเหวี่ยง – น้ำหนักเนื้อหลังหมุนเหวี่ยง)}}{\text{น้ำหนักเนื้อก่อนหมุนเหวี่ยง}} \times 100 \quad (2)$$

2.4 การสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก

ชั่งตัวอย่างเนื้อดิบ 10 กรัม บรรจุในถุงพลาสติก เสียบสายเทอร์โมคัปเปิลที่จุดกึ่งกลางของชิ้นเนื้อเพื่อวัดอุณหภูมิในขณะให้ความร้อน นำไปให้ความร้อนโดยการนึ่งจนตัวอย่างมีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (ดัดแปลงจาก Ketnawa & Rawdkuen (2011) และ Purslow *et al*. (2016)) คำนวณค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก (g/100g) ดังนี้

$$\text{Cooking loss (g/100g)} = \frac{\text{(น้ำหนักเนื้อดิบ – น้ำหนักเนื้อสุก)}}{\text{น้ำหนักเนื้อดิบ}} \times 100 \quad (3)$$

2.5 การสูญเสียของเหลวทั้งหมด

คำนวณได้จากผลรวมของค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการละลายน้ำแข็งและค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก (Aroeira *et al*., 2016)

2.6 ความชื้น

ชั่งตัวอย่าง 2 g ลงในถ้วยอลูมิเนียม นำไปอบด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักหลังอบ แล้วคำนวณเป็นค่าความชื้นตัวอย่าง (g/100g) ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990)

2.7 ลักษณะเนื้อสัมผัส

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Texture analyzer (รุ่น TA.XT.plus, Texture analyzer) นำเนื้อตัวอย่างวางบนฐานแล้วใช้หัววัด Warner-Bratzler blade ตัดตัวอย่างที่ความเร็ว 1 mm/s รายงานผลเป็นค่าแรงเฉือน (N) (ดัดแปลงวิธีจาก Ketnawa & Rawdkuen, 2011) และวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture profile analysis โดยการใช้หัววัด SMSP/100 กดลงบนชิ้นเนื้อ เป็นระยะทางร้อยละ 50 ของความสูงทั้งหมดของชิ้นเนื้อ โดยการกด 2 ครั้งด้วยความเร็ว 5 mm/s โดยรายงานเป็นค่า Hardness Chewiness Cohesiveness Adhesiveness และ Springiness (ดัดแปลงวิธีจาก Huidobro *et al*., 2005)

2.8 ค่าสี

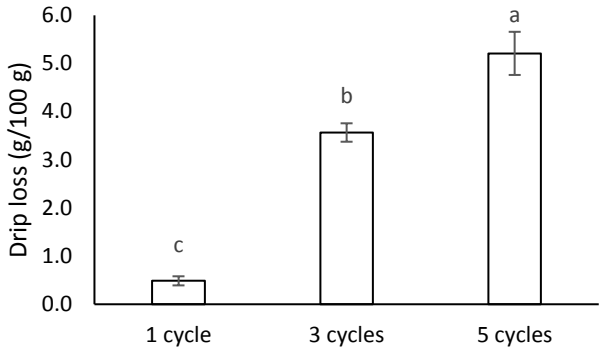
การวิเคราะห์สีของเนื้อโดยเครื่อง Hunter lab (รุ่น Mini scan XE plus, Hunter Associates Laboratory) ใช้ระบบสี CIE L*a* และ b*

3. <u>การวิเคราะห์ทางสถิติ</u>

โดยวิเคราะห์ข้อมูลตามการวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

การนำเนื้อสุกรไปผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งเป็นจำนวนรอบที่แตกต่างกัน 1 3 และ 5 รอบ พบว่าเนื้อสุกรมีการสูญเสียของเหลวออกมาหลังจากการละลายน้ำแข็งในปริมาณที่ต่างกัน ($p< 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยพบว่าเมื่อตัวอย่างเนื้อสุกรผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งเป็นจำนวนรอบที่มากขึ้น จะทำให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการละลายน้ำแข็งเพิ่มสูงขึ้น การแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็ง 1 รอบ ส่งผลให้เนื้อสุกรมีค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังละลายน้ำแข็ง 0.49 g/100g การแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็ง 3 รอบมีค่า 3.57 g/100g และการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็ง 5 รอบมีค่า 5.21 g/100g ตามลำดับ ซึ่งการสูญเสียของเหลวออกจากตัวอย่างอาหารหลังจากการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งนี้เกิดจากเยื่อหุ้มเซลล์ของตัวอย่างบางส่วนถูกทำให้ฉีกขาดเนื่องจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง ดังนั้นของเหลวที่อยู่ในเซลล์จึงสามารถเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ได้ง่ายขึ้น



ภาพที่ 1 ผลของจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งต่อการสูญเสียน้ำหนักหลังละลายน้ำแข็ง

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันคือต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อนำเนื้อสุกรที่ผ่านการแช่เยือกแข็งเป็นจำนวน 0 1 3 และ 5 รอบแล้วจึงนำมาแช่ในสารละลายเอนไซม์ปาเปน จากนั้นนำมาวัดค่าพีเอชและความสามารถในการอุ้มน้ำ ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลของการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งและการใช้เอนไซม์ต่อค่าพีเอชและความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสุกร

Treatment	pH	Water holding capacity (g/100 g)
Untreated 0 cycle	5.99±0.28^{a}	37.26±1.94^{a}
Untreated 1 cycle	5.94±0.25^{ab}	34.04±0.90^{b}
Untreated 3 cycles	5.92±0.25^{ab}	32.16±1.20^{bc}
Untreated 5 cycles	5.82±0.15^{abc}	30.41±1.46^{cd}
Enzyme treated 0 cycle	5.62±0.11^{c}	28.52±0.30^{de}
Enzyme treated 1 cycle	5.69±0.04^{bc}	27.04±0.75^{ef}
Enzyme treated 3 cycles	5.65±0.03^{c}	26.06±0.69^{fg}
Enzyme treated 5 cycles	5.70±0.07^{bc}	24.60±0.51^{g}

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันคือต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

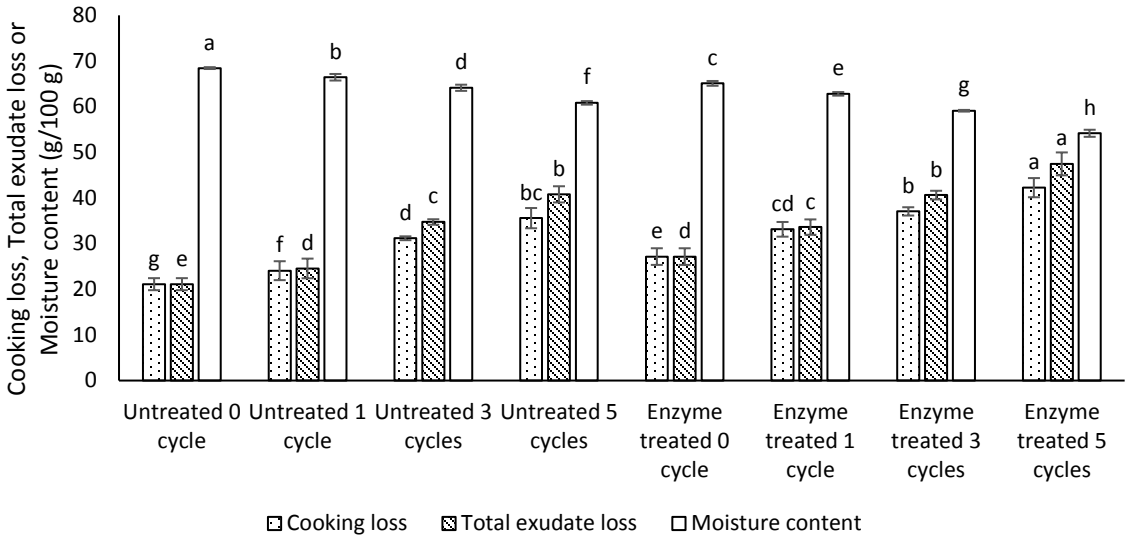
จากตารางที่ 1 พบว่าการแช่เนื้อสุกรในสารละลายเอนไซม์ปาเปนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ส่งผลให้ค่าพีเอชของเนื้อสุกรมีค่าลดลง ($p<0.05$) ค่าพีเอชของตัวอย่างเนื้อสุกรที่ไม่ได้แช่เอนไซม์มีค่าอยู่ในช่วง 5.82 – 5.99 ส่วนตัวอย่างที่ผ่านการแช่เอนไซม์มีค่าพีเอชลดลงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 5.62 – 5.70 เนื่องจากสารละลายเอนไซม์ปาเปนที่ใช้ในการศึกษาเป็นกรดอ่อน

(มีค่า pH 5.53-5.60) จึงทำให้ค่าพีเอชของเนื้อสุกรลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอย่างเนื้อสุกรที่ไม่แช่เอนไซม์ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Gokoglu *et al*. (2016) ได้ศึกษาผลของการเติมเอนไซม์โบรมิเลนและปาเปนต่อลักษณะทางเคมีกายภาพและคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของปลาหมึก พบว่าค่าพีเอชของปลาหมึกที่มีการใช้โบรมิเลนและปาเปนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ใส่เอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้ โดยค่าพีเอชของปลาหมึกที่ผ่านการแช่ปาเปนที่ความเข้มข้น 0.004% ลดลงจาก 6.6 เหลือประมาณ 6.45

สำหรับค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ พบว่าจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็งและการใช้เอนไซม์ส่งผลให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสุกรมีค่าลดลง ($p<0.05$) เมื่อจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงมากยิ่งขึ้นซึ่งส่งผลเสียต่อตัวอย่างเนื่องจากความสามารถในการอุ้มน้ำที่ลดลงนี้มีความสัมพันธ์กับค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำให้สุกและค่าการสูญเสียน้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่าง และส่งผลให้ตัวอย่างมีความชื้นลดลง โดยตัวอย่างที่มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำที่สุดคือตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็ง 5 รอบก่อนนำมาแช่เอนไซม์ซึ่งมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ 24.60 g/100g

สำหรับค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก ค่าการสูญเสียน้ำหนักรวม และค่าความชื้นของเนื้อสุกรหลังการทำให้สุกแสดงดังภาพที่ 2 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกและค่าการสูญเสียน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความชื้นลดลงตามจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) โดยการสูญเสียนำหนักรวมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 21.11 g/100g เป็น 40.78 g/100g และความชื้นลดลงจาก 68.44 g/100g เป็น 60.82 g/100g เมื่อจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็งเพิ่มเป็น 5 รอบ การสูญเสียน้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้นนี้เกิดขึ้นทั้งจากขั้นตอนการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็งและขั้นตอนการทำให้สุก ในระหว่างการแช่เยือกแข็งผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะทำลายเซลล์ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์บางส่วนเกิดการฉีกขาดทำให้เกิดการสูญเสียของเหลวออกจากเซลล์และเมื่อนำตัวอย่างมาให้ความร้อนเพื่อทำให้สุกจึงเกิดการสูญเสียน้ำออกจากตัวอย่างมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง

นอกจากการแช่เยือกแข็งที่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก ค่าการสูญเสียน้ำหนักรวม และค่าความชื้นของเนื้อสุกรแล้ว การแช่ในเอนไซม์ก็ส่งผลต่อค่าดังกล่าวเช่นกัน จากภาพที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ (Untreated 0 cycle) และตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งแต่แช่ในสารละลายเอนไซม์ (Enzyme treated 0 cycle) จะพบว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งแต่แช่ในสารละลายเอนไซม์มีค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกและค่าการสูญเสียน้ำหนักรวมสูงกว่า ($p<0.05$) แต่มีค่าความชื้นต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ ($p<0.05$) โดยตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ มีความชื้น 68.44 g/100g ในขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านการแช่เอนไซม์มีความชื้น 65.09 g/100g

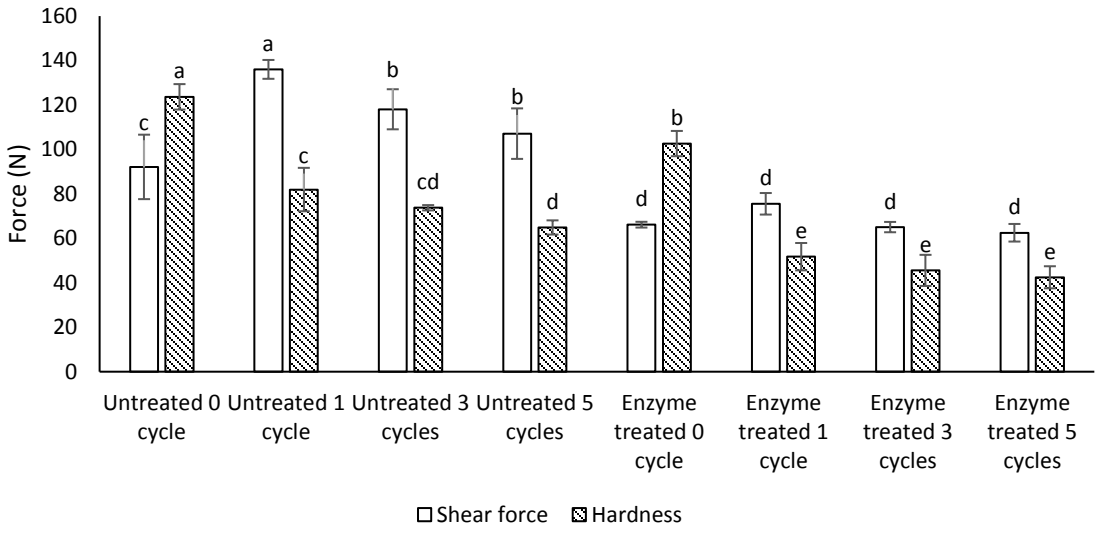


ภาพที่ 2 ผลของจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งและการใช้เอนไซม์ต่อการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก การสูญเสียน้ำหนักรวมและความชื้นของเนื้อสุกร

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละค่าสังเกตอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันคือต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

นอกจากนี้ยังพบว่าการนำตัวอย่างมาผ่านการแช่เยือกแข็ง และละลายน้ำแข็งก่อนการแช่ในสารละลายเอนไซม์ส่งผลให้ตัวอย่างมีการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกและการสูญเสียน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้นมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งก่อนนำมาแช่ในสารละลายเอนไซม์ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของตัวอย่าง (ตารางที่ 1) โดยตัวอย่างที่มีค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกและค่าการสูญเสียน้ำหนักรวมสูงที่สุด และมีค่าความชื้นของเนื้อสุกรหลังการทำให้สุกต่ำที่สุดคือตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็ง 5 รอบก่อนนำมาแช่เอนไซม์ ซึ่งมีค่าการสูญเสียน้ำหนักรวม และค่าความชื้น 47.46 และ 54.16 g/100g ตามลำดับ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ ซึ่งมีค่าการสูญเสียน้ำหนักรวมและค่าความชื้น 21.11 และ 68.44 g/100g

เนื่องจากการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งมีผลให้เซลล์บางส่วนเกิดการฉีกขาด การแช่เยือกแข็งเองส่งผลโดยตรงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารและส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของเอนไซม์เข้าสู่ตัวอย่างทำให้การทำงานของเอนไซม์มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จากการนำเนื้อสุกรซึ่งไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และเนื้อสุกรที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งจำนวน 1 รอบ 3 รอบ และ 5 รอบ มาแช่ในสารละลายเอนไซม์ปาเปนที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาทำให้สุกและวัดลักษณะเนื้อสัมผัส จากผลการทดลองพบว่าการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อสุกร ($p< 0.05$) ดังภาพที่ 3 และตารางที่ 2 เนื้อสุกรที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง 1 รอบ มีค่าแรงเฉือนสูงกว่าเนื้อสุกรที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง แต่เมื่อจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 3 และ 5 รอบ เนื้อสุกรมีค่าแรงเฉือนที่ลดลง ในขณะที่ค่า Hardness Chewiness และ Cohesiveness มีค่าลดลงตั้งแต่การแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งในรอบที่ 1



ภาพที่ 3 ผลของจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งและการใช้เอนไซม์ต่อค่าแรงเฉือนและความแข็งของเนื้อสุกร

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละค่าสังเกตอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันคือต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 2 ผลของการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งและการใช้เอนไซม์ต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อสุกร

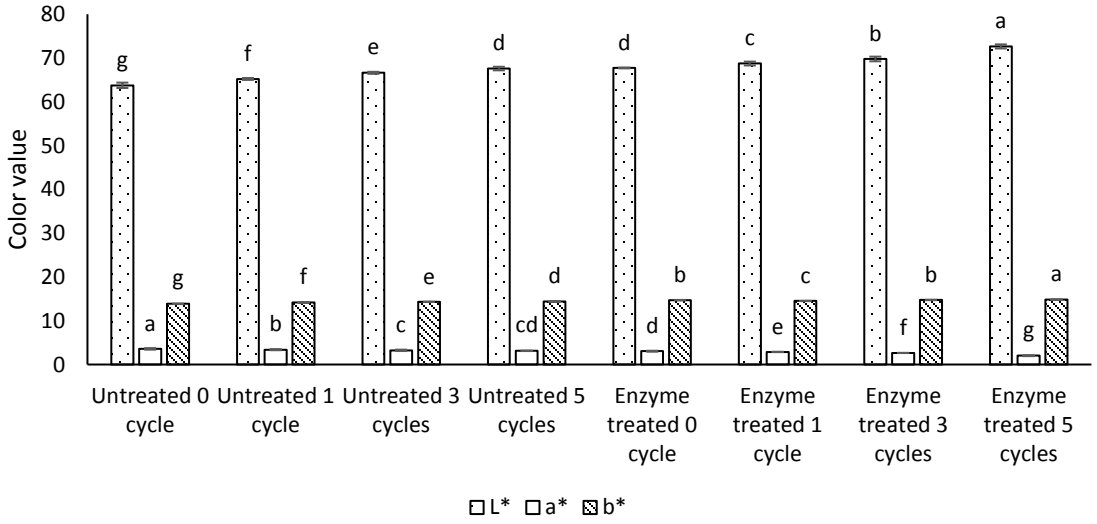
Treatment	Chewiness (N)	Cohesiveness	Adhesiveness (Ns)	Springiness
Untreated 0 cycle	72.71 ± 2.24^{a}	0.72 ± 0.03^{a}	-0.05 ± 0.02^{a}	0.74 ± 0.03^{a}
Untreated 1 cycle	65.26 ± 2.94^{b}	0.68 ± 0.02^{b}	-0.07 ± 0.01^{ab}	0.72 ± 0.06^{a}
Untreated 3 cycles	56.74 ± 5.09^{c}	0.65 ± 0.01^{c}	-0.08 ± 0.02^{ab}	0.65 ± 0.02^{c}
Untreated 5 cycles	52.45 ± 6.20^{c}	0.61 ± 0.01^{d}	-0.16 ± 0.02^{b}	0.60 ± 0.01^{d}
Enzyme treated 0 cycle	58.56 ± 3.29^{bc}	0.54 ± 0.04^{f}	-0.67 ± 0.04^{d}	0.74 ± 0.04^{a}
Enzyme treated 1 cycle	40.55 ± 5.01^{d}	0.57 ± 0.00^{e}	-0.55 ± 0.11^{c}	0.71 ± 0.03^{ab}
Enzyme treated 3 cycles	34.62 ± 3.64^{de}	0.56 ± 0.03^{ef}	-0.60 ± 0.10^{cd}	0.68 ± 0.01^{bc}
Enzyme treated 5 cycles	30.65 ± 4.10^{e}	0.55 ± 0.04^{ef}	-0.63 ± 0.11^{cd}	0.67 ± 0.01^{c}

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันคือต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อนำเนื้อสุกรที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งมาแช่ในสารละลายเอนไซม์ปาเปนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และเปรียบเทียบกับตัวอย่างซึ่งนำไปแช่สารละลายเอนไซม์โดยไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง พบว่า ค่า Shear force ของตัวอย่างไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) อย่างไรก็ตาม พบว่า ค่า Hardness และ Chewiness ของตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและ

ละลายน้ำแข็งแล้วจึงแช่เอนไซม์มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งก่อนแช่เอนไซม์ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่า การแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งก่อนนำตัวอย่างไปแช่เอนไซม์สามารถช่วยให้ตัวอย่างเนื้อสุกรมีความนุ่มเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังพบว่าการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งแล้วจึงแช่เอนไซม์ไม่ได้ไปเพิ่มค่า Adhesiveness ของตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าลักษณะภายนอกของตัวอย่างไม่ได้เกิดลักษณะนิ่มเละ การแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งจำนวน 1 3 และ 5 รอบก่อนการแช่เอนไซม์ส่งผลให้เนื้อสุกรมีค่า Hardness, Cohesiveness และ Adhesiveness ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) การแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งจำนวน 3 และ 5 รอบก่อนการแช่เอนไซม์ส่งผลให้เนื้อสุกรมีค่า Chewiness ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ

การนำเนื้อสุกรมาแช่แข็งและละลายน้ำแข็งก่อนแช่ในสารละลายเอนไซม์นอกจากจะมีผลให้เนื้อสัมผัสของเนื้อสุกรมีความนุ่มเพิ่มขึ้นแล้วยังมีผลต่อสีของเนื้อหลังจากทำให้สุกด้วย จากผลการทดลองในภาพที่ 4 พบว่า การแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งส่งผลให้สีของเนื้อสุกรเปลี่ยนแปลงไป เมื่อจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้นสีของตัวอย่างยิ่งมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น ($p<0.05$) ตัวอย่างเนื้อสุกรที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) 63.77 3.57 และ13.86 ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง 5 รอบ มีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลือง 67.60 3.12 และ 14.38 ตามลำดับ การแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งก่อนแช่ในสารละลายเอนไซม์ส่งผลให้สีของเนื้อสุกรมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีความสว่างและความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีค่าความเป็นสีแดงลดลงตามจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น ($p<0.05$)



ภาพที่ 4 ผลของจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งและการใช้เอนไซม์ต่อค่าสีของเนื้อสุกร

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละค่าสังเกตอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันคือต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

วิจารณ์ผลการวิจัย

การนำเนื้อสุกรมาผ่านการแช่เยือกแข็งส่งผลให้มีการสูญเสียของเหลวบางส่วนออกมาจากตัวอย่างหลังจากการละลายน้ำแข็ง และเมื่อจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำเพิ่มขึ้นยิ่งส่งผลให้มีการสูญเสียของเหลวออกจากตัวอย่างมากยิ่งขึ้น เนื่องจากความถี่ในการหลอมละลายของผลึกน้ำแข็งในระหว่างที่ละลายน้ำแข็งและการคืนตัวของโครงสร้างผลึกของน้ำแข็งในระหว่างที่แช่แข็งหลายๆ รอบ ทำให้เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อได้รับความเสียหาย โดยการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ (Zaritzky, 2006) ส่งผลให้ตัวอย่างสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ และจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้นมีส่วนทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Ali *et al*. (2015) ได้ศึกษาผลของจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของเนื้อไก่ ซึ่งพบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังละลายน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้น การละลายซ้ำๆ ในระหว่างที่ละลายน้ำแข็งและการคืนรูปร่างของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในระหว่างที่ทำการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็งหลายๆ รอบจะไปทำให้เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อได้รับความเสียหาย โปรตีนไมโอซินสูญเสียสภาพธรรมชาติมากยิ่งขึ้นและไมโอไฟบริลซึ่งเป็นโครงสร้างของกล้ามเนื้อสัตว์นั้นไม่แข็งแรง ส่งผลให้ตัวอย่างสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ (Srinivasan *et al*., 1997, Xia *et al*., 2009) Ali *et al*. (2015) ศึกษาผลของจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็งหลายๆ รอบต่อคุณภาพของเนื้ออกไก่ พบว่า ค่าร้อยละของความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงจาก 58.8 g/100g เป็น 50.0 g/100g เมื่อจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้น โดยค่าร้อยละของความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์โดยเฉพาะไมโอซิน Kim *et al*. (2013) รายงานว่า ปริมาณความชื้นของเนื้อสุกรลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเป็นผลจากการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็ง ปริมาณความชื้นที่ลดลงสอดคล้องกับน้ำที่ไหลออกจากเนื้อ การลดลงของปริมาณความชื้นของตัวอย่างนอกจากมีสาเหตุมาจากการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งแล้ว ยังมีสาเหตุมาจากการแช่ตัวอย่างในเอนไซม์ปาเปนด้วย

การนำเนื้อสุกรแช่ในเอนไซม์ปาเปนซึ่งเป็นเอนไซม์ในกลุ่มโปรติเอสที่มีความสามารถในการย่อยโปรตีนส่งผลให้ตัวอย่างมีความสามารถในการอุ้มน้ำและความชื้นลดลง ในขณะที่การสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนมีความสามารถในการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำและกักเก็บน้ำไว้ในโมเลกุล เมื่อแช่ตัวอย่างในเอนไซม์จึงทำให้โมเลกุลของโปรตีนถูกย่อยให้เป็นเปปไทด์ที่มีขนาดเล็กลงหรือเป็นกรดอะมิโน โดยเฉพาะโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเก็บรักษาน้ำไว้ในโครงสร้างเกิดการเสียสภาพส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสุกรหลังการแช่ด้วยเอนไซม์มีค่าลดลง (Ketnawa & Rawdkuen, 2011) สอดคล้องกับ Pawar *et al*. (2007) ซึ่งได้ศึกษาผลของการแช่เนื้อแกะด้วยสารสกัดเอนไซม์จากรากขิงต่อคุณสมบัติของเนื้อ พบว่าเนื้อแกะมีค่าความชื้นลดลงหลังจากมีการใช้เอนไซม์ที่สกัดจากขิง Liu *et al*. (2011) ได้ศึกษาการใช้เอนไซม์โปรติเอสที่สกัดได้จากกีวี่เพื่อลดความเหนียวของกล้ามเนื้อส่วนสะโพกสุกรซึ่งผ่านการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็งมาแล้ว ผู้วิจัยรายงานว่าการใช้เอนไซม์จะทำให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกเพิ่มขึ้นเนื่องจากโปรตีนไมโอซินเสียสภาพ ซึ่งไมโอซินมีบทบาทหลักในการเก็บรักษาน้ำ รักษาความสมบูรณ์ของไมโอฟิบริลและไมโอซินเป็นกลไกหลักที่จะจับน้ำไว้ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อ และ Astruc (2014) รายงานว่าการทำให้เนื้อสุกด้วยความร้อนมีผลทำให้ชิ้นเนื้อหด ซึ่งเกิดจากเนื้อเยื่อเกี่ยวพันโดยร้อยละ 90 เป็นคอลลาเจน จึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำที่อยู่ระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อหรือในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 19 และเมื่อน้ำยึดเกาะกับเส้นใยกล้ามเนื้อด้วยพันธะที่ไม่แข็งแรง

จะสามารถสูญเสียน้ำได้ง่ายเมื่อเส้นใยกล้ามเนื้อหรือเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีการหดตัวส่งผลให้ค่าความชื้นทั้งหมดของเนื้อลดลง การสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกและการสูญเสียน้ำหนักรวมมีค่าเพิ่มขึ้น

การแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งก่อนนำตัวอย่างมาแช่เอนไซม์ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของตัวอย่างมีความนุ่มมากขึ้น และกระบวนการแช่เยือกแข็งเองก็ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของตัวอย่าง Xia *et al*. (2009) รายงานว่าค่า Shear force ของเนื้อสุกรจะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็ง 1 รอบ แต่เมื่อจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้นค่า Shear force จะลดลง การเพิ่มขึ้นของค่า Shear force ในรอบแรกของการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็งนั้นเกิดจากการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อไมโอไฟบริล เกิดการรวมตัวกัน ส่วนการลดลงของแรงเฉือนเมื่อจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดการสูญเสียความสมบูรณ์ในเส้นใยกล้ามเนื้อ (Mackie, 1993) ส่วนค่า Hardness Chewiness Cohesiveness และ Springiness มีค่าลดลงเมื่อจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้น (Xia *et al*., 2010; Qi *et al*., 2012) และการแช่ในสารละลายเอนไซม์ปาเปนช่วยปรับปรุงความนุ่มของตัวอย่างเนื้อสุกรได้เนื่องจากเอนไซม์ปาเปนมีความจำเพาะในการย่อยโปรตีนและมีกิจกรรมในการย่อยโปรตีนสูง (Kemp *et al*., 2010; Ha *et al*., 2012) ดังนั้นการนำวิธีการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งมาใช้ร่วมกับการใช้เอนไซม์จึงช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของตัวอย่างให้นุ่มยิ่งขึ้น

การแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งและการใช้เอนไซม์ปาเปนส่งผลให้สีของตัวอย่างเนื้อสุกรมีค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a*) ลดลงเมื่อจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากในระหว่างการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาอาจเกิดออกซิเดชันของไขมันและเม็ดสีถูกทำลาย (Dias *et al*., 1994) และเกิดการสูญเสียไมโอโกลบินออกไปกับน้ำในระหว่างการละลายน้ำแข็ง (Leygonie *et al*., 2012) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Xia *et al*. (2009) ได้ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำ 1-5 รอบ ต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อสุกร ซึ่งรายงานค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของตัวอย่างเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของตัวอย่างลดลง การเปลี่ยนแปลงของค่าสีนี้มีความสอดคล้องกับการเกิดออกซิเดชันของไขมันและโปรตีนที่เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลจากการแช่ในเอนไซม์ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Buyukyavuz (2014) ที่ได้ทำการศึกษาผลของเอนไซม์โบรมีเลนต่อความนุ่มของเนื้อหน้าอกเป็ด รายงานว่าค่า L* และ b* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและค่า a* มีค่าลดลง ในตัวอย่างที่มีการใช้เอนไซม์โบรมีเลนในเนื้อเป็ดสุก ซึ่งค่าความเป็นสีแดงของเนื้อสัตว์นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณไมโอโกลบินที่กระจายอยู่บริเวณพื้นผิวของชิ้นเนื้อ ซึ่งเมื่อผ่านการแช่ในสารละลายเอนไซม์ทำให้เอนไซม์ย่อยโปรตีนภายในเนื้อและมีโครงสร้างการยึดเกาะที่ไม่แน่นเช่นเดิม จึงทำให้สูญเสียไมโอโกลบินออกจากโครงสร้างบางส่วนส่งผลให้ความเป็นสีแดงจึงมีค่าลดลง

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของการแช่เยือกแข็ง และละลายน้ำแข็งก่อนการนำตัวอย่างมาแช่ในสารละลายเอนไซม์ปาเปนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างเนื้อสุกรที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งก่อนนำมาแช่ในสารละลายเอนไซม์ปาเปนสามารถทำให้เนื้อสุกรมีความนุ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับเนื้อสุกรที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งก่อนนำมาแช่ในเอนไซม์ และยังมีข้อดีคือไม่เพิ่มค่า Adhesiveness ของเนื้อสุกร นอกจากนี้ยังพบว่าจำนวนรอบในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งก่อนการนำเนื้อสุกรมาแช่เอนไซม์มีผลต่อคุณภาพของเนื้อ โดยการใช้กระบวนการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง

3 รอบร่วมกับการใช้เอนไซม์ปาเปนร้อยละ 0.5 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงความนุ่มของเนื้อสุกร และยังส่งผลให้เนื้อสุกรมีค่าสี ความชื้น การสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกและการสูญเสียน้ำหนักรวมใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากกว่าการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง 5 รอบร่วมกับการใช้เอนไซม์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Abdel-Naeem, H.H., & Mohanmed, H.M. (2016). Improving the physico-chemical and sensory characteristics of camel burger patties using ginger extract and papain. *Meat Science*, *118,* 52-60.

Ali, S., Zhang, W., Rajput, N., Khan, M. A., Li, C.B., & Zhou, G.H., (2015). Effect of multiple freeze-thaw cycles on the quality of chicken breast meat. *Food Chemistry*, *173*, 808-814.

AOAC. (1990). *Official Method of Analysis*. (15th). Virginia: The Association of Official Analysis Chemical Chemists.

Aroeira, C.N., Filho, R.A.T, Fontes, P.R., Gomide, L.A.M., Ramos, A.L.S., Ladeira, M.M., & Ramos, E.M. (2016). Freezing, thawing and aging effects on beef tenderness from *Bos indicus* and *Bos Taurus* cattle. *Meat Science*, *166*, 118-125.

Astruc, T. (2014). Muscle structure and digestive enzyme bioaccessibility to intracellular compartments. In M. Boland, M. Golding & H. Singh. (Eds.), *Food Structures, Digestion and Health.* (pp. 193-222). San Diego: Academic Press.

Buyukyavuz, A. (2014). *Effect of Bromelain on Duck Breast Meat Tenderization*. Retrieved April 20, 2019, from https://tigerprints.clemson.edu/all_theses/1929.

Dias, J., Nunes, M.L., & Mendes, R. (1994). Effect of frozen storage on the chemical and physical properties of black and silver scabbard fish. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *66*, 327–335.

Gokoglu, N., Yerlikaya, P., Ucak, I., & Yatmaz, H.A. (2016). Effect of bromelain and papain enzymes addition on physicochemical and textural properties of squid (*Loligo vulgaris*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, *11*(1), 347-353.

Ha, M., Bekhit, A.E.-D.A., Carne, A., & Hopkins, D.L. (2012). Characterisation of commercial papain, bromelain, actinidin and zingibain protease preparations and their activities toward meat proteins. *Food Chemistry*, *134*(1), 95-105.

Huidobro, F.R.D., Miguel, E., Blázquez, B., & Onega, E. (2005). A comparison between two methods (Warner–Bratzler and Texture Profile Analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science*, *69*(3), 527-536.

Kemp, C.M., Sensky,P.L., Bardsley, R.G., Buttery, P.J., & Parr, T. (2010). Tenderness – an enzymatic view. *Meat Science*, *84*(2), 248-256.

Ketnawa, S., & Rawdkuen, S. (2011). Application of bromelain extract for muscle foods tenderization. *Food and Nutrition Sciences*, *2*, 393-401.

Kim, G.D., Jung, E.Y., Lim, H.Y., Yang, H.S., Joo, S.T., & Jeong, J.Y. (2013). Influence of meat exudates on the quality characteristics of fresh and freeze-thawed pork. *Meat Science*, *95*, 323-329.

Leygonie, C., Britz, T.J., & Hoffman, L.C. (2012). Impact of freezing and thawing on the quality of meat : Review. *Meat Science*, *91,* 93-98.

Liu, C., Xiong, Y.L., & Rentfrow, G.K. (2011). Kiwifruit protease extract injection reduces toughness of pork loin muscle induced by freeze-thaw abuse. *LWT- Food Science and Technology*, *44*, 2026-2031.

Mackie, I.M. (1993). The effects of freezing on flesh protein. *Food Reviews International*, *9*, 575-700.

National statistics office Thailand. (2018). *Report on the 2017 survey of the older persons in Thailand*. Bangkok: National statistics office Thailand, Ministry of digital economy and society. (in Thai)

Nontaloon, K, & Sirijariyawat, A. (2018). Effect of type and concentration of enzyme on meat tenderness. *Khon Kaen Agriculture Journal*, *46*(Supplement 1), 100-105. (in Thai)

Pawar, V.D., Mule, B.D., & Machewad, G.M. (2007). Effect of marination with ginger rhizome extract on properties of raw and cooked chevon. *Journal of Muscle Foods*, *18*(4), 349-369.

Purslow, P., Oiseth, S., Hughes, J., & Warner, R. (2016). The structural basis of cooking loss in beef: variations with temperature and ageing. *Food Research International*, *89*, 739-748.

Qi, J., Li, C., Chen, Y., Gao, F., Xu, X., & Zhou, G. (2012). Changes in meat quality of ovine *longissimus dorsi* muscle in response to repeated freeze and thaw. *Meat Science*, *92*(4), 619-626.

Rawdkuen, S., Jaimakreu, M., & Benjakul, S. (2013). Physicochemical properties and tenderness of meat samples using proteolytic extract from *Calotropis Procera* Latex. *Food Chemistry*, *136*(2), 909-916.

Srinivasan, S., Xiong, Y.L., Blanchard, S.P., & Tidwell, J.H. (1997). Physicochemical changes in prawns (*Machrobrachium rosenbergii*) subjected to multiple freeze – thaw cycles. *Journal of Food Science*, *62*, 123-127.

Sullivan, G.A., & Calkins, C.R. (2010). Application of exogenous enzymes to beef muscle of high and low-connective tissue. *Meat Science*, *85*, 730-734.

Wardlaw, F., McCaskill, L., & Acton, J. (1973). Effect of postmortem muscle changes on poultry meat loaf properties. *Journal of Food Science*, *38*(3), 421-423.

Xia, X., Kong, B., Liu, Q., & Liu, J. (2009). Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze–thaw cycles. *Meat Science*, *83*, 239-243.

Xia, X., Kong, B., Xiong, Y., & Ren, Y. (2010). Decreased gelling and emulsifying properties of myofibrillar protein from repeatedly frozen-thawed porcine longissimus muscle are due to protein denaturation and susceptibility to aggregation. *Meat Science*, *85*, 481-486.

Zaritzky, N. (2006). Physical-chemical principles in freezing. In D.W. Sun. (Eds.), *Handbook of Frozen Food Processing and Packaging.* (pp.4-31). Boca Roton: CRC Press.