#17127

เวลาและคุณภาพเนื้อสุกรแช่แข็งด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัส

Freezing time and quality of frozen pork by contact plate freezing

โดย

นงลักษณ์ สุทธิวนิช
ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก
สุกัญญา จันทะชุม
ประภาศรี พิชิตวรพานิช

2529

สงข.
เลขหมู่ TP393.5 น๙น ๒๕๒๙ ส
เลขทะเบียน 010535
วัน เดือน ปี 3 ต.ค. 2529

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร
คณะทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่

บทคัดย่อ

การประมาณระยะเวลาการแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัสจากชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเนื้อสุกร โดยใช้สูตรที่ดัดแปลงจากสมการของแพลงค์ได้ผลดีเมื่อทดลองปฏิบัติกับเนื้อสุกรส่วนขาหน้า ขาหลัง และเนื้อสันนอก แต่ไม่ได้รับผลดีในส่วนเนื้อสามชั้น ผลการตรวจสอบคุณภาพหลังการแช่เยือกแข็งพบว่า ระยะเวลาในการเก็บมีผลต่อความชื้น การสูญเสียน้ำ ค่าเพอร์ออกไซด์ กรดไทโอบาร์บิทิวริค กรดไขมันอิสระ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และ Staphlococcus spp. และการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส ชนิดของชิ้นส่วนเนื้อมีผลต่อการสูญเสียน้ำ ค่าแสดงความหืนที่ตรวจโดยวิธีทางเคมี และคุณภาพในการบริโภค

Freezing time was calculated from modified Plank's equation compared to practical experimented data. Results from the studies showed that they were a small variation among picnic, ham, and loin excepted of bacon. Keeping quality in term of moisture content, drip loss POV, TBA, FFA, TVC, Staphylococcus spp. and flavor showed that there were affected by thefrozen storage time. Differences among the portion of meat were influencedon drip loss, chemical test for rancidity and eating quality.

เวลาและคุณภาพเนื้อสุกรแช่แข็งด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัส

Freezing time and quality of frozen pork by contact plate freezing

คำนำ

การถนอมความสดของเนื้อสัตว์ที่เน่าเสียได้ง่าย เช่น เนื้อสุกรนั้นสิ่งสำคัญที่ผู้ผลิตจะต้องพิจารณา คือ ทำอย่างไรจึงจะให้วัตถุดิบเหล่านี้ถึงมือผู้บริโภคอย่างเหมาะสมโดยไม่เสื่อมคุณภาพ การแช่แข็งเนื้อสัตว์ทวีความสำคัญมากยิ่งขึ้นในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากสามารถชลอความเสื่อมเสียอันเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์และจุลินทรีย์แล้ว ยังช่วยพัฒนาอุตสาหกรรมการเลี้ยงสุกรในประเทศอีกทางหนึ่ง โดยทั่วไป การส่งออกสุกรเพื่อส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศในรูปสัตว์เป็นนั้น เป็นวิธีที่ไม่ถูกหลักเศรษฐกิจ การจัดทำโรงฆ่าสัตว์ที่ถูกสุขลักษณะภายใต้การควบคุมของสัตวแพทย์ และจัดให้มีการแช่เยือกแข็ง (freezing) หรือแช่เย็น (chilling) ทั้งในรูปซากและชิ้นส่วนต่าง ๆ โดยใช้เทคโนโลยีทางอุตสาหกรรมอาหาร จะช่วยให้มีเนื้อสัตว์พอเพียงกับความต้องการของตลาดอย่างสม่ำเสมอตลอดปี เป็นการควบคุมราคาและปริมาณวัตถุดิบเพื่อป้อนโรงงานแปรรูป รวมทั้งสามารถส่งวัตถุดิบให้ผู้บริโภคที่อยู่ห่างไกล หรือเพื่อส่งออกจำหน่ายในต่างประเทศ

จากการที่ประเทศไทยสามารถส่งไก่แช่เยือกแข็งออกจำหน่ายในตลาดญี่ปุ่น และตะวันออกกลางอย่างได้ผลดียิ่ง จึงน่าที่จะพิจารณาเนื้อสัตว์ชนิดอื่น เช่น เนื้อสุกรแช่เยือกแข็งในรูปก้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดน้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัม โดยใช้เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัส (contact plate freezer) ซึ่งสามารถทำให้อาหารแข็งตัวได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม การแช่เยือกแข็งเนื้อสุกรเพื่อการค้านั้น จำเป็นที่ผู้ประกอบการจะต้องทราบว่า ควรใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งนานเพียงใด ถ้าเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งไม่พอเพียง เมื่อนำชิ้นเนื้อเข้าเก็บในห้องเย็น (cold store) ภายในก้อนเนื้อเหล่านั้นจะยังแข็งตัวไม่สม่ำเสมอทั้งก้อน เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายหลายประการ เช่น เกิดปัญหาทางจุลินทรีย์ขณะคายความเย็น (thawing) หรือทำให้ชิ้นเนื้อมีน้ำละลายออกมากขณะเก็บ ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งนานเกินไป ย่อมเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายของผู้ผลิต จากแนวคิดนี้จึงได้ให้ความสนใจศึกษาการประมาณระยะเวลาการแช่

เยือกแข็ง การคำนวณสูตรเวลาในการแช่เยือกแข็งทางทฤษฎีเพื่อช่วยให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่าง physical parameter และเวลาการแช่เยือกแข็งทางการค้า การใช้สูตรดังกล่าวอาจมีข้อผิดพลาดหากไม่ได้ทำการทดสอบหาข้อบกพร่อง การวิจัยครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อให้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการแช่เยือกแข็งเนื้อสุกร และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเย็นเพื่อการศึกษาคุณภาพและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

การตรวจเอกสาร

อัตราการแข็งตัวของอาหารแช่เยือกแข็ง เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดอย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของอาหาร (Bakal, 1970) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องประมาณค่าเวลาในการแช่เยือกแข็งของวัตถุดิบนั้น ๆ เพื่อสะดวกในการจัดการ สูตรการคำนวณหาระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งของอาหารทางทฤษฎีนั้น สามารถนำมาใช้ได้ทั้งในการแช่เยือกแข็งและการคายความเย็น (Brennan และคณะ, 1969) การหาระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งโดยใช้สูตรที่ดัดแปลงจากแพลงค์ (Plank s equation) นั้นเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย (Slavin, 1964) เนื่องจากมีความง่ายไม่ซับซ้อน สูตรนี้ได้มาจากการแก้สมการความสมดุลย์ของความร้อนจากสมมุติฐานที่ว่า

- ตัวอย่างมีจุดเริ่มต้นที่จุดแข็งตัวของอาหารนั้น ๆ
- การถ่ายเทความร้อนจากเครื่องทำความเย็นเข้าสู่ตัวอย่างเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ
- สูตรดังกล่าวอยู่ในรูป $ft = \frac{L\rho}{(Ts - Ta)} \left(\frac{PD}{h} + \frac{R' D^2}{K_1}\right)$

อย่างไรก็ตามสูตรของแพลงค์นั้นไม่สามารถใช้กับอาหารที่มีรูปร่างเป็นแท่ง หรือก้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า Slavin (1964) จึงได้ดัดแปลงเพื่อให้การประมาณเวลาในการแช่เยือกแข็งให้แม่นยำขึ้น Earle และ Fleming (1967) สนับสนุนการใช้สูตรที่ได้รับการดัดแปลงนี้ว่าให้ค่าที่แม่นยำพอใช้เมื่อนำมาใช้ในการคำนวณระยะเวลาแช่เยือกแข็งซากแกะ จากผลการทดลองของ Cleland และ Earle (1977) พบว่าการใช้สูตรที่ดัดแปลงจากสมการของแพลงค์นั้น มีความแม่นยำและใช้ได้ดีเท่ากับวิธี Finite differences ซึ่งเป็นวิธีการทางตัวเลข (numerical method) ที่ยุ่งยากต้องอาศัยการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง

ปัจจุบันวงการอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ นิยมการชำแหละกระดูกออกจากซากสัตว์ขณะที่ยังไม่คายความร้อน (hot-boning) ไม่จำเป็นต้องให้ซากเย็นก่อนที่จะนำไปแช่เยือกแข็ง วิธีการเช่นนี้นอกจากจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายแล้วยังช่วยให้ผลผลิตและคุณภาพของเนื้อสัตว์ดีขึ้น (Schmidt และ Gilbert, 1970 Anon, 1980, 1983) โดยพบความแตกต่างกันของคุณภาพระหว่างวิธีการนี้กับวิธีการแบบเดิมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Wynne, 1980) อย่างไรก็ตาม เนื้อสัตว์หลังการตัดแต่งควรแช่เยือกแข็งทันทีในรูปก้อน (block) เพื่อลดการสูญเสียน้ำหนักเมื่อนำมาคายความเย็น

เครื่องแช่เยือกแข็งที่นิยมใช้กับเนื้อสัตว์ที่ผ่านการชำแหละเอากระดูกออกแล้ว และเครื่องในได้แก่ เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัส ซึ่งมีแผ่นให้ความเย็นสัมผัสกับกล่องบรรจุวัตถุดิบทำให้สามารถกระทบความเย็นโดยตรง จึงใช้เวลาสั้นกว่าการแช่เยือกแข็งประเภทที่ใช้อากาศเย็น (air blast freezing) เนื่องจากมีระบบการถ่ายเทความร้อนได้รวดเร็ว ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมเวลาในการแช่เยือกแข็ง เนื้อสัตว์ที่มีความหนา 4 นิ้ว บรรจุกล่องโลหะสามารถแข็งตัวภายในเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อแช่เยือกแข็งโดยใช้เพลทสัมผัสเปรียบเทียบกับเนื้อบรรจุกล่องขนาดเดียวกัน ซึ่งต้องใช้เวลานานถึง 20 ชั่วโมง เมื่อแช่เยือกแข็งในเครื่องที่ใช้อากาศเย็น การแช่เยือกแข็งวิธีนี้เหมาะสมเฉพาะเนื้อที่มีความหนาสม่ำเสมอเท่านั้น (Bendal, 1960)

ในประเทศสหรัฐอเมริกา ผู้บรรจุ (meat packer) ทำหน้าที่ตัดแต่งชิ้นส่วนเนื้อสุกรภายในระยะเวลา 2-3 วันหลังสัตว์ถูกฆ่า โดยตัดแต่งเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ เช่น เนื้อขาหน้า (picnic) เนื้อขาหลัง (ham) เนื้อสามชั้น (bacon) และชิ้นส่วนอื่น ๆ เช่น เนื้อสันนอก (loin) เนื้อสันใน (tender loin) เครื่องแช่เยือกแข็ง อาจใช้ทั้ง 2 ระบบคือแบบเพลทสัมผัสหรืออากาศเย็น หลังจากแข็งตัวแล้วนำมาเก็บที่อุณหภูมิ -18 °ซ ส่วนโรงงานที่ตั้งขึ้นใหม่นิยมเก็บเนื้อสุกรที่อุณหภูมิต่ำกว่านั้นคือที่อุณหภูมิ -23 °ซ (Sulzbacher, 1974) จากข้อกำหนดของประเทศในตลาดร่วมยุโรป (EEC) เนื้อสุกรหลังการแช่เยือกแข็งจะต้องเก็บที่อุณหภูมิ -20 °ซ (Bailey และคณะ, 1972)

สำหรับภาชนะบรรจุเนื้อสัตว์ขณะแช่เยือกแข็งนั้น การใช้กล่องกระดาษ หรือกล่องผสมเส้นใยทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนลดน้อยลงและอาจเกิดการบวม (swell) ของชิ้นเนื้อระหว่างการแข็งตัว ทำให้กล่องขยายตัวและแตกได้ ดังนั้นจึงนิยมบรรจุเนื้อสัตว์ในกล่องสังกะสี

(Fleming, 1974) ส่วนการเก็บเนื้อแช่เยือกแข็งระยะเวลาสั้นไม่เกิน 30-45 วัน การใช้ภาชนะบรรจุที่ไม่แข็งแรงนัก เช่น กล่องกระดาษและกล่องกระดาษอาบไขอาจพอใช้แทนกันได้ (Sulzbacher, 1974) ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นอีกประการหนึ่งขณะเก็บเนื้อที่แข็งตัวแล้ว คือความหืนซึ่งมีผลจากการออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยการห่อหรือใส่ในภาชนะปิดเพื่อป้องกันการสัมผัสกับอากาศและป้องกันการสูญเสียน้ำ ห้องเย็นเก็บเนื้อสัตว์ขนาดใหญ่ในประเทศสหรัฐอเมริกา นิยมห่อก้อนเนื้อด้วยโพลีเอธิลีนแทนการเคลือบด้วยน้ำซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่นิยมใช้แล้วในปัจจุบัน (Sulzbacher และ Gaddis, 1968) ความหนาแน่นของอาหารในสภาพแข็งตัวจะต่ำกว่าในอาหารสด Tien และ Koump (1969) รายงานว่า สูตรที่ให้มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นนั้นน่าจะนำมาใช้ได้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากมีการวัดการเคลื่อนไหวของน้ำในอาหารขณะแข็งตัว อย่างไรก็ตามอาจจะประมาณได้ว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอาหารขณะแข็งตัว

เนื้อเยื่อหลังจากสัตว์ตายมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เห็นได้ชัดคือ การลดลงของ pH และคุณสมบัติในการอุ้มน้ำลดลง Lawrie,(1953), Marsh,(1954) Hamm, (1959) Wismer-Pederson, (1959a) pH ของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ หลังถูกฆ่าเป็นระยะเวลา 45 นาที ที่เรียกว่า pH เริ่มต้น (initial pH) นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่า pH หลังถูกฆ่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่เรียกว่า pH สุดท้าย (ultimate pH) ซึ่งผ่านกระบวนการไกลโคลิซีสแล้ว จะมีค่าระหว่าง 5.3-6.3 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่า pH เริ่มต้น (Callow,1938) Lundstrom (1984) รายงานเพิ่มเติมว่า pH ของเนื้อสันลดลงช้ากว่าเนื้อส่วนขา และ pH จากเนื้อส่วนอื่นมีค่าใกล้เคียงกัน และยังชี้ให้เห็นว่าการลดลงของ pH ขึ้นอยู่กับอัตราไกลโคลิซีสภายในชิ้นเนื้อ

เนื้อสุกรที่มีค่า pH เริ่มต้นต่ำกว่าปกติ (4.78-5.10) มีสีซีด เนื้อนุ่มและน้ำมาก (Pale softexudative, PSE) การที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากการแตกตัวอย่างรวดเร็วของ ATP (Lawrie และคณะ 1958 Briskey, 1959a) pH เริ่มต้นต่ำมีผลต่อการเกิด PSE มากกว่าค่า pH สุดท้าย (Briskey, 1959a) การลดลงของ pH ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง configuration ของโปรตีนในกล้ามเนื้อทำให้ความเข้มของสีและความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงด้วย (Wismer-Pederson และ Briskey, 1961)

เนื้อสุกรสูญเสียน้ำเนื่องจากน้ำที่หยดออกจากเนื้อ (drip) หลังการแช่เยือกแข็งแล้วนำมาคายความเย็น มีความสัมพันธ์โดยตรงกับระยะเวลาเก็บ (Awad และคณะ, 1968 Penney ,1974) โดยทั่วไปการสูญเสียน้ำในเนื้อสุกรอยู่ในช่วง 1-14 % การลดลงของ pH หลังสัตว์ตายทำให้โครงสร้างไมโอไฟบริลลาโปรตีนเปลี่ยนแปลงทำให้เนื้อสูญเสียน้ำ (Warris, 1982 Honikel และ Reagan, 1986) เนื้อที่เอากระดูกออกทันทีขณะซากยังร้อนนำเข้าแช่เย็นก่อนการเกร็งตัว จะทำให้การสูญเสียน้ำมากขึ้นหลังการคายความเย็น อย่างไรก็ตามการให้ความเย็นอย่างรวดเร็วจะช่วยลดการสูญเสียนี้ได้ (Honikel และ Reagan, 1986) และการสูญเสียน้ำจะลดลงได้มากถ้าคายความเย็นชิ้นเนื้อที่อุณหภูมิ -3 °ซ (Penney, 1974) การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันในอาหารที่เก็บรักษาในสภาพเย็น คือการเกิดออกซิเดชันและไฮโดรลิซีส การหืนในเนื้อที่เก็บรักษาหลังการแช่เยือกแข็งเกิดจากการสะสมของสารประกอบคาร์โบนิล ที่เกิดระหว่างการออกซิเดชันของไขมันภายในกล้ามเนื้อ (Awad และคณะ, 1968 Lea, 1962, การไฮโดรไลซ์ของเอนไซม์ในไขมันทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ (FFA) ในเนื้อสัตว์ (Awad, และคณะ 1968 ระหว่างการเก็บเนื้อแช่เยือกแข็ง FFA จะถูกออกซิไดซ์ในสภาพที่มีออกซิเจน เกิดอัลดีไฮด์ที่ระเหยได้คีโตนและกรด องค์ประกอบเหล่านี้ทำให้เนื้อมีกลิ่นหืน (Banks และ Hardy, 1965 Lea, 1962) ซึ่งสามารถตรวจได้โดยการหาค่าเพอร์ออกไซด์ (POV) และค่ากรดไทโอบาร์บิวทิริด (TBA) (Lea,1962) Turner และคณะ(1954) รายงานว่า ค่า TBA สามารถใช้เป็นตัวชี้บ่งที่ดีกว่าค่า POV ในเนื้อสุกรแช่แข็ง ทั้งนี้เนื่องจากค่า POV จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก แต่หลังจากเก็บเป็นเวลานาน (25 สัปดาห์ในเนื้อโค) ค่า POV จะลดลงเนื่องจากการแตกตัวของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เป็นสารประกอบคาร์โบนิล (Ramsbottom, 1947) อย่างไรก็ตามการวัดความหืนด้วยวิธีทั้ง 2 นั้นก็ยังเป็นสิ่งที่ควรกระทำเพื่อความแม่นยำ (Turner และคณะ 1954) สำหรับอุณหภูมิขณะเก็บรักษานั้นจัดว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่ออัตราการหืน (Banks และ Hardy, 1965) การใช้อุณหภูมิต่ำที่ -37 °ซ ไม่พบการลดลงของปริมาณ FFA ในเนื้อสุกร Ramsbottom (1947) รายงานว่าทั้งค่า FFA และค่า POV ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดในเนื้อสุกรเก็บที่อุณหภูมิ -29 °ซ ตลอดระยะเวลา 1 ปีแต่เมื่อลดอุณหภูมิลงที่ -18 °ซ หรือสูงกว่านี้ทั้งค่า FFA และค่า POV จะสูงขึ้น เช่นเดียวกับค่า TBA ของเนื้อหมูซึ่งเกิดการหืนเร็วมาก (TBA=6) เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 5 °ซ (Keskinel และคณะ 1964) Miller และคณะ (1980) สรุปว่าค่า TBA ของเนื้อสัตว์

แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 °ซ สูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บ การเพิ่มสูงขึ้นนี้เกิดจากความเข้มข้นของเม็ดสีในเนื้อที่มีธาตุเหล็กที่อาจทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการเกิดหืน

โดยทั่วไปการแช่เยือกแข็งเนื้อสัตว์ทำให้ปริมาณบักเตรีลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยไม่เกี่ยวข้องกับวิธีการแช่เยือกแข็ง Borgstorm (1955) ชี้ให้เห็นว่าจุลินทรีย์ถูกทำลายอย่างรวดเร็ว ที่อุณหภูมิระหว่าง -1 ถึง -5 °ซ มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ เช่น ที่ -15 หรือ -24 °ซ การแช่เยือกแข็งและเก็บที่อุณหภูมิ -20 °ซ ทำให้ปริมาณ Staphylococci ลดลงด้วย การที่ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นจนถึงขั้นที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ อาจเกิดจากการติดเชื้อซึ่งเพิ่มขึ้นมากในโรงงานที่การควบคุมสุขลักษณะไม่ได้มาตรฐาน Carpenter และคณะ(1973) รายงานว่า Salmonella spp. ที่พบมากในเนื้อสุกรได้แก่ S.derby, S.anatum และS.typhimurium ตามลำดับ Sulzbacher (1974) สรุปว่า จุลินทรีย์ทุกชนิดในตัวอย่างสุกรแช่เยือกแข็งลดลงเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ -20 °ซ ส่วนของเหลวที่แยกตัวออกจากเนื้อสัตว์ขณะคายความเย็นช่วยเร่งการเจริญของ Salmonella และที่อุณหภูมิต่ำ จุลินทรีย์พวกที่ทนความเย็นสามารถเจริญได้ดี การเจริญของบักเตรีในเนื้อสัตว์แช่เยือกแข็งจะต่ำถ้าเนื้อมีความเป็นกรดมากกว่าในสภาพเป็นกลาง Salmonella ในเนื้อบดแช่เยือกแข็งเก็บที่อุณหภูมิ -20 °ซ เวลา 21 วัน มีปริมาณแตกต่างจาก 0.12 % เป็น 20 % เมื่อ pH ของเนื้ออยู่ที่ 4.5 และ 7.5 ตามลำดับ (Georgala และ Hurst, 1963)

เนื้อสุกรสามารถนำโรคทริคิโนซีส (Trichinosis) ซึ่งเกิดจากพยาธิ Trichinella spiralis มาสู่ผู้บริโภคได้ ผู้จำหน่ายเนื้อสุกรควรจะช่วยทำลายพยาธิชนิดนี้ก่อนที่จะนำออกจำหน่ายโดยผ่านการแช่เยือกแข็ง Murrel (1985) ชี้ให้เห็นว่าถ้าผู้ผลิตสามารถกำจัด Trichinella spiralis ให้หมดไปได้ ผู้ผลิตเนื้อสุกรแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาจะมีรายได้เพิ่มขึ้นถึงปีละ 440 ล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา ทั้งนี้เนื่องจากสามารถลดค่าใช้จ่ายในการป้องกันต่าง ๆ รวมทั้งจะมีผู้บริโภคเนื้อสุกรเพิ่มมากขึ้น กระทรวงเกษตรแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (USDA Leaflet ที่ 428) แนะนำผู้บริโภคให้หลีกเลี่ยงภัยจากการบริโภคเนื้อสุกรที่มีพยาธิชนิดนี้อยู่ด้วย โดยเก็บเนื้อสุกรที่มีความหนาต่ำกว่า 6 นิ้ว ที่อุณหภูมิ -15 °ซ เป็นเวลา 20 วัน หรือ -23 °ซ เป็นเวลา 10 วัน หรือ -30 °ซ เป็นเวลา 6 วัน หรือ ให้ความร้อนเนื้อสุกรอย่างต่ำที่อุณหภูมิ 77 °ซ ก่อนการบริโภค

สำหรับเนื้อสุกรบดบรรจุในถุงเก็บที่อุณหภูมิ -17.8 °ซ เป็นเวลา 6-10 วันจะปลอดภัยจาก Trichinae (Zimmermann และคณะ 1985)

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อศึกษาการประมาณระยะเวลาการแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัส ในชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเนื้อสุกร

2. ศึกษาคุณภาพเนื้อสุกร ภายหลังการแข็งตัวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 °ซ

สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วิทยาเขตหาดใหญ่

ระยะเวลาทำการทดลอง

มกราคม 2528 - เมษายน 2529

วิธีดำเนินการทดลอง

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1.1 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัส model CA J7-422 No. 063

1.2 เครื่องแช่เย็น ปรับอุณหภูมิที่ -20 °ซ (±2 °ซ)

1.3 เครื่องหาไขมันและความหืน

1.4 เครื่องวัด pH

1.5 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) model ATP No.209 8M (Type CTD)

1.6 เครื่องปิดถุงในสภาพปราศจากอากาศ model 18 VB 220

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 ศึกษาระยะเวลาการแช่แข็ง โดยเปรียบเทียบกับการคำนวณในการทำนายเวลาการแข็งตัวของอาหารจาก Modified Plank s Equation (Slavin, 1964)

2.1.1 เนื้อสุกรจากฟาร์มคณะทรัพยากรธรรมชาติ พันธุ์ LR x Lw จำนวน 6 ตัว ชำแหละชากตัดแต่งชิ้นเนื้อจากส่วนขาหน้า ขาหลัง สันนอก และสามชั้น บรรจุกล่องสังกะสี ขนาด 5.5 x 7 x 2.5 นิ้ว ความหนาของกล่องสังกะสี 5 มม.

2.1.2 แช่เยือกแข็งเนื้อสุกรในเครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัส ปรับอุณหภูมิที่ -30 °ซ บันทึกอุณหภูมิด้วยเครื่อง thermocouple โดยเสียบเข้ากึ่งกลางชิ้นเนื้อ ภายในกล่องสังกะสี เพื่อบันทึกอุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อเริ่มบันทึกอุณหภูมิที่ 0 °ซ และสิ้นสุดการทดลองเมื่ออุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นเนื้อลดลงถึง -30 °ซ

2.1.3 เมื่อการแช่เยือกแข็งสิ้นสุดแล้ว นำเนื้อสุกรออกจากกล่องสังกะสี บรรจุในถุงโพลีเอธิลินที่ใช้เป็นวัสดุบรรจุเบื้องต้น หนา 0.037 มม. ในสภาพปราศจากอากาศ บรรจุลงในกล่องกระดาษแข็ง ความหนาของกระดาษ 1 มม. เก็บที่อุณหภูมิ -20 °ซ (±2) °ซ นำตัวอย่างมาตรวจสอบทุก ๆ 2 สัปดาห์ จนสิ้นสุดการทดลองที่ 12 สัปดาห์

2.1.4 คำนวณค่าใช้จ่ายการใช้เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัส

2.2 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของเนื้อสุกรสดและเนื้อสุกรหลังการแช่เยือกแข็งที่เก็บไว้ในระยะเวลาต่างกัน

2.2.1 ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี (AOAC, 1975)

ความชื้น

โปรตีน

ไขมัน

เถ้า

2.2.2 ตรวจสอบ pH เริ่มต้น และ pH สุดท้ายของเนื้อสุกร (เก็บที่ 4 °ซ) และตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของ pH หลังการแช่เยือกแข็งทุก ๆ 2 สัปดาห์

2.2.3 ตรวจสอบการสูญเสียน้ำ หลังการแช่เยือกแข็ง โดยนำตัวอย่างจากห้องเก็บ คายความเย็นที่อุณหภูมิ 4-5 °ซ เวลา 12 ชั่วโมง ก่อนการตรวจสอบ

2.3 ตรวจสอบความหืนของเนื้อสุกรแช่เยือกแข็ง โดยตรวจหา

ค่า TBA (Watts ,1962)

ค่า POV (AOAC, 1975)

ค่า FFA (AOAC, 1975)

2.4 ตรวจสอบทางจุลินทรีย์ เปรียบเทียบตัวอย่างเนื้อสุกร (พันธุ์ LR x LW) จากฟาร์มและจากโรงฆ่าสัตว์ในอำเภอหาดใหญ่ โดยตรวจหา

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TVC)

Salmonella

Staphylococcus spp.

โดยวิธีของ Speck (1976)

2.5 ตรวจสอบพยาธิ Trichinella spiralis (Schitler, 1965)

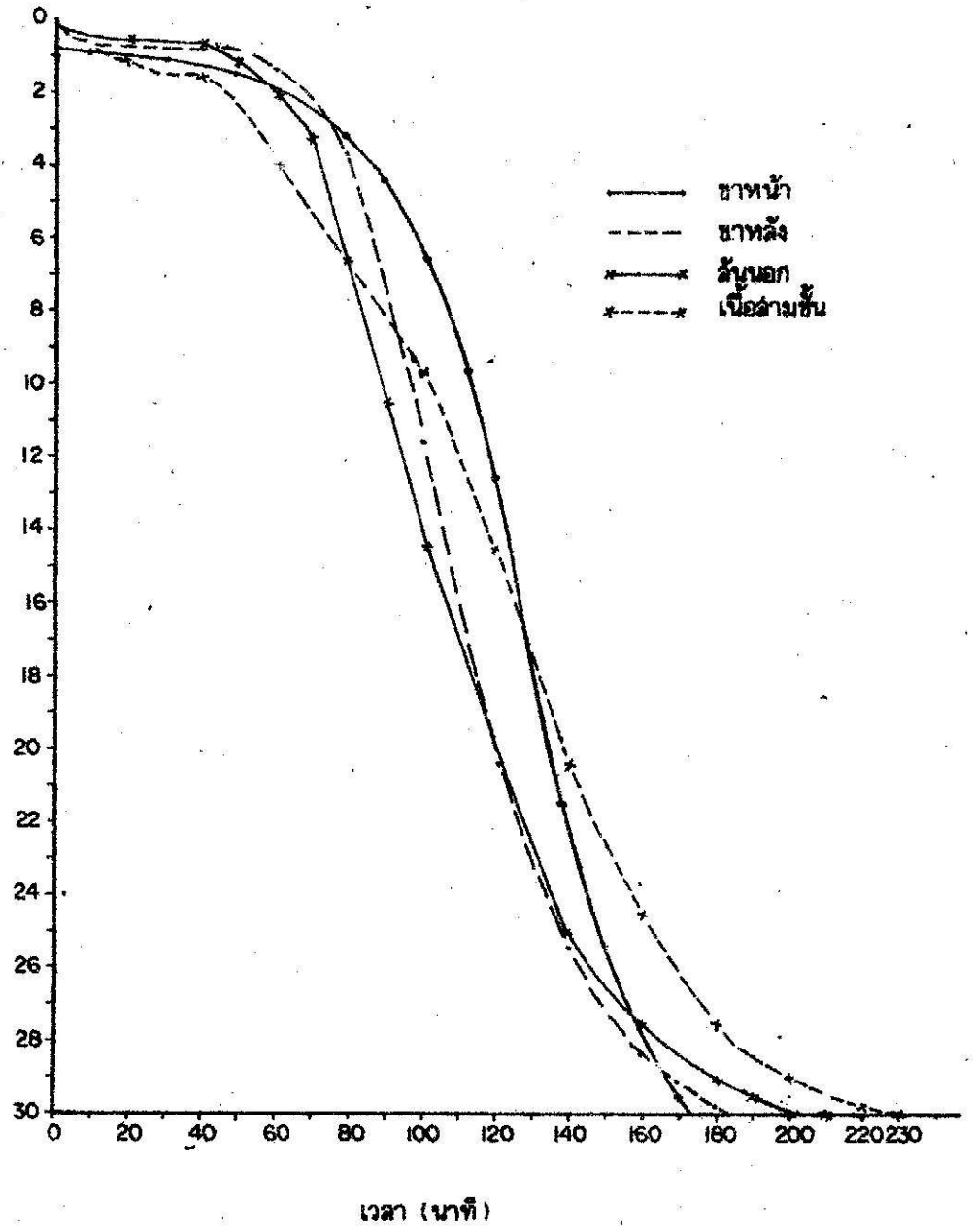
2.6 ศึกษาคุณภาพของเนื้อภายหลังการเก็บในสภาพแข็งตัวระยะเวลาต่าง ๆ กัน โดยใช้ประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) โดยทดสอบเกี่ยวกับ กลิ่นรส ความชุ่มฉ่ำ ความหืน และ ความยอมรับ

2.6.1 ระดับที่ใช้เป็นเกณฑ์ตัดสิน คะแนน 10 คือ ดีมาก และคะแนน 1 เป็นระดับต่ำสุด

2.6.2 วิธีทดสอบโดยผู้ชิมที่ได้ผ่านการฝึกหัดแล้ว จำนวน 10 คน ทดสอบชิมตัวอย่างเนื้อสุกรทำให้สุกที่อุณหภูมิ 180 °ซ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในถึง 80 °ซ (Ockerman ,1976) การทดลองทำ 2 ซ้ำ นำตัวเลขที่ได้มาวิเคราะห์ ANOVA โดยใช้วิธี RCBD (จรัญ, 2513) และหาความแตกต่างของระยะเวลาเก็บและชนิดของเนื้อสุกรโดยใช้ t-test

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองหาระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งเนื้อสุกร โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก theromocouple แสดงไว้ในตารางที่ 1 และภาพที่ 1 วิธีการคำนวณ และตัวเลขที่เกี่ยวข้อง (ภาคผนวก, ภาพที่ 1 และตารางที่ 1) เมื่อนำค่าที่ได้จากการปฏิบัติจริง ซึ่งเริ่มจาก



ภาพที่ 1 ระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งชิ้นส่วนต่างๆ ของเนื้อลูกรอก
(เริ่มจากอุณหภูมิ 0 – 30°ซ)

จุดที่เนื้อสุกรแข็งตัว (-1.4 °ซ) เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ (ตารางที่ 2) พบว่าระยะเวลาแช่เยือกแข็งจากการปฏิบัติทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ในตัวอย่างเนื้อขาหน้าและเนื้อขาหลัง อุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อเมื่อผ่านจุดแข็งตัวไปแล้ว การลดลงของอุณหภูมิเป็นไปอย่างรวดเร็วในระดับที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในอยู่ในช่วง -27.6 ถึง -28.3 °ซ หลังจากนั้นการลดลงของอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และถึงจุดที่อุณหภูมิภายในของเนื้อขาหน้าและขาหลังอยู่ที่ -30 °ซ ภายในเวลา 125 และ 120 นาที ตามลำดับ สำหรับเวลาการแช่เยือกแข็งของเนื้อส้นนอกนั้นใช้เวลาแช่เยือกแข็งนานกว่าเวลาที่ได้จากการคำนวณ 21.4 นาที ส่วนเนื้อสามชั้นมีระยะเวลาแตกต่างกันถึง 97 นาทีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อสามชั้นในระยะเวลาเริ่มต้นการทดลองใกล้เคียงกับชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่ปราศจากส่วนหนัง เมื่อเวลาผ่านไป 90 นาที การลดลงของอุณหภูมิจะช้ากว่าเนื้อชิ้นส่วนอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด และอุณหภูมิภายในของเนื้อสามชั้นลดลงถึงจุดที่ต้องการใช้เวลานานถึง 190 นาที

ความแตกต่างของระยะเวลาการแช่เยือกแข็ง ที่ได้จากการปฏิบัติทดลองกับที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการของแพลงค์นั้น อาจเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ ได้แก่ พื้นที่ผิวสัมผัส ชั้นของอากาศ องค์ประกอบและคุณสมบัติของอาหาร และในการทดลองครั้งนี้มีปัญหาเกิดขึ้นก็คือ พื้นที่ผิวสัมผัสและชั้นของอากาศ ตลอดจนคุณสมบัติของเนื้อสุกร กล่าวคือ การเอาเนื้อสุกรบรรจุในกล่องโลหะสังกะสีขนาด 5.5 × 7 × 2.5 นิ้ว นั้น ซึ่งโดยความเป็นจริงแล้วเนื้อทั้งก้อนนี้ไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันซึ่งทำให้มีผลต่อค่าความหนาแน่นและเกิดอากาศภายในระหว่างชิ้นเนื้อ ซึ่งจะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน นอกจากนี้ยังทำให้ผิวสัมผัสของชิ้นเนื้อไม่สม่ำเสมอด้วย การใช้กล่องโลหะสังกะสีบรรจุเนื้อสุกรแล้วปิดกล่องเอง ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแผ่นเพลทกับฝากล่อง ซึ่งทำให้มีชั้นอากาศเกิดระหว่างชั้นทั้งสองชั้น ผลจากปัจจัยที่กล่าวมานี้ยังผลให้ค่าระยะเวลาการแช่เยือกแข็งผิดพลาดไปจากค่าจากการคำนวณ Hewitt และคณะ (1974). Cowell และ Namor (1974) ได้กล่าวสรุปปัจจัยที่มีผลต่อการคาดการณ์ระยะเวลาการแช่เยือกแข็งไว้ ได้แก่ ความหนาแน่นของอาหาร พื้นที่ผิวสัมผัสชั้นเพลทของเครื่องแช่เยือกแข็ง ชั้นของภาชนะบรรจุ ชั้นอากาศระหว่างภาชนะบรรจุ และชั้นอากาศระหว่างเพลทกับภาชนะบรรจุ ถ้าหากว่าพื้นที่ผิวสัมผัสสามารถทำได้ 100 % ค่าที่ได้จากสมการของ

แพลงค์จะให้ค่าถูกต้องแม่นยำ แต่ในทางปฏิบัติแล้วทำได้ยากมากสำหรับชั้นของอากาศนั้นพบว่า เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายความร้อน เพราะความร้อนของอาหารทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง (Cowell and Namor, 1974)

สำหรับค่าระยะเวลาการแช่เยือกแข็งของเนื้อสามชั้น มีค่าแตกต่างมากนั้น อาจเนื่องมาจากในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้เนื้อสามชั้น 2 ชิ้นมาประกบกันโดยให้หนังอยู่ด้านนอก ทั้งนี้เพื่อให้ก้อนเนื้อมีน้ำหนักเท่ากันระหว่างการทดลองทุกตัวอย่าง ฉะนั้นระยะเวลาการแช่เยือกแข็งที่ต่างไปนอกจากจะเกิดจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้นแล้วยังอาจเนื่องจากองค์ประกอบของเนื้อสามชั้น ซึ่งประกอบด้วยไขมันจำนวนมากและหนังสุกร ซึ่งอาจจะมีผลต่อระยะเวลาการแช่เยือกแข็ง Ramsbatton และคณะ (1950) รายงานไว้ว่าเนื้อที่มีปริมาณไขมันสูงจะแข็งตัวเร็วกว่าเนื้อแดง ในกรณีนี้ เวลาที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากเนื้อสามชั้นประกอบด้วยชั้นของเนื้อแดงสลับกับชั้นของไขมัน ความเย็นจะทะลุเข้าในชั้นเนื้อ

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเนื้อสุกรขณะแช่เยือกแข็ง

เวลา(นาที)	อุณหภูมิ (°ซ)			
	ขาหน้า	ขาหลัง	สันนอก	สามชั้น
0	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
10	-1.1	-0.7	-0.5	-0.6
20	-1.2	-0.8	-0.5	-0.8
30	-1.3	-0.6	-0.3	-0.8
40	-1.4	-0.6	-0.5	-1.4
50	-1.4	-0.7	-1.1	-2.6

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเนื้อสุกรขณะแช่เยือกแข็ง (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°ซ) ขาหน้า	ขาหลัง	สันนอก	สามชั้น
60	-1.8	-1.1	-2.1	-4.0
70	-2.4	-1.9	-3.2	-5.3
80	-3.3	-3.6	-6.6	-6.7
90	-4.2	-7.2	-10.7	-8.1
100	-6.6	-11.7	-14.4	-9.8
110	-9.6	-16.4	-18.0	-13.2
120	-12.6	-20.4	-21.1	-14.5
130	-17.6	-23.4	-23.3	-17.5
140	-21.4	-25.5	-25.0	-20.4
150	-25.6	-27.0	-26.3	-22.7
160	-27.6	-28.3	-27.4	-24.7
170	-29.7	-29.2	-28.3	-26.2
180	-30.5	-29.8	-29.0	-27.4
190		-30.3	-29.5	-28.3
200		-30.7	-29.9	-29.0
210		-31.0		-29.5
220		-	-	-29.9
230		-	-	-30.0

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบเวลาในการแช่เยือกแข็งชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเนื้อสุกรโดยวิธีการคำนวณและจากการทดลองปฏิบัติ

ชิ้นส่วน	เวลาในการแช่เยือกแข็ง (นาที)		
	คำนวณ	ปฏิบัติ	ความแตกต่าง
ขาหน้า	130.8	125	5.8
ขาหลัง	134.5	120	14.5
สันนอก	123.6	145	21.4
สามชั้น	93	190	97

หมายเหตุ ทั้งการคำนวณและปฏิบัติเริ่มจากอุณหภูมิแข็งตัวของเนื้อสุกรที่ -1.4 °ซ

ได้ดีเพียง 2 ทิศทางเท่านั้น หรืออาจเป็นเพราะ สูตรที่ใช้ในการคำนวณไม่เหมาะสมสำหรับเนื้อสามชั้น

ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายการใช้เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัส เสียค่าใช้จ่าย เป็นจำนวนเงิน 2.76 บาทต่อเนื้อสุกร 1 กิโลกรัม (รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก) อัตราดังกล่าวนี้ไม่รวมค่าวัตถุดิบและค่าบริการในช่วงการดำเนินงานอื่น ๆ

ผลของน้ำหนักสัตว์เป็น น้ำหนักซาก และเปอร์เซ็นต์ซาก แสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ 2,3

การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของชิ้นส่วนเนื้อสุกรต่าง ๆ แสดงไว้ตารางที่ 3 ปริมาณไขมันส่วนเนื้อสามชั้นมีปริมาณสูงกว่าเนื้อทุกชิ้นส่วน และเมื่อเปรียบเทียบความชื้นของเนื้อสดและเนื้อสุกรที่เก็บที่อุณหภูมิ -20 °ซ (2 °ซ) หลังการแช่เยือกแข็งในช่วงระยะเวลาต่างกันพบว่า ความชื้นเนื้อสุกรหลังการเก็บรักษามีปริมาณลดลงสัมพันธ์กับระยะเวลาเก็บ (ตารางที่ 4)

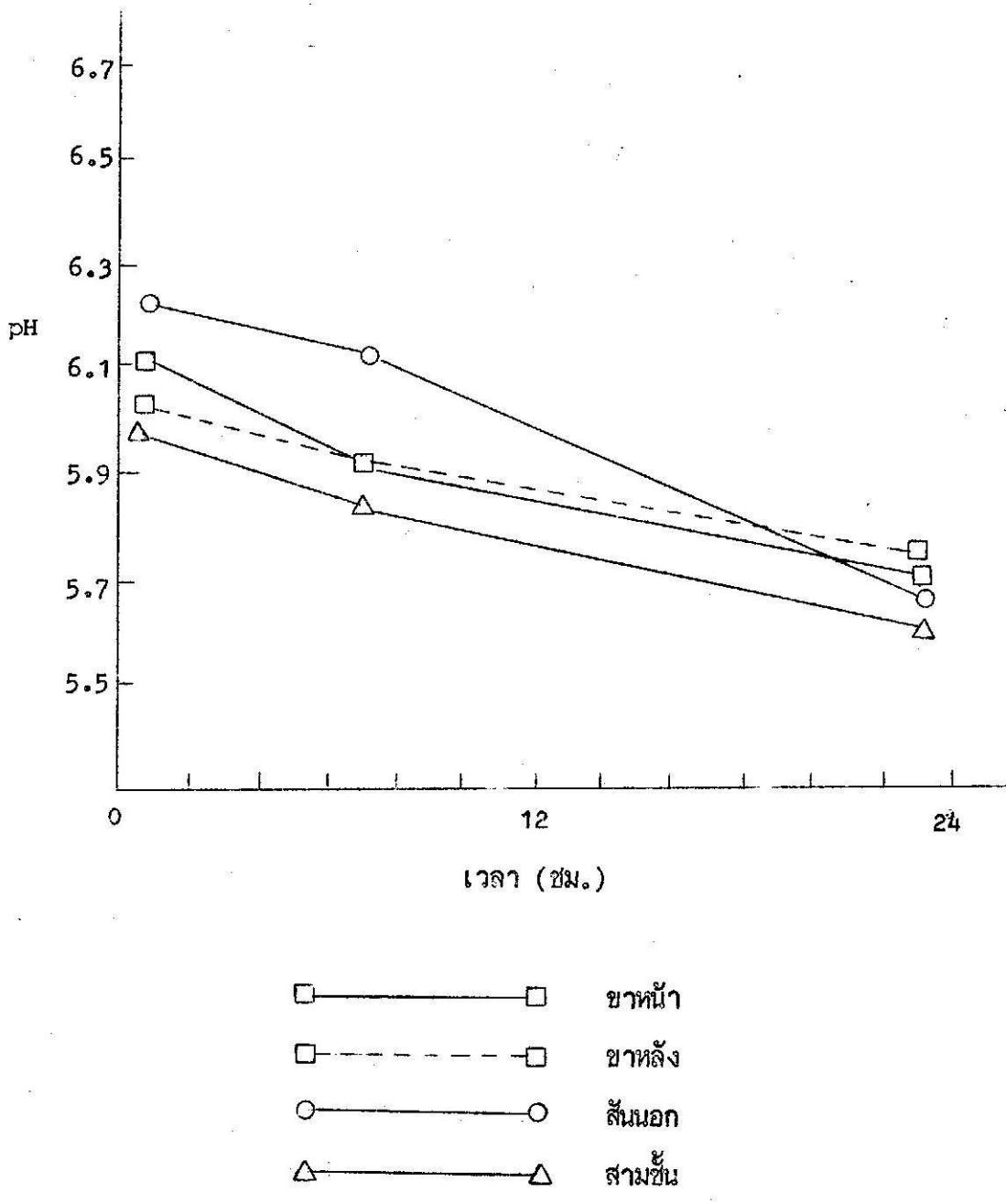
ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของชิ้นส่วนเนื้อสุกร (คิดจากน้ำหนักแห้ง, %)

ชนิดของเนื้อ	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
ขาหน้า	75.82	15.85	3.91
ขาหลัง	78.02	13.15	3.96
สันนอก	70.48	22.61	3.51
สามชั้น	47.67	45.25	1.85

ตารางที่ 4 ความชื้นของเนื้อสุกรสดเปรียบเทียบเนื้อสุกรแช่เยือกแข็ง (%) เก็บที่อุณหภูมิ -20 °ซ ในช่วงระยะเวลาเก็บต่างกัน

ชนิดของเนื้อ	ระยะเวลาที่เก็บ (สัปดาห์)				
	หมูสด	0	2	8	12
ขาหน้า	75.17	74.73	73.53	72.39	70.77
ขาหลัง	77.01	76.11	75.42	72.74	71.00
สันนอก	72.75	72.07	71.49	70.39	69.05
สามชั้น	53.17	51.81	50.90	50.10	50.00

pH เริ่มต้นของชิ้นส่วนเนื้อสุกรลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเก็บชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในภาพที่ 2 pH เริ่มต้นของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเนื้อสุกรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ pH เริ่มต้นมีค่าเฉลี่ย 6.03 ส่วน pH สุดท้ายมีค่าต่ำกว่า pH เริ่มต้นในทุก ๆ ตัวอย่าง



ภาพที่ 2 pH เริ่มต้นและ pH สุดท้ายในเนื้อสุกร

แต่ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างชิ้นส่วน ซึ่งแสดงอุณหภูมิของชิ้นส่วนเนื้อสุกรหลังจากชำแหละ 3 ชั่วโมง ซึ่งถือเป็นอุณหภูมิเริ่มต้นของชิ้นส่วนในการแช่เยือกแข็งแสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ อุณหภูมิในแต่ละชิ้นส่วนใกล้เคียงกัน ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Lundstrom (1984) ที่พบว่า สุกรที่ชำแหละขณะซากยังมีความร้อนอยู่มีผลให้ pH ลดลงอย่างรวดเร็วในระยะแรก เมื่อเปรียบเทียบกับซากสัตว์ที่เก็บในสภาพที่อุณหภูมิต่ำกว่า pH จะลดลงช้า ๆ สัมพันธ์กับระยะเวลาที่เก็บ pH เริ่มต้นในชิ้นส่วนเนื้อสันลดลงช้า ๆ ในขณะที่ pH ของชิ้นเนื้อส่วนขาลดลงเร็ว pH ของเนื้อชิ้นส่วนอื่น ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังได้ชี้ให้เห็นว่า อัตราการลดลงของ pH ขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดไกลโคลิซิสภายในชิ้นเนื้อเหล่านั้น

ตารางที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ pH ในชิ้นส่วนเนื้อสุกรแช่เยือกแข็ง เก็บที่อุณหภูมิ -20 °ซ ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลาแช่เยือกแข็ง (สัปดาห์)	pH			
	ขาหน้า	ขาหลัง	สันนอก	สามชั้น
0	6.00	5.95	6.05	5.70
2	6.05	6.00	6.00	5.80
4	5.95	6.00	6.00	5.80
6	5.95	5.95	6.05	5.75
8	6.0	5.90	5.95	5.85
10	6.05	5.95	6.00	5.80
12	5.95	5.95	6.00	5.58
ค่าเฉลี่ย	5.99	5.95	6.00	5.80

การวัดค่า pH ของชิ้นส่วนเนื้อสุกรในสภาพแข็งตัวเมื่อเก็บไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน (ตารางที่ 5) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ตลอดช่วงเวลาการเก็บ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Purschel และ Scheibner (1972) ที่พบว่าค่า pH ของเนื้อในช่วงการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 ° ซ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ตลอดระยะเวลาการเก็บ 4 เดือน การที่ค่า pH ของเนื้อสุกรไม่เปลี่ยนแปลงขณะเก็บที่อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้การเสื่อมเสียเกิดขึ้นได้น้อยมาก (Connell, 1968)

การสูญเสียน้ำขณะแช่เยือกแข็ง แสดงไว้ในตารางที่ 6 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำสูง

ตารางที่ 6 การสูญเสียน้ำจากชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเนื้อสุกรสดและหลังการแช่เยือกแข็งในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ กัน (%)

ชิ้นส่วน	เวลา (สัปดาห์)				
	เนื้อสุกรสด	0	4	8	12
ขาหน้า	2.20	4.88	5.75	6.07	7.86
ขาหลัง	2.28	4.80	5.92	6.58	7.70
สันนอก	3.05	6.92	7.97	9.03	10.79
สามชั้น	1.97	3.83	4.90	5.78	6.95

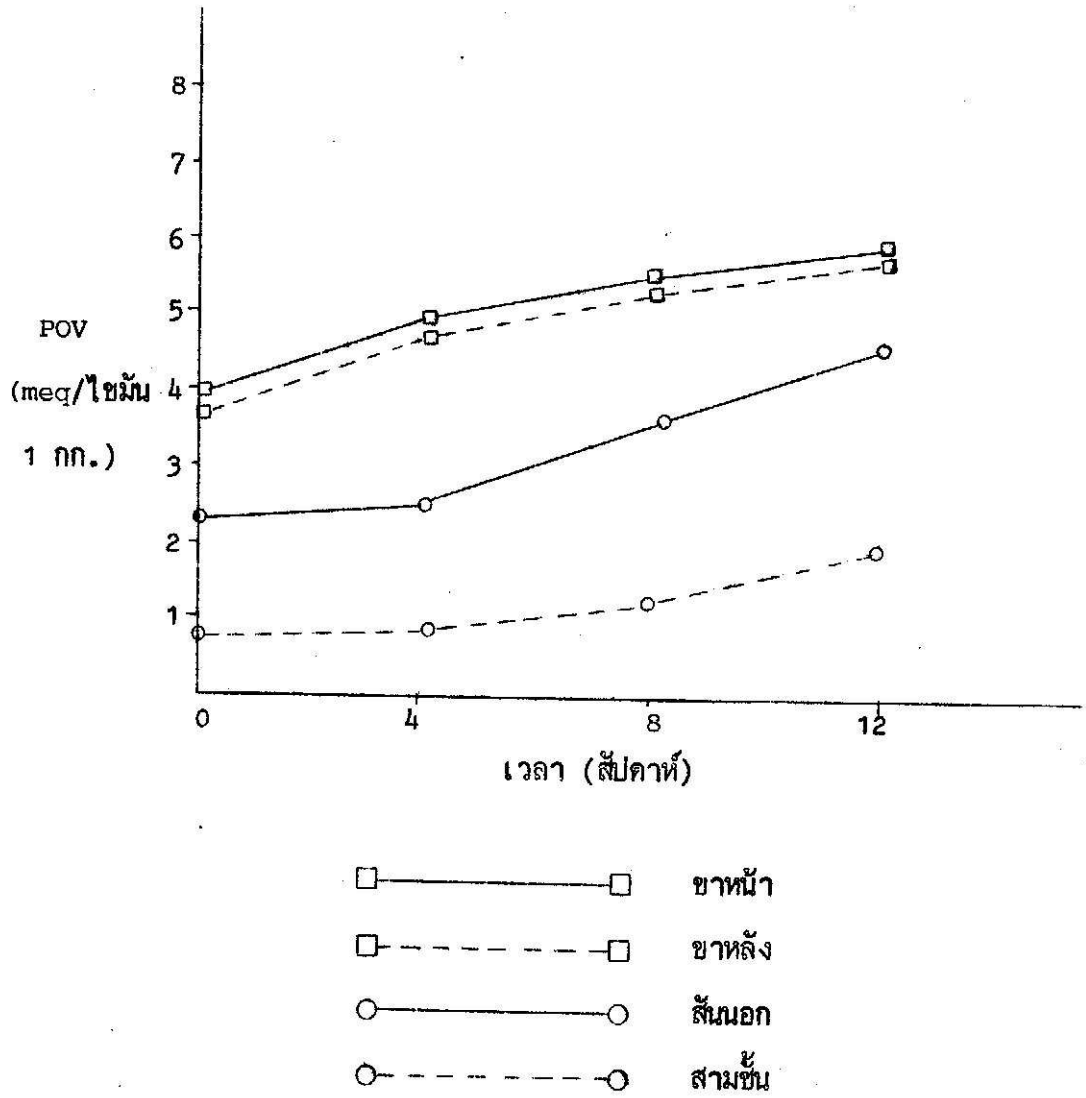
ขึ้นเมื่ออายุการเก็บเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งใช้เวลานานขึ้น ผลการทดลองนี้ได้ผลเช่นเดียวกับรายงานของ Wierbiki และคณะ (1957) ที่พบว่าปริมาณน้ำที่ไหลจากเนื้อสูงขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบเนื้อสุกรสดและเนื้อสุกรที่ผ่านการแช่เยือกแข็งพบว่า ปริมาณที่ไหลออกจากเนื้อที่คายความเย็นมีปริมาณเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าของเนื้อสด ผลการทดลองนี้ใกล้เคียงกับผลงานวิจัยที่พบในเนื้อโค (Award และคณะ 1968)

สำหรับการสูญเสียน้ำในชิ้นส่วนต่าง ๆ พบว่า เนื้อส่วนสันนอกสูญเสียน้ำสูงที่สุด ผลการทดลองนี้ได้ผลเช่นเดียวกับรายงานจาก Nillson (1969) อ้างใน FSTA, 1969 Taylor และ Dant (1971)

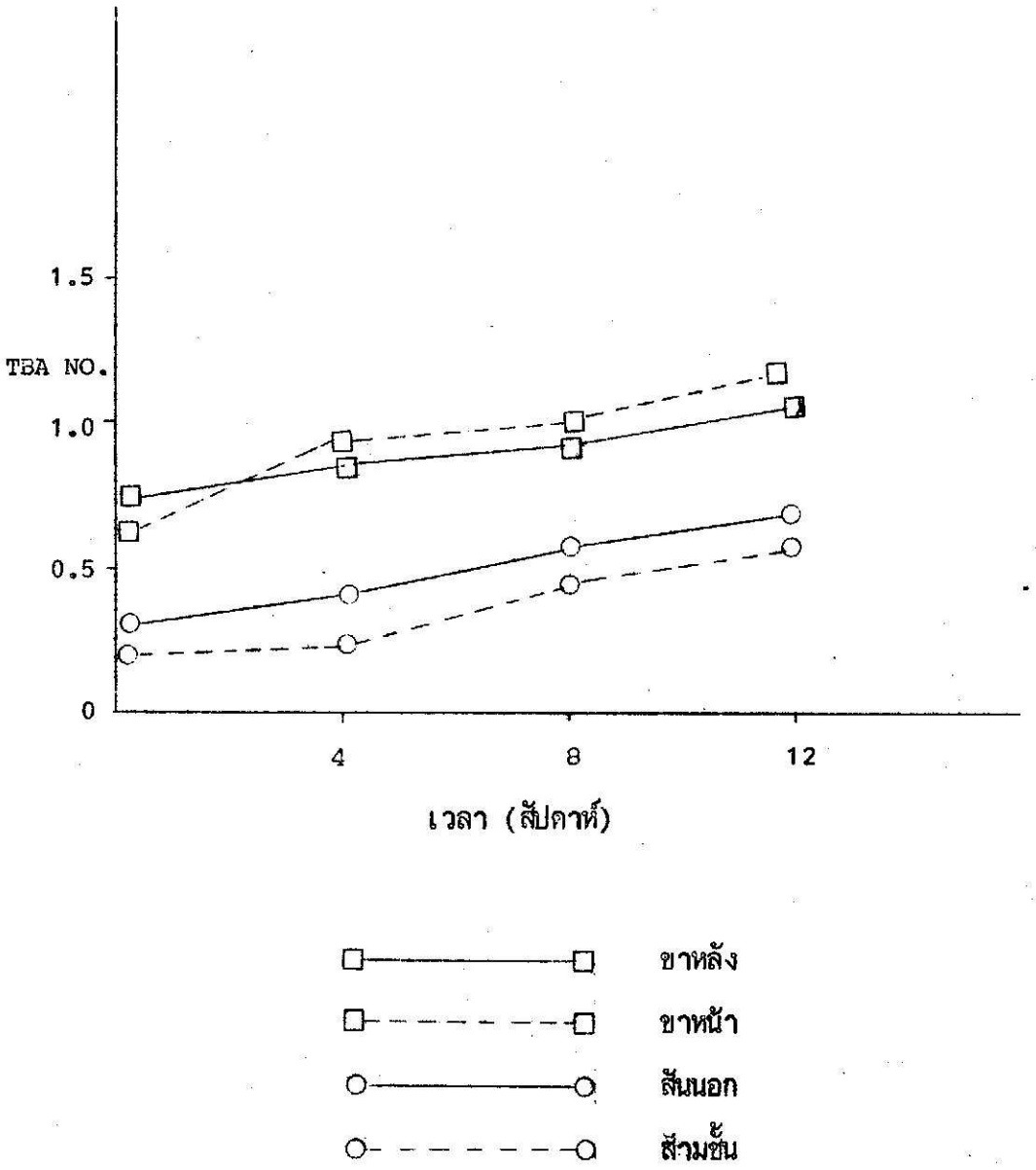
ค่า POV, TBA และ FFA จากเนื้อสุกรแช่เยือกแข็ง (ภาพที่ 3, 4, และ 5) ค่า POV ในเนื้อขาหน้าและขาหลังมีค่าเริ่มต้นสูงใกล้เคียงกัน รองลงมาคือเนื้อสันและสามชั้นตามลำดับ ค่า POV ในเนื้อทุกชนิดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Ramsbottom (1947) ที่รายงานว่า เนื้อสุกรเก็บที่อุณหภูมิต่ำ (-15 ถึง -18 °ซ) ค่า POV จะเพิ่มขึ้นสูงสุดภายใน 14 เดือน จากนั้นจึงลดต่ำลง เนื้อส่วนขาและเนื้อสันนอกมีปริมาณค่า POV สูงกว่าเนื้อสามชั้น แต่ไม่มีตัวอย่างใดมีค่าสูงเกินกว่า 6 meq/ไขมัน 1 กิโลกรัม ซึ่งเป็นข้อกำหนดมาตรฐานเนื้อสุกรส่งออกของ EEC (1978) ค่า TBA ระหว่างเก็บเพิ่มขึ้นทุกตัวอย่างซึ่งตรงกับรายงานของ Awad และคณะ (1968) แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของ TBA ช้ากว่าค่า POV สำหรับชนิดของเนื้อตรวจพบว่าค่า TBA เพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกับ POV คือ ปริมาณ TBA ในเนื้อส่วนขาสูงกว่าเนื้อสันนอกและสามชั้นตามลำดับ การที่ปริมาณ POV และ TBA ในส่วนขาและเนื้อสันนอกสูงกว่าเนื้อสามชั้นนั้นอาจเนื่องจากเนื้อสัตว์ส่วนที่เป็นเนื้อแดงมีสารเร่งความหืน (pro-oxidant) ซึ่งได้แก่สารประกอบ hematin เช่น hemoglobin และ cytochrome C (Watts, 1962) การทดลองของ Keskinel และคณะ 1964) พบค่า TBA กล้ามเนื้อสันจากเนื้อแกะเก็บที่ -18 °ซ เพิ่มจาก 0.13 เป็น 1.93เมื่อเก็บนาน 9.5 เดือน Award และคณะ (1968) รายงานว่าค่า TBA ของเนื้อวัวสดมีค่า 0.05และเพิ่มเป็น 0.27 ในช่วงเวลาเก็บ 2 เดือน อย่างไรก็ตาม Ramsbattom (1947) สรุปว่าค่า TBA ในเนื้อแดงของสุกรและโคมีค่าแตกต่างกันเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ -17.8 °ซ ในช่วงเวลา 13 สัปดาห์

ปริมาณ FFA ของเนื้อในสภาพแข็งตัวเพิ่มขึ้นทุกตัวอย่างระหว่างเก็บ การเพิ่มขึ้นของ FFA ได้ผลใกล้เคียงกับผลงานของ Awad และคณะ (1968) ที่สรุปการเพิ่มขึ้นของ FFA ว่ามีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เก็บเนื้อ และอุณหภูมิต่ำมีผลทำให้การเกิด FFA ช้ากว่าการเก็บที่อุณหภูมิสูง ส่วนเนื้อต่างชนิดมีค่า FFA ต่างกันไป ซึ่งตรงกับรายงานของที่พบว่าปริมาณ FFA ในเนื้อสัตว์ขึ้นอยู่กับพันธุ์และชนิดของกล้ามเนื้อ อย่างไรก็ตาม ค่า FFA ของเนื้อทุกตัวอย่างที่ระยะเวลาเก็บต่าง ๆ กันมีค่าต่ำกว่า

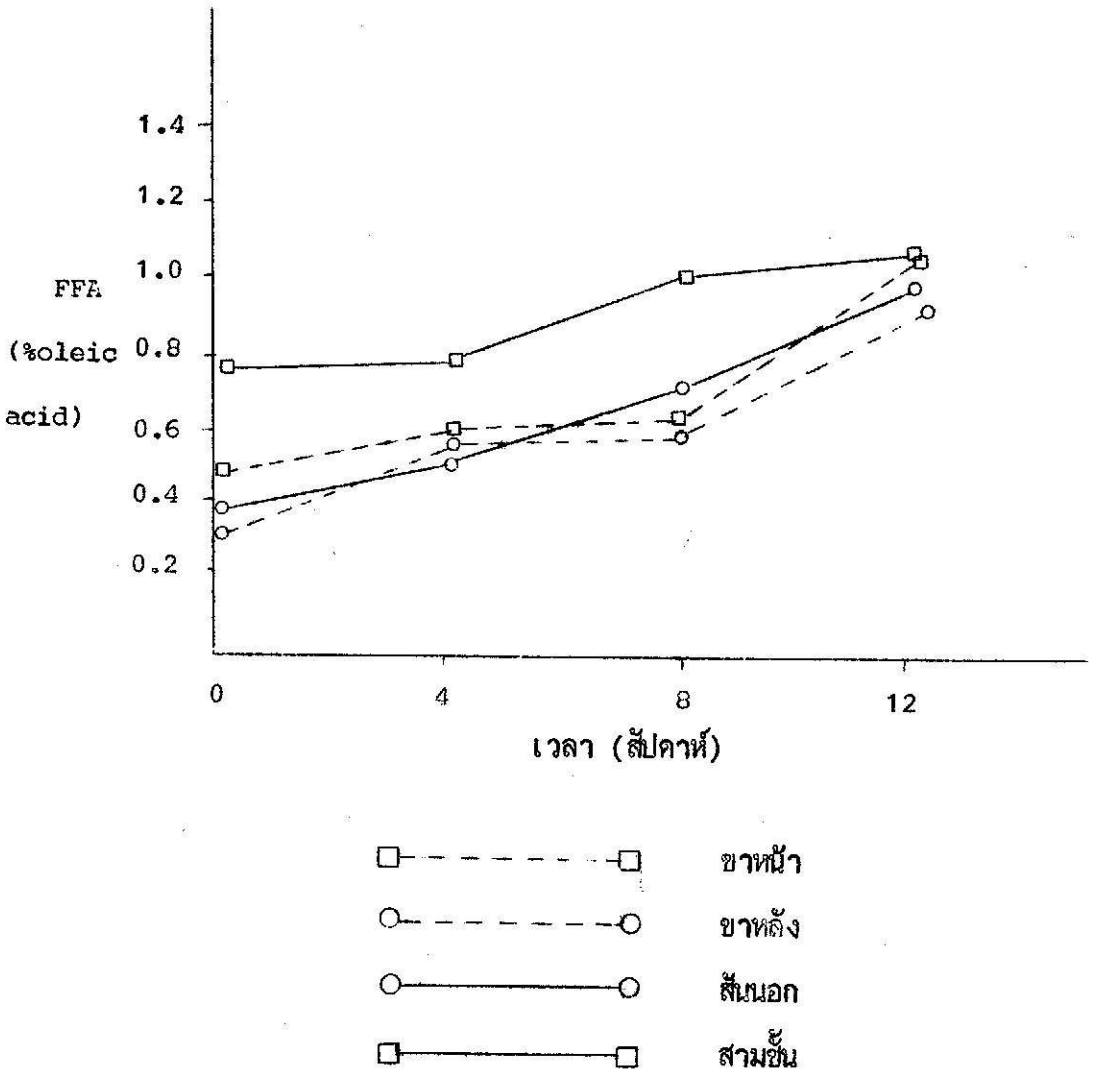
Central Library
Prince of Songkla University



ภาพที่ 3 ค่า POV ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน



ภาพที่ 4 ค่า TBA ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ 20 °ซ ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน

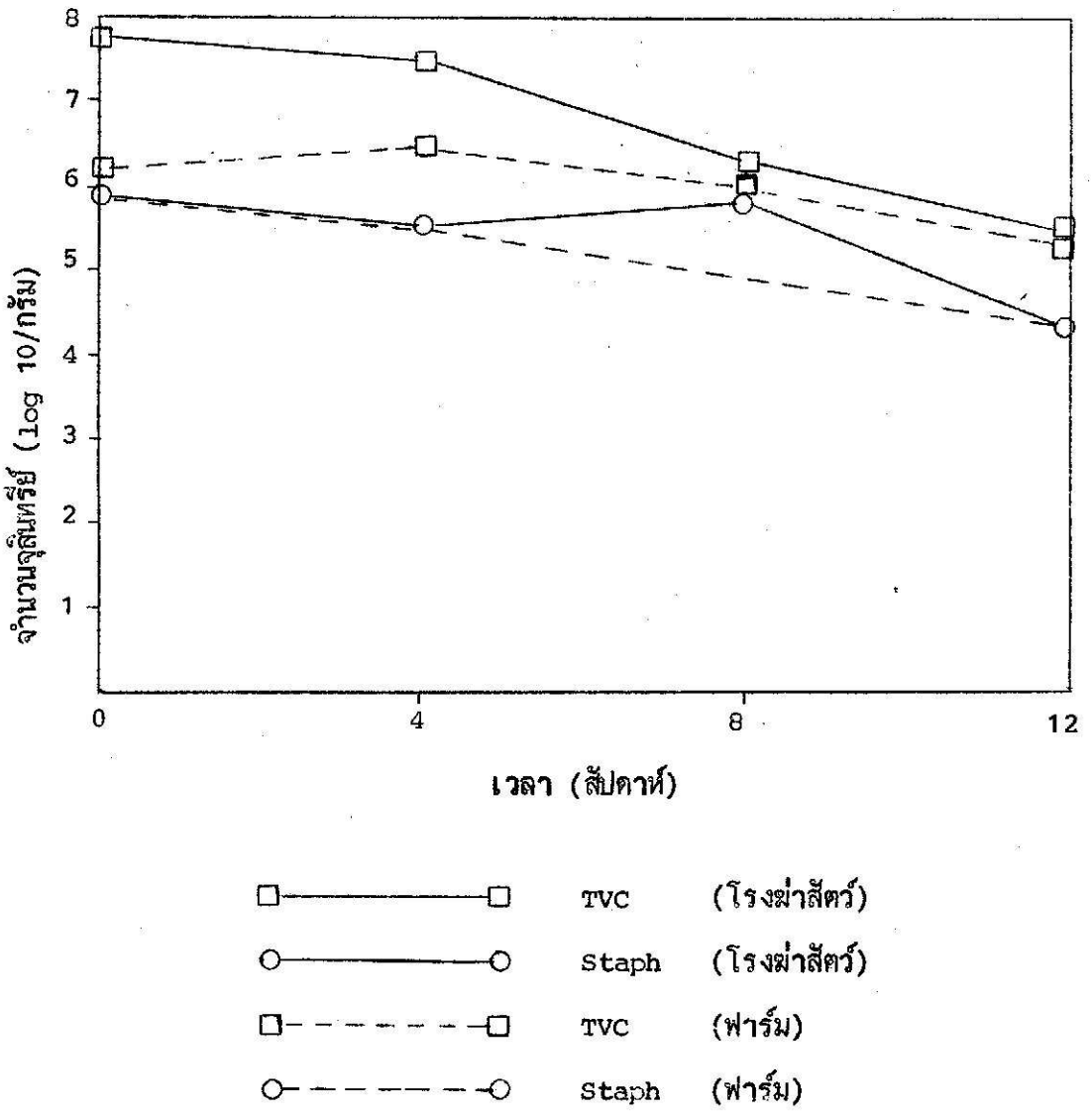


ภาพที่ 5 ค่า FFA ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งที่ -20 °ซ ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน

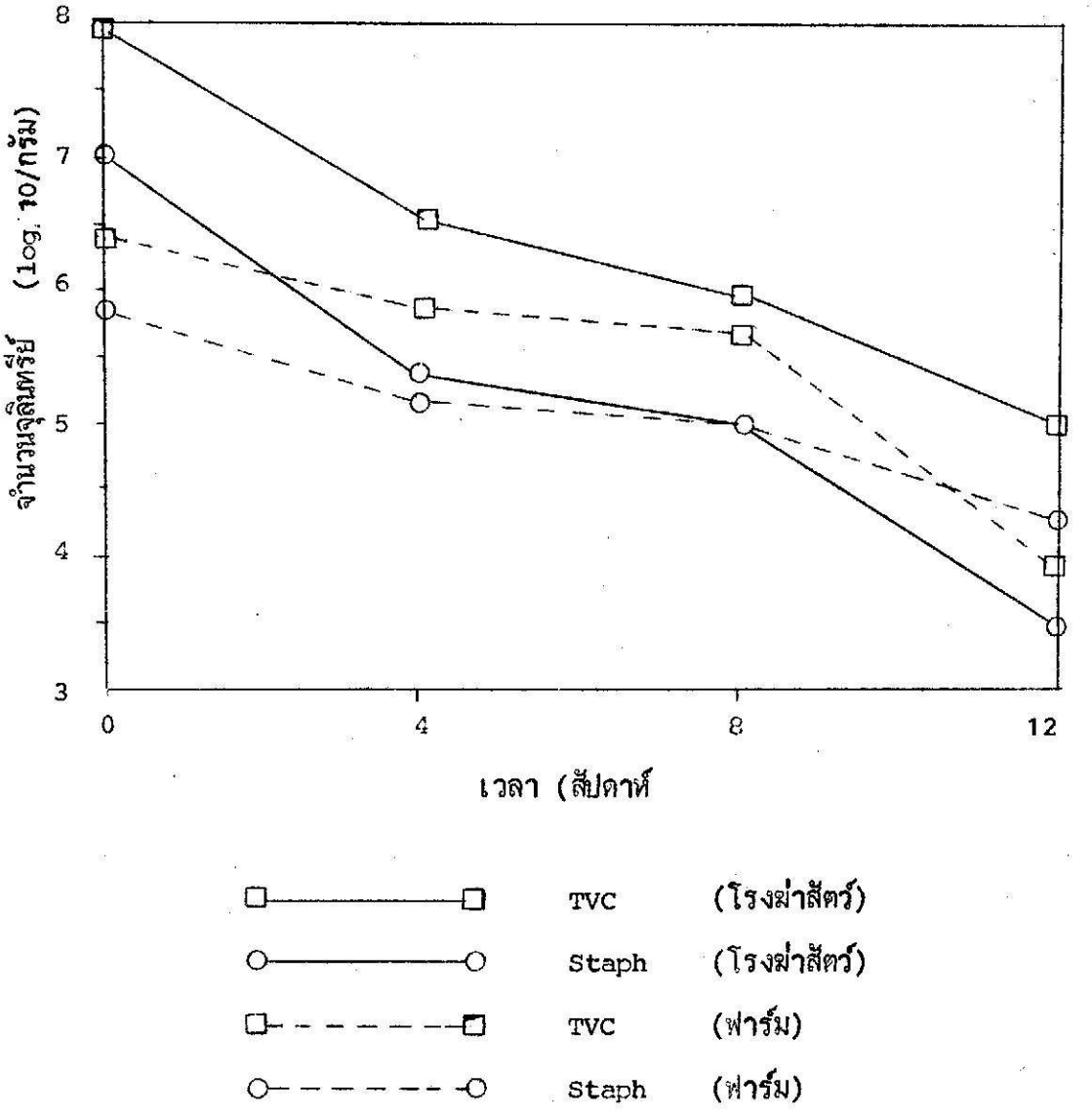
มาตรฐานจากข้อกำหนดของ EEC (1978) ซึ่งกำหนดให้เนื้อสุกรส่งออกมีค่า FFA คิดเป็นกรดโอเลอิค ประมาณ 1.5 %

ผลการตรวจสอบปริมาณ TVC, Staphylococcus spp. จากชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเนื้อสุกรที่ได้จากโรงฆ่าสัตว์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เปรียบเทียบกับเนื้อสุกรที่ได้จากฟาร์มคณะทรัพยากรธรรมชาติ แสดงไว้ในภาพที่ 6-9 จะได้เห็นว่า ตัวอย่างชิ้นส่วนเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -30 °ซ จากแหล่งทั้งสอง เมื่อนำมาเก็บที่อุณหภูมิ -20 °ซ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ นั้น ปริมาณ TVC และ Staphylococcus spp.ในทุก ๆ ตัวอย่างมีปริมาณลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบแหล่งที่มาของเนื้อสุกรจะเห็นได้ชัดว่า ตัวอย่างที่ได้จากโรงฆ่าสัตว์มีปริมาณเริ่มต้นสูงทั้งค่า TVC และ Staphylococcus spp. การตรวจสอบหาชนิดของจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรค ไม่พบ Salmonella ในทุก ๆ ตัวอย่าง แต่จะพบ Enterobacter cloacae และ Citrobacter diversus ในเนื้อสามชั้น สันนอก และขาหลังสำหรับเนื้อขาหน้าจะพบเฉพาะ Enterobacter cloacae เท่านั้น สาเหตุที่ไม่พบ Salmonella ในตัวอย่างเนื้อสุกรอาจเนื่องจากเนื้อสุกรหลังจากชำแหละไม่ถูกปนเปื้อนจากอวัยะภายในโดยเฉพาะบริเวณไส้ตัน (caecal) ซึ่งเป็นแหล่งของเชื้อ Salmonella ในสัตว์ (Currier และคณะ, 1986) สำหรับชิ้นส่วนเนื้อสุกรที่ได้จากโรงฆ่าสัตว์มีค่า TVC และ Staphylococcus spp. สูงกว่าตัวอย่างจากฟาร์ม ทั้งนี้อาจเกิดจากการปนเปื้อนจากสภาวะแวดล้อมของการฆ่าสัตว์ที่รักษาความสะอาดไม่ดีพอ เนื่องจากเป็นโรงฆ่าสัตว์เก่าที่ดำเนินกิจการมาเป็นเวลานาน และเมื่อพิจารณาอายุการเก็บเนื้อสุกรแช่เยือกแข็ง พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ลดลงในทุก ๆ ตัวอย่าง อย่างไรก็ตามค่า TVC และ Staphylococcus spp. ในระยะเวลาการเก็บ 8 และ 12 สัปดาห์นั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Sulzbacher (1950) ในเรื่องปริมาณจุลินทรีย์จากตัวอย่างเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งลดลงเมื่อเก็บในสภาพอุณหภูมิต่ำ ประมาณ -20 °ซ หรือต่ำกว่านี้

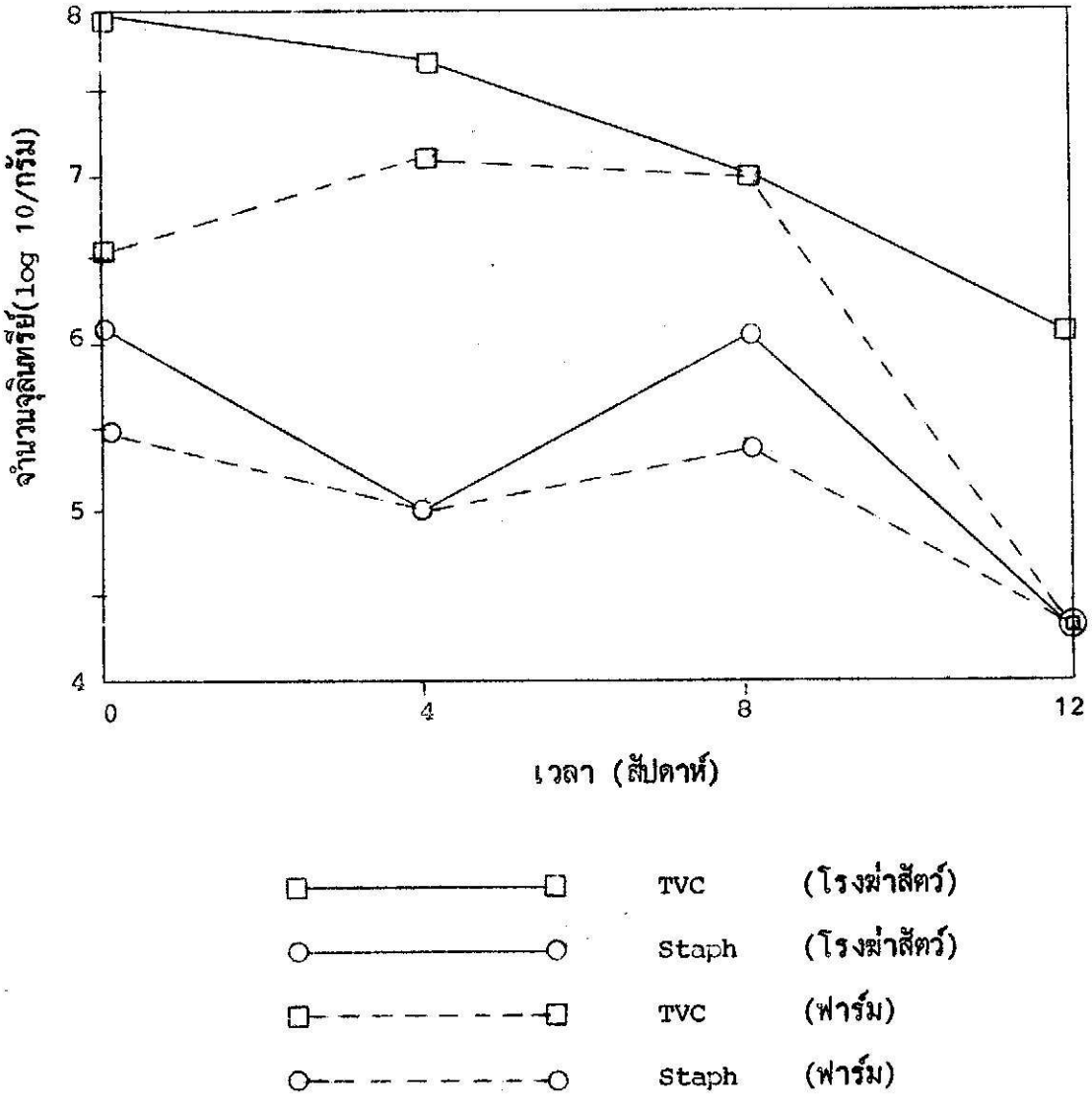
ผลการตรวจสอบพยาธิ Trichinella spiralis ทั้งก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง ไม่พบในทุกตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Zimmerman และคณะ (1985) ที่รายงานว่าไม่พบ Trichinella spiralis หลังการใช้อุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่ -29 °ซ หรือต่ำกว่านี้ อุณหภูมิดังกล่าวสามารถทำลายพยาธิชนิดนี้ได้ดีในทุกระยะการเจริญเติบโต



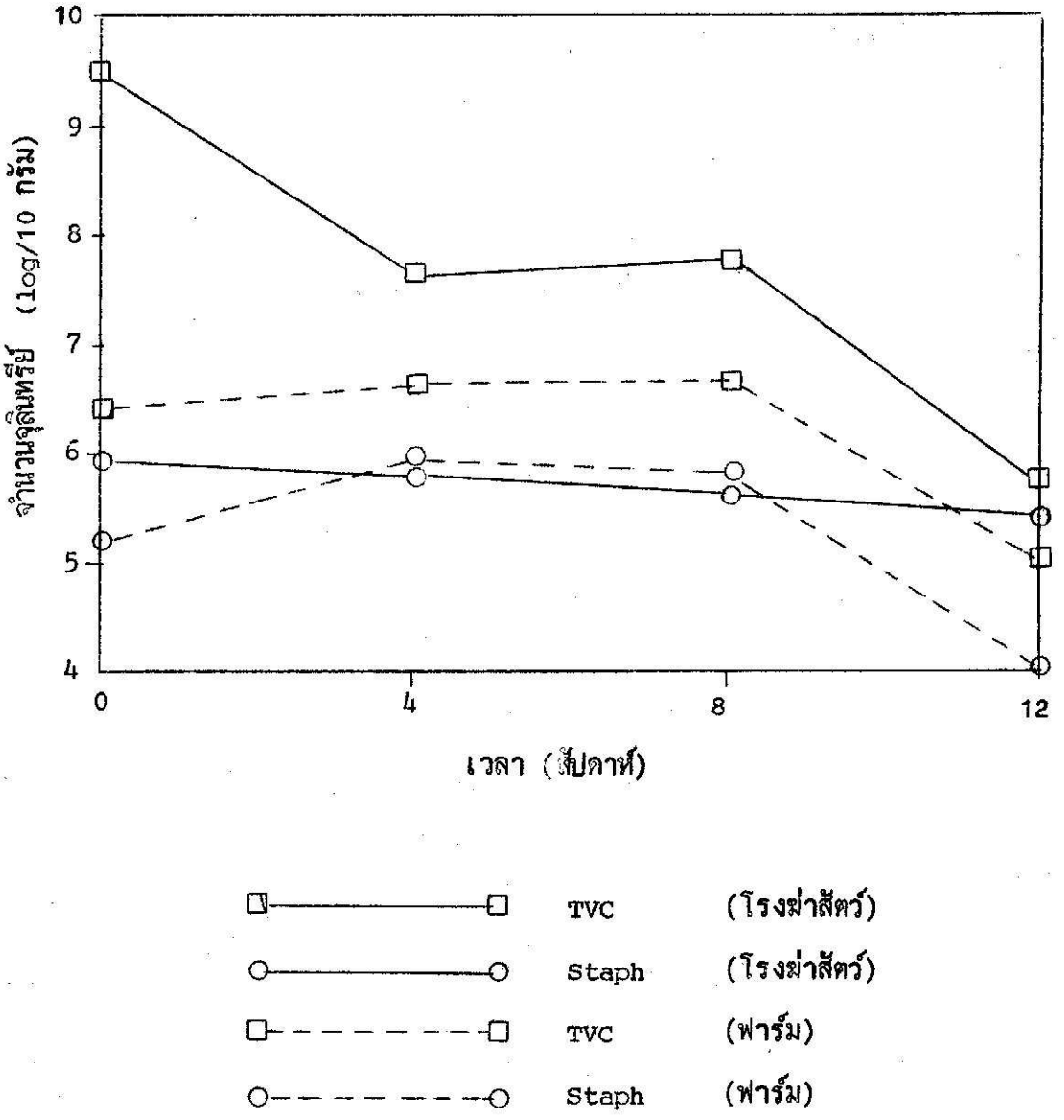
ภาพที่ 6 ผลการตรวจสอบปริมาณ TVC และ Staphlococcus spp. เนื้อสุกรส่วนขาหน้า



ภาพที่ 7 ผลการตรวจสอบปริมาณ TVC และ Staphylococcus spp. เนื้อสุกรส่วนขาหลัง



ภาพที่ 8 ผลการตรวจสอบปริมาณ TVC และ Staphylococcus spp. เนื้อสุกรส่วนสันนอก



ภาพที่ 9 ผลการตรวจสอบปริมาณ TVC และ Staphylococcus spp. เนื้อสุกรส่วนสามชั้น

การประเมินผลโดยใช้ประสาทสัมผัสทดสอบเนื้อสุกรชนิดต่าง ๆ โดยตรวจกลิ่นรส ความชุ่มฉ่ำความหืน และการยอมรับ ภายหลังการแช่เยือกแข็งและเก็บที่ -20 °ซ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อวิเคราะห์ตัวเลขทางสถิติ (ภาคผนวก ตารางที่ 4, 5, 6 และ 7) พบว่า เวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P = 0.5) ความแตกต่างนี้เห็นได้ชัดเจนหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Smith และคณะ (1968) ที่สรุปว่าระยะเวลาเก็บเนื้อแกะแช่เยือกแข็ง มีผลต่อการลดลงของกลิ่นรสโดยเฉพาะจากเนื้อส่วนขา และมีรายงานยืนยันเช่นเดียวกันจาก Khan และ Berg (1967) ที่พบความเปลี่ยนแปลงนี้อย่างเด่นชัดในเนื้อไก่ส่วนขา สำหรับเนื้อสุกรจากชิ้นส่วนต่างกันพบว่ามีความแตกต่างของกลิ่นรสอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P=.01) เมื่อตรวจหาความแตกต่างของชิ้นส่วนโดยใช้ t-test พบว่าขาหน้าและขาหลังแตกต่างกันที่ P=.01 และขาหน้ามีความแตกต่างกับเนื้อสันนอกและสามชั้นที่ P=.01

การตรวจความชุ่มฉ่ำในเนื้อสุกรพบว่า ระยะเวลาเก็บไม่มีผลต่อความชุ่มฉ่ำ ตัวเลขจากการทดลองนี้ตรงกับรายงานของ Law และคณะ (1967) ที่ไม่พบความแตกต่างในเรื่องนี้เมื่อเก็บเนื้อแช่แข็งเป็นเวลา 6 เดือนที่อุณหภูมิ -18 ถึง -23 °ซ ส่วนเนื้อต่างชนิดกันมีความแตกต่างกันในคะแนนความชุ่มฉ่ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง เมื่อตรวจความแตกต่างโดยใช้ t-test พบว่า เนื้อส่วนขาหน้ามีความแตกต่างกับขาหลังที่ระดับ P=.05 และทั้ง 2 ชิ้นส่วนนี้แตกต่างจากเนื้อสันนอก และส่วนสามชั้นที่ระดับ P=.01 ความแตกต่างเช่นนี้อาจเนื่องจากปริมาณไขมันและหน้าที่การทำงานของกล้ามเนื้อซึ่งแตกต่างกันไปตามตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกาย Patterson (1975)

ผลการวิเคราะห์ค่าความหืนไม่พบความแตกต่างเนื่องจากระยะเวลาเก็บ Miller และคณะ (1980) รายงานว่าเนื้อสุกรแช่เยือกแข็งเก็บที่อุณหภูมิต่ำนานถึง 31 สัปดาห์ จึงจะปรากฏความหืนอย่างเด่นชัด เมื่อทดสอบโดยใช้ประสาทสัมผัส นอกจากนั้นในการทดลองครั้งนี้ได้บรรจุวัตถุดิบในถุงโพลีเอธิลีนในสภาพสุญญากาศ และควบคุมอุณหภูมิการเก็บรักษาให้มีความสม่ำเสมอตลอดเวลา ประกอบกับระยะเวลาเก็บเพียง 12 สัปดาห์เท่านั้น จึงไม่สามารถตรวจพบความหืนได้ แต่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งระหว่างตัวอย่างของเนื้อต่างชนิดกัน เมื่อตรวจสอบด้วย t-test ปรากฏว่าเนื้อส่วนขาหน้าและขาหลังมีความแตกต่างกัน แต่ชิ้นส่วนทั้ง 2 และสันนอกแตกต่างจากเนื้อส่วนสามชั้นที่ระดับ P=.01 ความแตกต่างเช่นนี้สอดคล้องกับ Patterson (1975)

การหาค่าการยอมรับคุณภาพ ได้ผลเช่นเดียวกับความชุ่มฉ่ำและความหืน คือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับระยะเวลาเก็บ แต่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งต่อชิ้นส่วนของเนื้อ เมื่อใช้ t-test จำแนกความแตกต่างพบว่าเนื้อขาหน้าและขาหลังมีความแตกต่างกับเนื้อสันนอกที่ระดับ P=.05 และแตกต่างกับเนื้อสามชั้นที่ระดับ P=.01 ส่วนเนื้อสันนอกนั้นแตกต่างกับเนื้อสามชั้น

สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาระยะเวลาการแช่เยือกแข็งพบว่า ค่าที่ได้จากการคำนวณสูงกว่าระยะเวลาจากการทดลองปฏิบัติเล็กน้อย ในเนื้อส่วนขาหน้า ขาหลัง สำหรับเนื้อสันนอกและเนื้อสามชั้น ระยะเวลาการแช่เยือกแข็งที่ได้จากการคำนวณมีค่าต่ำกว่าตัวเลขที่ได้จากการปฏิบัติ และมีค่าแตกต่างกันมากในเนื้อสามชั้น สำหรับค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัส คิดเฉพาะค่าไฟฟ้าและค่าแรงงานที่ใช้เป็นจำนวนเงิน 2.76 บาทต่อการแช่เยือกแข็งเนื้อสุกร 1 กิโลกรัม

ผลการตรวจสอบคุณภาพเนื้อหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 °ซ (± 2) °ซ พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อสุกรหลังการแช่เยือกแข็ง มีผลต่อการลดลงของความชื้น ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด Straphylococcus และการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส ส่วนปริมาณการสูญเสียน้ำ ค่า POV,TBA และ FFA เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น

ชนิดของเนื้อมีผลต่อการสูญเสียน้ำ ค่า POV, TBA และ FFA รวมทั้งคุณภาพที่ตรวจโดยผู้ทดสอบชิ่งใช้ประสาทสัมผัส

ผลการตรวจหาพยาธิ Trichinella spiralis ไม่พบทั้งในเนื้อสดและเนื้อที่เก็บรักษาตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์หลังการแช่เยือกแข็ง

ข้อเสนอแนะ

1. การคำนวณเวลาในการแช่แข็งมีหลายวิธี หากจะมีการศึกษาขั้นต่อไป จะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเวลาการแช่เย็นแข็งอย่างละเอียด ถ้าจะใช้วิธีการคำนวณอย่างง่ายผิวทั้งสองข้างของชิ้นเนื้อจะต้องเรียบสนิทกับแผ่นทำความเย็น ชิ้นเนื้อควรเป็นเนื้อเดียวกันตลอด ในกรณีเนื้อสามชั้นหรือในกรณีผิวด้านบนของชิ้นเนื้อไม่เรียบสนิทจะต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณเวลาแช่เยือกแข็ง

2. การแช่เยือกแข็งเนื้อสามชั้น อาจใช้วิธีแช่เยือกแข็งทั้งชิ้นขนาดใหญ่ รองด้วยแผ่นโพลีเอธิลีนระหว่างเพลทและชิ้นเนื้อบรรจุให้เต็มช่วงความกว้างระหว่างชั้น เพื่อช่วยให้ได้รับความเย็นสม่ำเสมอและรวดเร็ว

3. การตัดแต่งชิ้นเนื้อและการบรรจุ ควรทำด้วยความระมัดระวังเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดโพรงอากาศภายในกล่อง น้ำหนักบรรจุควรเท่ากัน

4. ควรเริ่มบันทึกอุณหภูมิในระยะเริ่มต้นที่นำตัวอย่างเข้าตู้แช่เยือกแข็ง เพื่อจะได้ทราบระยะเวลาการลดลงของอุณหภูมิก่อนการแข็งตัวด้วย

5. อุณหภูมิห้องเย็นควรสม่ำเสมอตลอดการทดลองเพื่อรักษาคุณภาพของตัวอย่าง

6. การตัดแต่งและบรรจุควรกระทำในห้องปรับอากาศเพื่อควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ

7. ตัวอย่างที่นำมาแช่เยือกแข็งควรได้รับการปฏิบัติอย่างถูกสุขลักษณะ

คำขอบคุณ

การศึกษาเรื่องนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสภาวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2527 เป็นโครงการย่อยในโครงการศึกษาและวิจัยการพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากสุกรเพื่อส่งตลาดต่างประเทศ โครงการเดิมนั้นผู้วิจัยได้เสนอแนวการศึกษาเรื่องการแช่แข็งเนื้อสุกรและผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัส ซึ่งเหมาะสมกับชิ้นส่วนเนื้อที่ปราศจากกระดูกบรรจุในกล่อง และการแช่เยือกแข็งโดยใช้ลมเย็นสำหรับสุกรทั้งซาก หรือชิ้นส่วนใหญ่ที่ยังมีกระดูกภายใน แต่เนื่องจากข้อจำกัดของงบประมาณจึงได้ตัดทอนแผนงาน ทำการวิจัยเพียงส่วนย่อยในเรื่อง วิธีการแช่เยือกแข็งแบบเพลทสัมผัส และจากอุปสรรคเกี่ยวกับอุปกรณ์การเก็บรักษาเนื้อสัตว์ ทำให้การทำงานวิจัยล่าช้าและกระทำได้เพียงบางส่วนเท่านั้น งานวิจัยที่กระทำครั้งนี้ได้รับคำแนะนำจาก นายมนัส เกษมทรัพย์ รองผู้อำนวยการองค์การอุตสาหกรรมห้องเย็น กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ช่วยตรวจสอบองค์ประกอบเคมีของเนื้อสุกร อาจารย์เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล และอาจารย์ชัยรัตน์ ศิริพัธนะ ที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการทดลอง จึงขอขอบพระคุณสภาวิจัยและผู้ที่เกี่ยวข้องมา ณ โอกาสนี้

บรรณานุกรม

จรัญ จันทลักขณา 2513 วิธีวิเคราะห์และวางแผนงานวิจัย ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พระนคร

Amerine, M. A., R. M. Pangborn and E. R. Roesier. 1965. Principles of sensory evaluation of food. Academic Press. New York

Anonymous. 1980. Hot processing, economic feasibility of hot processing of carcasses. Bull. 639. Agr. Exp. Sta., Kansus State Univ., Manhattan.

Anonymous. 1983. Hot boning of beef No. 31 in a series of Marketing and Meat Trade Bull. Meat and Livestock Com., Bletchley Milton Keynes, U. K.

AOAC 1975. Official methods of analysis Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D. C.

ASHRAE. 1966. Guide and data book. Application for 1966. New York.

Award, A., W. D. Powrie and O. Fennema. 1968. Chemical deterioration of frozen bovine muscle at -4°C. J. of Food Sci. Vol 33 227

Bailey, C., C. L. Cutting and A. G. Kitchell. 1972. Some technical reper cussions on the meat industry of EEC entry. Meat Research Inst. Memorandum No. 1

Bakal, A. 1970. Conduction heat transfer with phase change and its application to freezing or thawing of foods. Ph. D. Dissertation, Rutgers State Univ. New Brunswick, New Jersey.

Banks, A. and R. Hardy. 1965. in Proceedings of the International con gress of Food Sci. Technol. ed. by Leitch, J. M. Vol II Gordon and Breach, New York.

Bendall, J. R. 1960. in Structure and function of muscle. ed. by Bourne, C. H. Vol 3, Academic Press, New York.

Borgstorm, G. 1955. Microbiological problems of frozen food products. Adv. Food Res., Vol 6 : 163

Brennan, J. G., J. R. Butters, N. O. Cowell and A. E. V. Lilly. 1969. Food engineering operations. Sec. 13.2 Amer. Elsevier, New York.

Briskey, E. J. 1959a. Changes occuring during rigormortis and subsequent ripening of muscle tissue. Proc. 1th Recip. Meats. Conf.

Callow, E. H. 1938. The ultimate pH of muscular tissue. Cited in Briskey E. J. and J. Wismer Pederson. 1961. J. of Food Sci. Vol 26 : 297.

Carpenter, J. A., J. G. Elliot and A. E. Reynolds. 1973. Isolation of Salmonellae from pork carcasses. Applied Micro. Vol. 25 : 731.

Cleland, A. C. and R. L. Earle. 1977. A comparison of analytical and numerical methods of predicting the freezing time of foods. J. of Food Sci. Vol. 42 : 1390.

Connell, J. J. 1968. in Low temperature biological of food stuffs. eds. by Hawthorn, J. and E. J. Rolfe. Pergamon Press, Oxford.

Cowell, W. D. and M.S.S. Namor. 1974. Heat transfer coefficients in plate freezing The effect of packaging materials in Current studies an the thermophysical properties of food stuffs. Int. Ins. of Ref. Annex., London.

Currier, M., M. Singleton, J. Lee and D. R. Lee. 1986. Salmonella in swine at slaughter Incidence and serovar distribution at different seasons. J. of Food Protect. Vol 49 : 366.

Earle, R. L., and A. K. Fleming. 1967. Cooling and freezing of lamb and mutton carcasses. I. Cooling and freezing rates in legs. Food Technol. Vol 21 : 1

EEC. 1978. Leaflet No. 171. O. J. No. L. 25, 31.1 P. 21

Fleming, A. K. 1974. The New Zealand approach to meat freezing. in Meat freezing why and how. Agr. Res. Counncil. M. R. I. Symposium No. 3. April 23 - 24 , Bristol.

Georgala, D. L, and A. Hurst. 1963. The survival of food poisoning bacteria in frozen food. J. Appl. Bact. Vol 26 : 346.

Hamm R. 1959. Biochemistry of meat hydration. Ann. Res. Conf. Am. Meat Inst. Res. Found. New York.

Heldman, D. R. 1975. Food process engineering. The Avi Publ. Co., Inc., Westport, Connecticut.

Hewitt, M. R., F. J. Nicholsan, G. P. Hill and G.L.Smith. 1974. Freezing times for block of fish in vertical plate freezers. The effect of contact area and block density. in Current studies an the thermophysical properties of food stuffs. Int. Ins. of Ref. Annexe. 1974, London.

Honikel, K. O. and J. O. Reagan. 1986. Influence of different chilling conditions an hot-boning pork. J. of Food Sci. Vol. 51 : 766.

Howard, A., R. A. Lawrie and C. A. Lee. 1960. Studies on beef quality VIII Some observations an the nature of drip. C.S.I.R.O. Aust. Div. Food Res. Pres. Transp. Tech. Pap. No. 15

Keskinel, A., J. C., Ayres, and H. E. Snyder. 1964. Determination of oxidative changes in raw meats by the 2-thiobarbituric acid method. Food Technol. Vol 18 : 101

Khan A. W. and L. Van den BERG. 1967. Biochemical and quality changes occuring during dreezing of poultry meat. J. of Fd. Sci. Vol 32: 148.

Law, H. M., S. P. Yang, A. M. Mullins and M. M. Fielder. 1967. Effect of storage and cooking on qualities of loin and top round steak. J. Food Sci. 32:637.

Lawrie, R. A. 1953. The onset of rigor mortis in various muscles of the draught horse. J. Physiol. vol. 212 : 275

Lawrie, R. A., D. P. Gatherum and P.P. Hale, 1958. Abnormally low ultimate pH in pig muscle. Nature Vol. 182 : 807.

Lea, C. H. 1962. in Lipids and their oxidation. eds. by Schultz, H. W., E. A. Day and R. O. Sinnhuber. The Avi. Publ. Co., Westport, Connecticut.

Love, R. M. 1956. Influence of freezing rate on the denaturation of cold store fish. Nature, Vol. 178 : 988.

Lundstrom, K. 1984. Cited in Honikel, K. O. and J. O. Reagan. 1986. Influence of different chilling conditions on hot-boning pork. J. of Food Sci. Vol 51(3) : 766.

Marsh, B. B. 1954. Rigor mortis in beef. J. Sci. Food Agr. Vol 5 : 70

Miller, W. O., R. L. Saffle and S. B. Zirkle 1968. Factors which influence the waterholding capacity of various types of meat. Food Technol. Vol. 22 : 1139.

Murrel, K. D. 1985. Strategies for the control of human Trichinosis transmitted by pork. Food Technol. Vol. 39 : 65.

Ockerman, H. W. 1976. Quality control of post-mortem muscle tissue. Vol II Dep. of Ani. Sci. The Ohio State Univ. and the Ohio Agr. Res. and Dev. Center. Ohio.

Patterson, R.L.S. 1975. Meat. eds by. Cole, D.J.A. and R.A. Lawrie. The Avi. Publ. Co., Westport. Connecticut.

Pearson, A. M., R. G. West and R. W. Luecke. 1959. The vitam in and amino acid content of drip obtained upon defrosting frozen pork. Food Res. Vol 24 : 515.

Penny, I. F. 1974. The effect of freezing on the amount of drip from meat. in Meat freezing why and hov. Agr. Res. Council. M. R. I. Symposium No. 3 April 23 - 24 , Bristol.

Privett, O. S. 1954. The deterioration of fatty acid in meats during storage. Hormel Inst. Univ. of Minnesota. Annual Report (1951-52) 10-14. C. A. 48, 4143.

Purschel, M. and G. Scheibner. 1972. Studies on post-mortem changes in meat during storage II Change in organic phosphate, amonia and non-protein nitrogen contents and pH of chilled and frozen beef and pork during storage. Nahrung 16(1) : 9-16.

Ramsbottom, J. M. 1947. Freezer storage effect on fresh meat quality. Ref. Eng. vol 53 : 19

Schitler, L. E. 1965. Preventive medicine and public health. 9th ed. New York.

Schmidt, G. R. and K. V. Gilbert 1970. The effect of muscle excision before the onset of rigor mortis on the palatability of beef. J. Food Technol. Vol. 5:331.

Sinnhuber, R. O., and T. C. Yu. 1952. 2-thiobarbituric acid method for the measurement of rancidity in fishery products. 2 the quantitative determination of malonaldehyde. Food Technol. Vol 12 : 9.

Slavin, J. W. 1964. Freezing seafood now and in the future. ASHRAE (Amer. Soc. Heat-Refrig., Air-Cond. Eng.) Vol. 6 : 43

Smith, G.C., C. W. Spaeth, Z. L. Carpenter, G. T. King and K. E. Hoke 1968. The effects of freezing, frozen storage conditions and degree of doness on lamb palatability characteristic. J. of Fd. Sci. Vol. 33 : 19

Speck M. L. 1976. Compendium of method for the microbioloical examination of foods. American Public Health Association, New York.

Sulzbacher, W. L. 1950. Survival of microorganisms in frozen meat. Food Technol. Vol 4 :386.

Sulzbacher, W. L. and A. M. Gaddis, 1968. Meats. in The freezing preserva tion of food. Vol II eds by Tressler, D. K., W. B. Vans Arsdel, M. J. Copley. The Avi. Publ. Co., Westport, Connecticut.

Sulzbacher, W. L. 1974. Frozen meat an American perspective. Meat Research Institute Symoposium No. 3. April, 23 - 24 . Bristol.

Tarladgis, B. G., B. M. Walts, M. T. Younathan and L. Dugan 1960. A distil lation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. J. Am. Oil Chemists Soc. 37 : 44.

Taylor, R. J. and Dant, 1971. Influence of carcass cooling rate on drip loss in pigment. J. Food Technol. Vol. 6:131.

Tien, R. H. and V. Koump, 1969. Effect of density change an the solidifi cation of alloys. ASME Pap. 69-HT 45

Turner, E. W., W. D. Paynter., E. J. Montie., M. W. Bessert., G. M. Struck, and F. C. Olson. 1954. Use of the thiobarbituric acid reagent to measure rancidity in frozen pork. Food Technol. vol. 8 : 326.

Warries, P. D. 1982. The relationship between pH 45 and drip in pig muscle. J. Food Technol. Vol 17 : 573.

Watts, B. M. 1962. in Lipids and their oxidation eds. by Schultz, H. W., E. A. Day and R. O. Sinnhuber. The Avi. Publ. Co., Westport, Connec ticut.

Wierbiki, E., L. E. Kunkle and F. E. Deatherage. 1957. Changes in the water holding capacity and cationic shifts during the heating and freezing and thawing of meat as revealed by a simple centrifugal method for measuring shrinkage. Food Technol. vol 11 : 69.

Wismer-Pedersen, J. 1959a Some observations on the quality of cured bacon in relation to antemortem treatment. Acta. Agr. Scand. Vol. 8 : 69.

Wismer-Pedersen, J. and E. J. Briskey 1961. Rate of anaerobic glycolysis versus structure in pork muscle. Nature Vol 186 : 318

Wladyka, E. J. and L. E. Dawson 1968. Essential amino acid composition of chicken meat and drip after 30 and 90 days of frozen storage. J. of Food Sci. Vol. 33 : 453.

Wynne, R. L. 1980. Evaluation of optimal processing systems for hot and cold boned pork. M.S. thesis. Univ. of Georgia, Athens.

Zimmermann. W.J., D.G. Olson, A. Sandoval and R. E. Rust. 1985. Efficiency of freezing in eliminating infectivity of Trichinella spiralis in boxed pork products. J. of Food Protect. Vol 48 : 196.

ภาคผนวก

ตัวอย่างการคำนวณ หาระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งชิ้นส่วนเนื้อสุกร (ส่วนขาหน้า)

สูตร $ft = \frac{L\rho}{Tf - Ta}\left(\frac{Pa}{h_s} + \frac{Ra^2}{K}\right)$ จาก Modified Plank's Equation (Slavin, 1964)

เมื่อ ft = เวลาที่ใช้ในการแช่แข็ง

L = ความร้อนแฝง

ρ = ความหนาแน่นของอาหาร

Tf = อุณหภูมิที่จุดแข็งตัวของเนื้อหมู

Ta = อุณหภูมิของเครื่องแช่เยือกแข็ง

h = ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนที่ผิวหน้า

k = การเป็นสื่อความร้อนของอาหารแช่แข็ง

P,R = factor ของรูปร่างของอาหารที่นำมาแช่แข็ง

a = ความหนาของตัวอย่าง/ฟุต

เนื่องจากจุดแข็งตัวของเนื้อสุกร (T_f) = -1.4 °ซ = 29.47 °ฟ (ASHRE 1966)

อุณหภูมิที่ต้องการ (T_a) = -30 °ซ = -22 °ฟ

ρ = 1.06 กรัม/ซม^3 = 66.12 ลบ.ม./ฟุต^3

จากตาราง Thermal data for some food products (Heldman, 1975)

(1) ค่า L = 144 H/100 Btu/ปอนด์

เมื่อ H = % ของน้ำในเนื้อสุกรขาหน้า = 75.17 % (ตารางที่.....)

ดังนั้น $L = \frac{144 \times 75.17}{100} = 108.244$ Btu/ลบ.ม.

(2) ค่า K = Conductivity ซึ่งหาได้จากค่าต่ำกว่าจุดแข็งตัว

$$= 1.44/100 + 0.15\ (100-H)/100 \quad \text{Btu/ฟุต ชม. °ฟ.}$$

$$= 1.4 \times \frac{75.17}{100} + 0.15\ \frac{(100-76.17)}{100} \quad \text{Btu/ฟุต ชม. °ฟ.}$$

$$= 1.052 + 0.037 = 1.089 \quad \text{Btu/ฟุต ชม. °ฟ.}$$

ค่า p และ R คงที่สำหรับสมการของ Plank เมื่อใช้กับภาชนะบรรจุในลักษณะคล้ายก้อน (block) ค่าที่เหมาะสมของ p และ R ที่ได้จากภาพที่ 1

กล่อง (β_1) $\frac{\text{ความยาว}}{\text{ความหนา}} = \frac{8}{2.5} = 3.2$

กล่อง (β_2) $\frac{\text{ความกว้าง}}{\text{ความหนา}} = \frac{6.5}{2.5} = 2.6$

เนื่องจาก β_1 และ β_2 เป็นอัตราส่วนของสองด้านที่ยาวที่สุดต่อด้านที่สั้นที่สุด ดังนั้น ค่า p = 0.295 และ R = 0.084 กล่องสังกะสีที่บรรจุเนื้อสุกรมีความหนา (x) = 5 มม.(0.0166 ฟุต) ค่า K ของสังกะสีที่ 32 °ฟ = 65 Btu/ฟุต °ฟ (Beldman, 1975) ค่า h โดยประมาณของ contact plate freezer = 5 Btu/ฟุต^2 °ฟ. เนื่องจากการทดลองครั้งนี้บรรจุตัวอย่างในกล่อง ดังนั้นจึงคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนของเนื้อสุกรทั้งก้อน (h_t) แทนค่า h

ค่า conductance ของกล่องสังกะสี $= \frac{X}{K} = \frac{0.0166}{65}$

$$\therefore \quad \frac{1}{h_t} = \frac{X}{K} + \frac{1}{h_s}$$

$$= \frac{0.0166}{65} + \frac{1}{5}$$

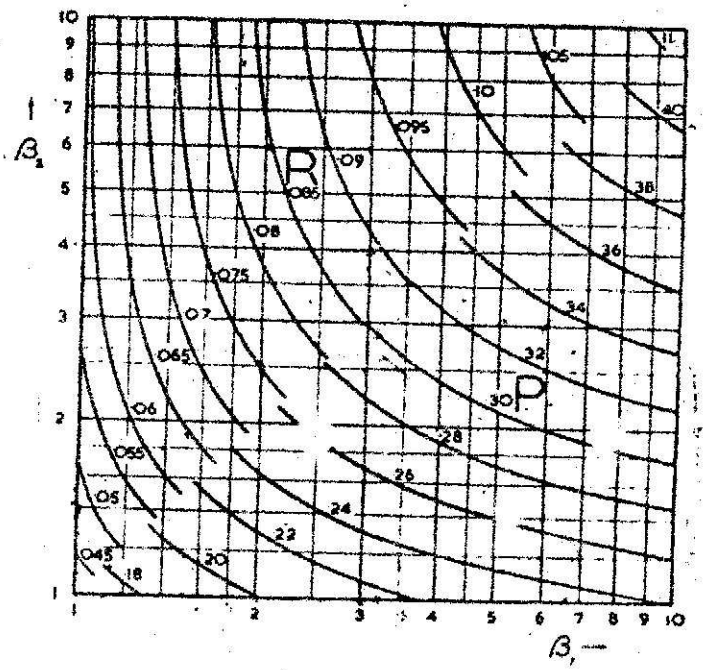
$$= 4.99$$

จากสมการของ Plank

$$t_f = \frac{L\rho}{T_f - T_a}\left(\frac{Pa}{h_s} + \frac{Ra}{k}\right)$$

แทนค่าได้ $$t_f = \frac{108.24 \times 66.12}{29.48 - (-22)}\left(\frac{0.295(2.5/12)}{4.99} + \frac{0.084(2.5/12)^2}{1.089}\right)$$

ดังนั้น เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งเนื้อสุกรชาหน้า = 130.8 นาที



ภาพผนวกที่ 1 สัมประสิทธิ์ในสมการของแพลงก์ เมื่อใช้กับอาหารในรูปคล้ายก้อนอิฐ

ที่มา : Heldman (1975)

ตารางที่ 1 ความหนาแน่นของชิ้นส่วนต่างของเนื้อสุกร

ชิ้นส่วน	ความหนาแน่น
ขาหน้า	1.0630
ขาหลัง	1.0703
สันนอก	1.0342
สามชั้น	0.9547
ค่าเฉลี่ย	1.0305

วิธีการคำนวณค่าใช้จ่ายการแช่แข็ง

ค่าไฟฟ้า

ค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องคอมเพรสเซอร์ และ มอร์เตอร์ = 6.18 กิโลวัตต์

การปฏิบัติงานใช้เวลา 3 ชม. ต่อการแช่เยือกแข็ง 1 ครั้ง

ค่าไฟฟ้าทั้งหมด = 18.54 กิโลวัตต์

ค่าไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชม. = 1.50 บาท

เพราะฉะนั้น ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าทั้งหมด = 27.81 บาท

เนื่องจากการแช่เยือกแข็ง 1 ครั้ง เครื่องมีความจุ = 80 กก.

เพราะฉะนั้น ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าต่อ 1 กก. = $\frac{27.81}{80}$

= 0.35 บาท

ค่าเผื่อ 10 % สำหรับค่าไฟฟ้าอื่น ๆ = 0.035 บาท

เพราะฉะนั้น ค่าไฟฟ้าต่อเนื้อหมู 1 กก. = 0.08 บาท

= 0.40 บาท

ค่าแรงงาน

ในการทำงาน 1 ครั้ง ใช้คนงานประมาณ = 3 คน

ระยะเวลาที่ต้องใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้น = 9 ชม.

อัตราค่าแรง 56 บาท/วัน เพราะฉะนั้นค่าแรงทั้งหมด = 189 บาท

ค่าแรงงานต่อเนื้อหมู 1 กก. = 2.36 บาท

รวม ค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อเนื้อหมู 1 กก. = 2.76 บาท

ตารางที่ 2 น้ำหนักของซากสุกรและน้ำหนักสัตว์เป็นของสุกรพันธุ์ LR x LW

ตัวที่	น้ำหนักสัตว์เป็น (กก.)	น้ำหนักซาก (กก.)
1	92.40	67.64
2	96.50	69.42
3	90.90	63.60
4	92.60	68.00
5	92.50	67.95
6	91.00	64.00
ค่าเฉลี่ย	92.65	66.77

ตารางที่ 3 ชิ้นส่วนต่าง ๆ คิดจากซากสัตว์ (%)

	% ซาก
สามชั้น	14.5
ซี่โครงและเศษเนื้อ	8.5
เนื้อสัน	15.0
มันแข็ง	12.5
ขาหน้า	10.0
ส่วนอื่น ๆ	13.0
ขาและเศษ	3.0
ขาหลัง	19
ข้อขาและเศษ	4.5

ตารางที่ 4 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของกลิ่นรส

Source of variation	df	ss	ms	F
Treatment	3	.1247	.4156	2.5897*
Sample	3	.2239	.7432	4.6304**
Total	9	.2642	.2935	1.8291
Error	16	.2568	.1605	

F .05 = 2.54 F .01 = 3.78

ตารางที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของความชุ่มฉ่ำ

Source of variation	df	ss	ms	F
Treatment	3	.1931	.6436	2.1537
Sample	3	.6453	.2151	7.1988**
Total	9	.3488	.3876	1.2971
Error	16	.4781	.2988	

ตารางที่ 6 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของความหนืด

Source of variation	df	ss	ms	F
Treatment	3	.1928	.6428	1.5737
Sample	3	.4736	.1578	3.8652**
Total	9	.2233	.2481	6.0747**
Error	16	.6535	.4084	

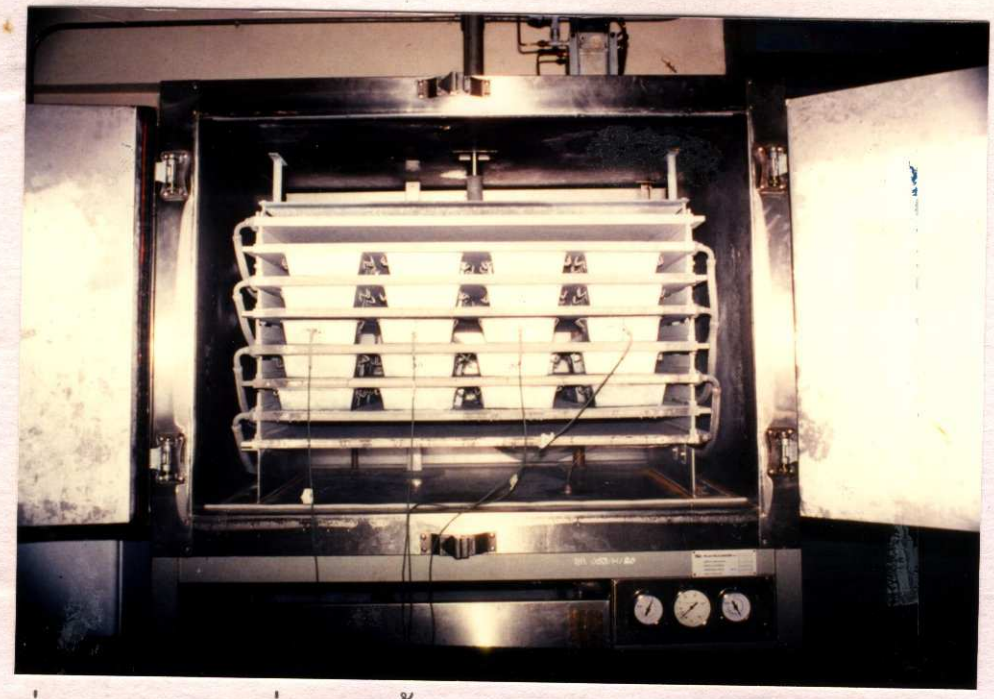
ตารางที่ 7 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของการยอมรับ

Source of variation	df	ss	MS.	F
Treatment	3	.1497	.4992	1.3341
Sample	3	.6438	.2146	5.7349**
Total	9	.9948	.1105	2.9539
Error	16	.5987	.3742	

ภาพผนวกที่ 2 การจัดเตรียมตัวอย่าง

ภาพผนวกที่ 3 ตัวอย่างเตรียมพร้อมจะบรรจุกล่อง

ภาพผนวกที่ 4 การบรรจุกล่องและการเสียบ thermocouple

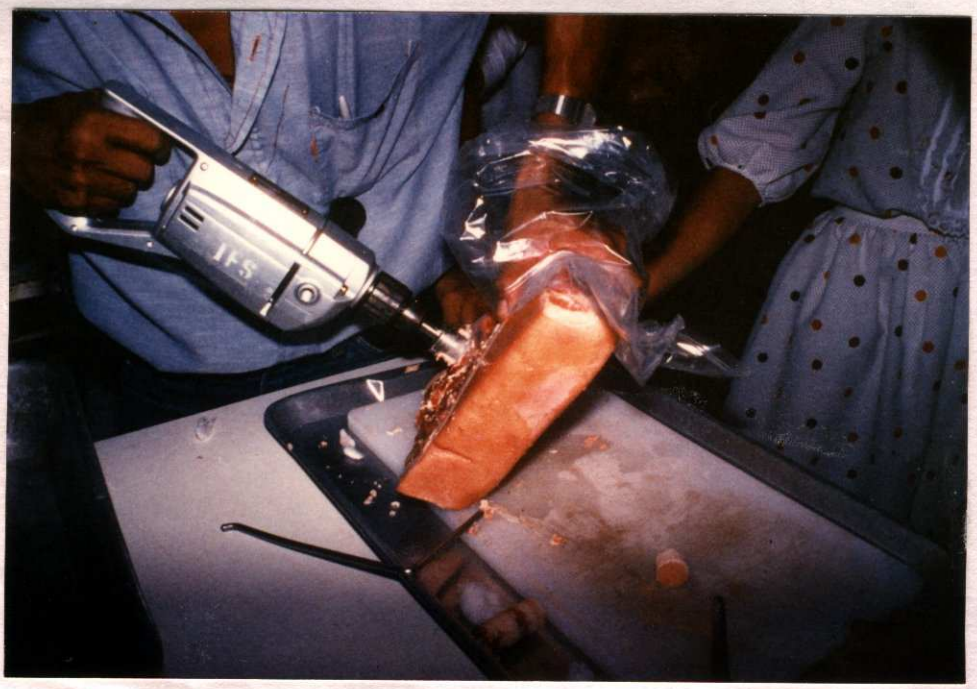


ภาพผนวกที่ 5 การจัดเรียงกล่องบรรจุเนื้อใน contact plate freezer

ภาพผนวกที่ 6 การวัดอุณหภูมิขณะแช่เยือกแข็ง

ภาพผนวกที่ 7 บรรจุในถุงโพลีเอธิลีนและกล่องกระดาษก่อนนำไปเก็บที่อุณหภูมิ -20° ซ

ภาพผนวกที่ 8 การเก็บตัวอย่างและตัดแต่งก่อนการแช่เยือกแข็ง



ภาพผนวกที่ 9 การเก็บตัวอย่างตรวจทางเคมีและจุลินทรีย์

ภาพผนวกที่ 10 การเก็บตัวอย่างตรวจทางเคมีและจุลินทรีย์

แบบสอบถาม

ชื่อผู้ตรวจ.....วันที่ตรวจ.....

ชนิด หมูแช่เยือกแข็ง เวลา.....

ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ผ่านการแช่แข็งที่ -30 °ซ เก็บที่อุณหภูมิ -20 °ซ นำมาตรวจคุณภาพเพื่อดูความแตกต่างของตัวอย่าง ขอให้ชิมทีละตัวอย่าง ตรวจให้คะแนน

	I	II	III	IV
กลิ่น				
ความชุ่มฉ่ำ				
สี				
ความยอมรับ				

หมายเหตุ

กลิ่น			ความชุ่มฉ่ำ			การยอมรับ			ความหืน		
ดีมาก	=	10	ดีมาก	=	10	ดีที่สุด	=	10	หืนมากที่สุด	=	10
ดี	=	7	ดี	=	7	ดีมาก	=	7	หืนมาก	=	7
ปกติ	=	5	ปกติ	=	5	ดี	=	5	หืนปานกลาง	=	5
หืน	=	3	น้อย	=	3	ปกติ	=	3	หืนน้อย	=	3
หืนมาก	=	1	แห้ง	=	1	ไม่ยอมรับ	=	1	ไม่หืน	=	1

ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....