

บทความวิจัย (Research Article)**การประเมินคุณลักษณะการแทรกผ่านความร้อนและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋น
ในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน**นพเก้า พันธุ์แดง¹, สุวาลี ฟองอินทร์¹ และ ไพ่แดง ขวัญใจ^{1*}**Evaluation of heat penetration characteristics and qualities of stewed beef
product in retort pouch by sterilization process**Noppakao Phandaeng¹, Suwalee Fong-In¹ and Paidaeng Khwanchai^{1*}¹ Division of Food Science and Technology, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author: paidaeng.kh@up.ac.th

Health Science, Science and Technology Reviews. 2023;16(2):118-131.*Received: 29 August 2022; Revised: 6 August 2023; Accepted: 9 August 2023***บทคัดย่อ**

เนื้อตุ๋นได้รับการเตรียมตามสูตรมาตรฐาน แล้วบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ด้วยปริมาณชิ้นเนื้อ 90 กรัม และน้ำซุปล 130 กรัม จากนั้นทำการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (retort) โดยใช้ตัวกลางให้ความร้อนด้วยส่วนผสมไอน้ำ-อากาศภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส บันทึกข้อมูลเวลา-อุณหภูมิระหว่างกระบวนการให้ความร้อน จนกระทั่งได้รับค่า F_0 สำหรับกระบวนการฆ่าเชื้อเป็น 12.15 นาที ซึ่งผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นได้รับการฆ่าเชื้อทางการค้า จากนั้นทำการทดสอบข้อมูลคุณลักษณะการแทรกผ่านความร้อนและคุณภาพผลิตภัณฑ์พบว่าค่า heating lag factor (J_h) และ cooling lag factor (J_c) มีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่า heating rate index (f_h) มีค่าเป็น 23.60 นาที สำหรับการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีกายภาพ พบว่าผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อมีคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ความเหนียวเป็นกาวหรือยาง และความทนต่อการเคี้ยว ต่ำกว่าเนื้อตุ๋นที่ไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ ในทำนองเดียวกัน เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ ($p \leq 0.0$) ปรากฏค่าสี L^* a^* b^* และ chroma ที่มีค่าต่ำกว่าเนื้อตุ๋นที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบชิมจะเห็นได้ว่าเนื้อตุ๋นตัวอย่างควบคุมและเนื้อตุ๋นบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจนได้รับค่า F_0 เป็น 12.15 นาที ได้รับการยอมรับทางด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัส ผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์สำหรับการศึกษานี้สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ถือเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพและสะดวกที่สามารถใช้ในการถนอมเนื้อสัตว์ในรูปแบบอาหารพร้อมรับประทาน

คำสำคัญ: เนื้อตุ๋น, รีทอร์ทเพาซ์, กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน, ค่า F_0 , คุณลักษณะการแทรกผ่านความร้อน¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

Abstract

The stewed beef was prepared according to the standard recipe. Pouches filled with 90 g of meat and 130 g of soup medium were retorted to a F_0 value of 12.15 min in an over-pressure steam/air mixture retort at 121 °C. Time-temperature data were collected during heat processing. Retort cooked products were tested for heat penetration data and quality characteristics. The product was commercially sterile processed at that lethality, with heat penetration characteristics indicating similar heating (J_h) and cooling lag factor (J_c) while the heating rate index (f_h) value was 23.60 min. Retorting decreased the product texture profile, such as hardness, springiness, gumminess, and chewiness. Retort-processed products had significantly lower L^* , a^* , b^* and chroma values ($p \leq 0.05$). Process product showed no significant differences ($p > 0.05$) between the two samples for overall acceptability. A stewed beef product with an F_0 value of 12.15 min was found to have acceptable sensory quality characteristics. For the current study, a stewed beef product in a retort pouch can be kept at room temperature. This highly efficient and convenient technology can be used for preserving beef in ready-to-eat form.

Keywords: Stewed beef, Retort pouch, Thermal processing, F_0 value, Heat penetration characteristic

บทนำ

การถนอมอาหารสามารถทำได้หลายเทคนิค ในการแช่เย็นหรือแช่เยือกแข็งแม้ว่าจะได้รับคุณภาพอาหารที่ใกล้เคียงกับของสดแต่ต้องเสียต้นทุนค่าใช้จ่ายตลอดห่วงโซ่ตั้งแต่การแปรรูป การขนส่ง และการจำหน่าย ขณะที่การอบแห้งแม้ว่าสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้ที่อุณหภูมิห้องแต่อาหารอาจมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง ส่วนการใช้ความร้อนในกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์อาหารถือเป็นวิธีการหนึ่งในการถนอมอาหารที่สามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้โดยใช้ความร้อนไปทำลายสปอร์และจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและเป็นสาเหตุทำให้อาหารเน่าเสีย ในกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน อาหารได้รับความร้อนในสภาวะที่รุนแรง (121.1 องศาเซลเซียส) ซึ่งอาจส่งผลต่อการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางประสาทสัมผัส [1] การออกแบบกระบวนการให้ความร้อนที่เหมาะสมจำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของอาหารต่อผู้บริโภคโดยการทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย โดยที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสลายคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารน้อยที่สุด [2] ทั้งนี้การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนภายใต้สภาวะปลอดเชื้อแบบทางการค้า (commercial sterilization) ต้องพิจารณาถึงตัวแปรหนึ่งที่สำคัญ ได้แก่ ค่า F_0 ซึ่งหมายถึงเวลาของการฆ่าเชื้อที่เทียบเท่า ณ อุณหภูมิ 121.1 องศาเซลเซียส ของกระบวนการฆ่าเชื้อที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิอื่นๆ ซึ่งตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 335 พ.ศ. 2556 อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทสำหรับการฆ่าเชื้ออาหารที่เป็นกรดต่ำ กำหนดให้ค่า F_0 จะต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 3 นาที เพื่อให้เพียงพอต่อการทำลายสปอร์ของ *Clostridium botulinum* ซึ่งค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง 8 - 20 นาที [3]

ทางเลือกหนึ่งในปัจจุบันที่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนคือเทคโนโลยีการบรรจุในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว (flexible packaging) ทำจากฟิล์มหลายชั้นมาเชื่อมประสาน (laminates) ที่สามารถทนต่ออุณหภูมิในการแปรรูปด้วยความร้อนและนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการฆ่าเชื้อเช่นเดียวกับกระป๋องโลหะ [2] บรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ถือเป็นบรรจุภัณฑ์หนึ่งสำหรับการแปรรูปด้วยความร้อนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของอาหาร [4] บรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์มีข้อได้เปรียบเหนือกระป๋องโลหะหลายประการ นั่นคืออาหารที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ต้องการความร้อนน้อยกว่าภาชนะโลหะหรือบรรจุภัณฑ์แก้วแบบดั้งเดิมเพื่อให้ปลอดเชื้อในเชิงการค้า โดยลดเวลาในการให้ความร้อนและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงประมาณครึ่งหนึ่ง เนื่องด้วยบรรจุภัณฑ์

รีทอร์ทเพาซ์มีความบางจึงช่วยเพิ่มอัตราการแทรกผ่านความร้อนเข้าไปยังอาหาร และลดเวลาของกระบวนการฆ่าเชื้อ รวมถึงช่วยรักษาปัจจัยด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารได้สูงสุด [5]

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารบรรจุในรีทอร์ทเพาซ์มีการผลิตและเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในประเทศไทย นอกจากนี้ แนวโน้มของตลาดในปัจจุบันยังแสดงให้เห็นถึงความต้องการในวงกว้างสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมรับประทานที่มีความสะดวกและสามารถแปรรูปได้หลากหลายรูปแบบ หนึ่งในอาหารพร้อมรับประทานที่เป็นที่น่าสนใจนั้นคือผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ สำหรับเนื้อตุนนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมต่างๆ ของวัตถุดิบหลายชนิด และต้องใช้เวลาในการตุ๋นจนสามารถรับประทานได้ สำหรับเนื้อโคส่วนน้อง/ขาลายนั้นถือเป็นเนื้อตกรีดที่ไม่เหมาะสมที่จะนำส่งเนื้อส่วนดังกล่าวไปจำหน่ายยังตลาดที่ให้ราคาสูงได้ ทำให้เนื้อตกรีดเหล่านี้มีการจำหน่ายในราคาที่ต่ำกว่า ส่งผลให้มูลค่าของเนื้อส่วนดังกล่าวลดลง เกษตรกรผู้เลี้ยงจึงมีรายได้ลดลงหรือขาดทุนในเกษตรกรบางราย ทำให้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการแก้ไขปัญหาเนื้อส่วนที่ตกรีด

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการพัฒนาระบบการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อตุนพร้อมรับประทานโดยใช้เนื้อโคส่วนน้อง/ขาลายที่เป็นเนื้อตกรีดเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเนื้อโคส่วนดังกล่าวด้วยเทคนิคการแปรรูปเพื่อบรรจุในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ตลอดจนประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านคุณภาพเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เนื้อตุนที่ไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน โดยมีวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาเพื่อประเมินกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนและตรวจสอบคุณภาพสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อตุนพร้อมรับประทานในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์

วัสดุและวิธีการ

วัตถุดิบ และการเตรียมเนื้อตุน

วัตถุดิบ

เนื้อโคขุนสดส่วนน้อง/ขาลายที่จัดเป็นเนื้อตกรีด ซื้อมาจากสหกรณ์โคขุนดอกคำใต้ จำกัด จังหวัดพะเยา นำเนื้อโคขุนสดส่วนน้อง/ขาลายมายังห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหารภายใต้สภาวะการแช่เย็น นำเนื้อมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเย็นและสะเด็ดให้แห้ง นำเนื้อสดเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ก่อนจะนำมาทำเนื้อตุนทำการละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำเนื้อมาหั่นให้มีขนาดเล็กประมาณ $3.5 \times 3.0 \times 2.0$ เซนติเมตร ส่วนวัตถุดิบอื่นๆ ที่เป็นเครื่องเทศสมุนไพรและเครื่องปรุงรส (ตาราง 1) ซื้อมาจากตลาดสดและซูเปอร์มาร์เก็ตในจังหวัดพะเยา

การเตรียมเนื้อตุน

วัตถุดิบที่ใช้สำหรับเป็นส่วนประกอบในการทำเนื้อตุนให้ไว้ดังตาราง 1 เตรียมเนื้อตุนที่ห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร โดยมีกรรมวิธีการเริ่มจากชั่งชิ้นเนื้อและวัตถุดิบส่วนผสมอื่นๆ ตามสูตร นำน้ำไปต้มให้เดือด จากนั้นนำชิ้นเนื้อและวัตถุดิบส่วนผสมอื่นๆ ใส่ลงในน้ำเดือด ตุ่นด้วยหม้อตุนไฟฟ้า (Model No. VC145130, Tefal, Thailand) ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วแยกชิ้นเนื้อและน้ำซุสออกจากกันโดยใช้ตะแกรง รอกการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์

ตาราง 1 สูตรมาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋น

ส่วนผสม	น้ำหนัก (กรัม)
เนื้อโคขุนสดส่วนน่องลาย	1000
ซิงแก	55
เมล็ดผักชี	14
โป๊ยกั๊ก	12
อบเชย	8
กระเทียม	8
พริกไทยดำ	6
ข่าหั่นชิ้น	6
ใบกระวาน	3
น้ำตาล	50
เกลือ	3
ซอสหอยนางรม	72
ซอสปรุงรส	50
ซีอิ๊วดำ	13
น้ำ	1000

ที่มา: Authentic Thai cuisine-halal: Dusit Thani college standard [6]

การบรรจุและปิดผนึกบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์

บรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ซึ่งซื้อจากบริษัทจำหน่ายบรรจุภัณฑ์ทางการค้า (บริษัท พีพีเอ็ม แพค จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ) วัสดุบรรจุภัณฑ์เป็นชนิดยืดหยุ่นที่มีฟิล์มหลายชนิดมาเชื่อมประสานกัน ประกอบด้วยโพลีเอสเตอร์หนา 12 ไมโครเมตร (ชั้นนอก) ไนลอน หนา 15 ไมโครเมตร และอลูมิเนียมฟอยล์ หนา 9 ไมโครเมตร (ชั้นกลาง) และโพลีโพรพิลีน หนา 90 ไมโครเมตร (ชั้นใน) บรรจุภัณฑ์ดังกล่าวนำมาใช้บรรจุเนื้อตุ๋นในการศึกษานี้ บรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์เป็นแบบถุงตั้ง (stand-up pouch) ขนาด 12 เซนติเมตร x 20 เซนติเมตร (มิติด้านนอก) ที่มีสามารถบรรจุได้เต็มที่ประมาณ 250 กรัม

บรรจุชิ้นเนื้อให้มีน้ำหนักเนื้อประมาณ 90 ± 2 กรัม ในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ เติมน้ำซุปลงไปจนได้น้ำหนักสุทธิ 220 ± 2 กรัม โดยใช้กรวยสเตนเลสเพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อน ระมัดระวังเพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์ปนเปื้อนบริเวณปิดผนึกในบรรจุภัณฑ์ กำจัดอากาศในช่องว่างเหนืออาหารออกโดยค่อยๆ บีบถุงด้วยมือ และปิดผนึกปากถุงโดยใช้เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน (Brother Plasticfilm Sealer, Type PCS 200/300, China)

การประเมินคุณลักษณะการแทรกผ่านความร้อนในกระบวนการฆ่าเชื้อ

หน่วยปฏิบัติการของเครื่องฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ-อากาศ (steam-air retort) แบบนั่งแนวนอนระดับห้องปฏิบัติการ (Zhucheng Zhongtai Machinery Co. Ltd, Shandong, China) ที่ใช้ในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนในการทดลองนี้ ประกอบด้วยตัวเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน เครื่องกำเนิดไอน้ำ หน่วยให้อากาศ บั๊มแบบหมุนเหวี่ยง และระบบแผงวงจรควบคุม ระบบของอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษานี้มีลักษณะเช่นเดียวกับเครื่องฆ่าเชื้อที่ใช้ในระดับเชิงพาณิชย์ ซึ่งให้ระดับความแม่นยำและความถูกต้องสูง

การศึกษาการแทรกผ่านความร้อน (heat penetration study) นำบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ที่จะนำไปใช้หาค่า F_0 ทำการเจาะรูแล้วนำตัววัดอุณหภูมิ (thermocouple gland) ยึดตรึงไว้กับบรรจุภัณฑ์แล้วสอดหัววัดอุณหภูมิชนิดเข็ม (thermocouple probe, type K) เข้าไปในตัวยัด นำส่วนปลายหัววัดอุณหภูมิด้านในถุงเจาะให้ทะลุขึ้นเนื้อชิ้น

ได้อุ่นหนึ่งบริเวณกลางขึ้นอย่างระมัดระวังสำหรับบันทึกอุณหภูมิใจกลางผลิตภัณฑ์ (T) ระหว่างกระบวนการให้ความร้อนด้วยเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน บรรจุเนื้อส่วนที่เหลือพร้อมน้ำซุปรและปิดผนึกปากถุงตามวิธีการข้างต้น นำตัวอย่างที่ปิดผนึกแล้วฆ่าเชื้อด้วยความร้อนเพื่อให้ได้ค่า F_0 ที่ต้องการ (12 นาที) ที่อุณหภูมิที่กำหนด หัววัดอุณหภูมินำส่งข้อมูลไปยังเครื่องบันทึกข้อมูล Ellab CTF 9008 (Ellab A/S, Roedovre, Denmark) เพื่อบันทึกข้อมูลอุณหภูมิใจกลางผลิตภัณฑ์ (T) อุณหภูมิเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (T_r) ค่า F_0 และค่า cook value สำหรับทุก ๆ หนึ่งนาที ระหว่างกระบวนการ ทำการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน 121 องศาเซลเซียส รักษาความดันอากาศไว้ที่ 175 kPa ตลอดช่วงการให้ความร้อนและการทำให้เย็น หลังจากสิ้นสุดกระบวนการให้ความร้อน ผลิตภัณฑ์ในรีทอร์ทเพาซ์ที่ต้องการหาค่า F_0 ถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วเพื่อให้อุณหภูมิใจกลางผลิตภัณฑ์ลดลงถึง 40 ± 5 องศาเซลเซียส โดยการปั้มน้ำเข้าไปในเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน หลังจากนั้นทำให้บรรจุภัณฑ์ตัวอย่างแห้งและเก็บรักษาไว้ โดยค่า F_0 ที่เป็นการหาอัตราการทำลายเชื้อจุลินทรีย์สะสม (accumulated lethality) เป็นค่าที่แสดงเวลาฆ่าเชื้อเทียบเท่าที่อุณหภูมิ 121.1 องศาเซลเซียส ได้รับจากการคำนวณสำหรับ *Clostridium botulinum* ที่มีค่า z เท่ากับ 10 องศาเซลเซียส ให้ไว้ดังสมการที่ (1)

$$F = \int_0^T 10^{\frac{(121.1-T)}{z}} dt \quad (1)$$

ค่า cook value (C_0) เป็นค่าที่ใช้เพื่อประเมินผลของการให้ความร้อนที่ต้องคำนึงถึงการเสื่อมสลายของสารอาหารและการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ ทำการตรวจสอบได้โดยการวัดระยะเวลาและการสูญเสียสารอาหารระหว่างการให้ความร้อนในลักษณะเช่นเดียวกันกับการหาค่า D ยกเว้นใช้อุณหภูมิอ้างอิงเป็น 100 องศาเซลเซียส แทน 121.1 องศาเซลเซียส และค่า z คือ 33 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการสำหรับการเสียสภาพของไทอะมีน [6]

ข้อมูลที่ได้จากหัววัดอุณหภูมิ (ข้อมูล เวลา-อุณหภูมิ) ถูกนำไปวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ส่วนข้อมูลการแทรกผ่านความร้อนได้จากการพล็อตบนกระดาษกราฟแบบเซมิ-ล็อก ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (T_r) และอุณหภูมิอาหาร ณ จุดร้อนช้าที่สุด (T) หรือ ($T_r - T$) บนล็อกสเกลกับเวลา ซึ่งจะได้กราฟของ heating curve แล้วหาค่าของตัวแปรข้อมูลการแทรกผ่านความร้อนจาก heating curve ได้แก่ ค่า heating rate lag factor (J_h) ค่า heating rate index ที่ได้จากความชันของ heating curve (f_h) เวลาในหน่วยนาที่สำหรับการฆ่าเชื้อ ณ อุณหภูมิเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน (U) และ cooling rate Lag factor (J_c) จากนั้นคำนวณหาค่าตัวแปรเหล่านี้ตามวิธีการทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ ความแตกต่างของอุณหภูมิที่เวลาสิ้นสุดการให้ความร้อน (g) เวลาฆ่าเชื้อของกระบวนการ (thermal process time, B) เวลาฆ่าเชื้อทั้งหมดของกระบวนการ (total process time, T_B) และ f_h/U โดยที่เวลาฆ่าเชื้อของกระบวนการ (B) หาได้โดยการนำเวลาฆ่าเชื้อทั้งหมดของกระบวนการ (T_B) ลบด้วยเวลา come up time (CUT) ที่คูณกับเวลาศูนย์ที่ถูกต้อง (corrected zero time) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 58 ดังสมการที่ (5) ดังนั้น เวลาที่เครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดันสามารถปฏิบัติงานได้จริงในช่วง CUT คิดเป็นร้อยละ 42

$$J_h = (T_r - T_{ph}) / (T_r - T_{ih}) \quad (2)$$

$$J_c = (T_r - T_{pic}) / (T_r - T_{ic}) \quad (3)$$

$$U = F_0 \times 10^{\frac{(121.1-T_r)}{z}} \quad (4)$$

เมื่อ T_{pih} = pseudo-initial temperature ระหว่างการให้ความร้อน T_{ih} = อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเมื่อเริ่มให้ความร้อน T_{pic} = pseudo-initial temperature ระหว่างการทำให้เย็น T_{ic} = อุณหภูมิของอาหารเมื่อเริ่มทำให้เย็นลง และ f_h = เวลาในหน่วยนาที่ที่ต้องการสำหรับที่เป็นเส้นตรงของ heating curve เปลี่ยนไป 1 log cycle ซึ่งค่าที่ได้ก็คือความชัน (slope) ของเส้นตรง

$$B = T_B - (0.58 \times CUT) \quad (5)$$

โดยที่ come up time (CUT) คือช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มเปิดไอน้ำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดันจนอุณหภูมิในเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดันถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนด

การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋น

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋น (Texture Profile Analysis, TPA) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ [7] วัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Model No. TA.XT. plus, Stable Microsystems Texture Technologies Inc, UK) วัด TPA โดยใช้หัวกดทรงกระบอก (cylindrical probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (P/75) ใช้ load cell ขนาด 5 กิโลกรัม โดยนำตัวอย่างเนื้อตุ๋นจำนวนแปดชิ้นที่สุ่มมาจากถังผลิตภัณฑ์จำนวนสี่ถังมาวิเคราะห์ ทำการวัดเนื้อสัมผัสสองครั้งติดต่อกันที่ร้อยละ 40 ของความสูงเริ่มต้นของตัวอย่าง ด้วยความเร็ว 12 มิลลิเมตร/วินาที เพื่อให้ได้กราฟแบบสองพีคที่ได้จากแรงกด ข้อมูลของแรงตามเวลาจากการทดสอบนำมาใช้เพื่อหาค่าเฉลี่ยของตัวแปร TPA ตัวแปรด้านเนื้อสัมผัสที่พิจารณา ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness, kgf) จากการกดครั้งที่หนึ่งและสอง (ค่าความแข็ง 1 และ 2) ความยืดหยุ่น (springiness, mm) การเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) ความเหนียวเป็นกาวหรือยาง (gumminess, kgf.mm) และความทนต่อการเคี้ยว (chewiness, kgf/mm)

การวัดค่าสี

นำชิ้นเนื้อตุ๋นและน้ำซุบบีบดผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (HunterLab, Model No. ColorQuest XE, U.S.A.) ใส่ตัวอย่างเนื้อบดในภาชนะแก้วสำหรับใส่ตัวอย่าง (glass cell) และวางไว้ตรงช่องแหล่งกำเนิดแสงของเครื่องวัดสี วัดค่าสีของแต่ละสภาวะจำนวนหกซ้ำแล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ย รายงานค่าสีด้วยระบบ CIE $L^* a^* b^*$ นำค่าต่างๆ ที่วัดได้มาคำนวณและรายงานผลในรูป hue angle และค่า chroma

ค่าความเป็นกรด-ด่าง และวอเตอร์แอคติวิตี (a_w)

นำชิ้นเนื้อตุ๋น 10 กรัม ผสมกับน้ำซุบ 40 มิลลิลิตร บดผสมจนเนื้อตุ๋นละเอียดเป็นเวลา 30 วินาที นำไปวัดค่า pH ด้วยเครื่องวัดค่า pH (Sartorius, Bohemia, New York, USA) และวัดค่า a_w ด้วยเครื่องวัดวอเตอร์แอคติวิตี (water activity meter, Sartorius, Bohemia, New York, USA)

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ โดยใช้ผู้ทดสอบชิมกึ่งฝึกฝน (semi-trained panels) จำนวนจำนวน 30 คน นำตัวอย่างประมาณ 20 กรัม ที่มีอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส ให้แก่ผู้ทดสอบชิมโดยมีการกลั้วปากด้วยน้ำดื่มอุณหภูมิห้องระหว่างตัวอย่าง ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยการให้คะแนนความชอบแบบ 9 - point hedonic scale โดย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ในทุกแผนการทดลองวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แต่ละสิ่งทดลองทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ยกเว้นในด้านการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มโดยใช้วิธี Paired Sample T-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 27.0

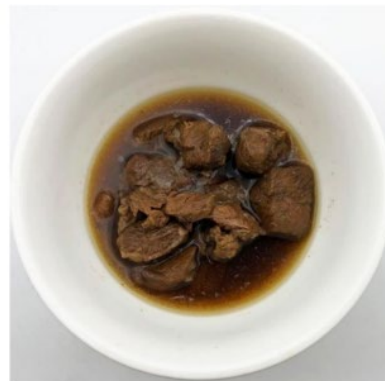
ผลการศึกษา

1. ผลการประเมินคุณลักษณะการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์เนื้อต้นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์

ผลิตภัณฑ์เนื้อต้นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ในการศึกษานี้ได้รับการฆ่าเชื้อจนได้รับค่า F_0 เป็น 12.15 นาที เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เนื้อต้นที่ไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ (รูป 1) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการฆ่าเชื้อแสดงดังตารางที่ 2 อุณหภูมิเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดันและอุณหภูมิใจกลางผลิตภัณฑ์ก่อนได้รับการฆ่าเชื้อคือ 34.53 และ 28.38 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีอัตราการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ (lethal rate) เริ่มต้นเป็น 0.0013 เมื่ออุณหภูมิใจกลางขึ้นเนื้อเพิ่มขึ้นถึง 101.4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดันเป็น 121 องศาเซลเซียส (รูป 2 (ก)) ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส (CUT) ใช้เวลา 12 นาที คิดเป็นร้อยละ 40 ของเวลาฆ่าเชื้อทั้งหมดของกระบวนการ (T_0) โดยที่เวลาฆ่าเชื้อทั้งหมดของกระบวนการที่สภาวะดังกล่าวสำหรับเนื้อต้นคือ 30 นาที ซึ่งคำนวณเวลาฆ่าเชื้อของกระบวนการ (B) จากการบวกเพิ่มเวลา CUT ที่ถือว่าเป็นเวลาระหว่างการปฏิบัติงานของเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดันที่คิดเป็นร้อยละ 42 ได้เท่ากับ 23.62 นาที เวลาในการทำให้เย็นคือ 15 นาที ซึ่งทำให้อุณหภูมิใจกลางผลิตภัณฑ์ลดลงจาก 121 องศาเซลเซียส เป็น 38.08 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดันเท่ากับ 35.89 องศาเซลเซียส เนื่องจากการใช้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเสื่อมสลายของสารอาหาร การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส (มักจะทำให้นุ่มลง) รวมถึงการยับยั้งเอนไซม์ ดังนั้น ค่า cook value จึงถูกนำมาใช้ประเมินผลกระทบของการใช้ความร้อนที่มีต่ออาหารซึ่งควรส่งผลกระทบต่อเนื้อน้อยที่สุดสำหรับค่า cook value ของผลิตภัณฑ์เนื้อต้นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ในการศึกษานี้คือ 61.90 นาที (รูป 2(ข))



(ก)



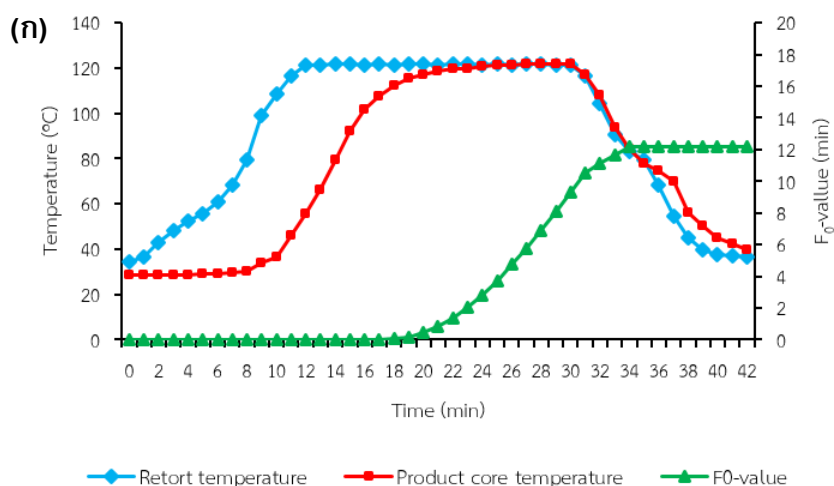
(ข)

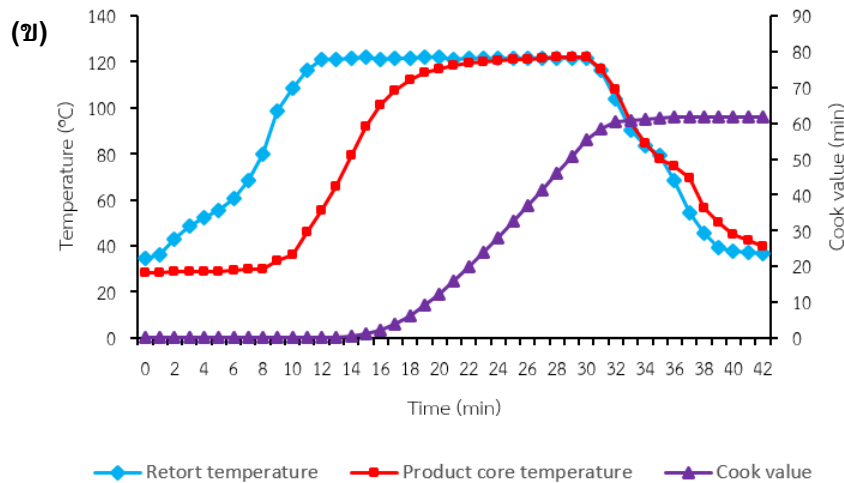
รูป 1 ลักษณะปรากฏของ (ก) เนื้อต้นไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ และ
(ข) เนื้อต้นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ผ่านการฆ่าเชื้อที่ค่า F_0 เท่ากับ 12.15 นาที

คุณลักษณะการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์เนื้อตุนในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์แสดงดังตารางที่ 2 ค่า heating rate index (f_h) สำหรับกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์เนื้อตุนในการศึกษานี้เท่ากับ 23.60 นาที ค่า heating rate lag factor (J_h) ของเนื้อตุนบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ในการศึกษานี้มีค่าเป็น 1.31 ส่วนค่า cooling lag factor (J_c) สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อตุนคือ 1.06 ค่าอัตราส่วน f_h/U เท่ากับ 2.00 ซึ่งเป็นค่าการทำลายจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำให้เย็นและคำนวณโดยใช้สมการที่ได้จาก heating curve ผ่านความสัมพันธ์ของอัตราส่วนดังกล่าว

ตาราง 2 คุณลักษณะการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์เนื้อตุนในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

ตัวแปรของกระบวนการ	$F_0=12.15$ min
Come Up Time (CUT) (นาที)	12
Total Process Time (T_B) (นาที)	30
Thermal Process Time ($B = T_B - 0.58CUT$) (นาที)	23.04
Cooling Time (CT) (นาที)	15
Total Time ($TT = T_B + CT$) (นาที)	45
F_0 Value (นาที)	12.15
Heating Rate Index (f_h)	23.60
Heating Rate Lag Factor (J_h)	1.31
Cooling Rate Lag Factor (J_c)	1.06
U (นาที)	12.28
f_h/U	2.00
g (องศาเซลเซียส)	2.06
Cook Value (นาที)	61.90





รูป 2 รูปแบบการแทรกผ่านความร้อน ที่แสดงค่า F_0 (ก) และค่า Cook Value
(ข) ของเนื้อต้นบรรจุรีทอร์ทเพ้าซ์ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส จนได้รับค่า F_0 เท่ากับ 12.15 นาที

2. ผลการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อต้น

ค่า pH และวอเตอร์แอคทิวิตี

เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าค่า pH และวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) ส่งผลโดยตรงต่อการเจริญของ *C. botulinum* จากวัดประเมินค่า pH และ a_w ของผลิตภัณฑ์เนื้อต้นบรรจุรีทอร์ทเพ้าซ์ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์เนื้อต้นทั้งที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ (ตัวอย่างควบคุม) และเนื้อต้นบรรจุรีทอร์ทเพ้าซ์ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ จัดเป็นอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำ ($pH > 4.6$ และ $a_w > 0.85$) จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูงในการฆ่าเชื้อเพื่อลดจำนวนสปอร์ของแบคทีเรียดังกล่าว จากผลการศึกษาพบว่าค่า pH ของเนื้อต้นผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนมีค่าสูงกว่าเนื้อต้นตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ขณะที่ค่า a_w ของเนื้อต้นทั้งสองสภาวะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตาราง 3

ค่าสี

ค่าสี L^* , a^* , b^* และ Chroma ของผลิตภัณฑ์เนื้อต้นบรรจุรีทอร์ทเพ้าซ์ที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน มีค่าที่ต่ำกว่าเนื้อต้นไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้ออย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตาราง 3) อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าค่า hue ของเนื้อต้นที่ไม่ผ่านและผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

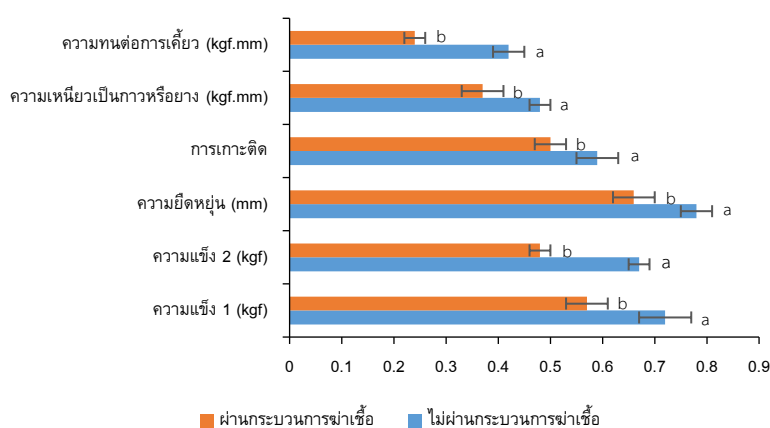
ตารางที่ 3 ค่า pH ค่า a_w และค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อต้นไม่ผ่าน และผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนจนได้รับค่า F_0 เป็น 12.15 นาที

คุณลักษณะ	ไม่ผ่านกระบวนการ	ผ่านกระบวนการ
pH	5.72 ± 0.07^a	6.27 ± 0.03^b
a_w^{ns}	0.96 ± 0.02	0.98 ± 0.01
ค่าสี		
L^*	36.13 ± 0.30^a	33.67 ± 0.26^b
a^*	2.85 ± 0.06^a	1.76 ± 0.11^b
b^*	7.19 ± 0.27^a	5.74 ± 0.36^b
Hue ^{ns}	68.38 ± 1.18	71.95 ± 1.53
Chroma	7.73 ± 0.34^a	6.00 ± 0.24^b

^{a, b} ค่าเฉลี่ยในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$); ^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

เนื้อสัมผัส

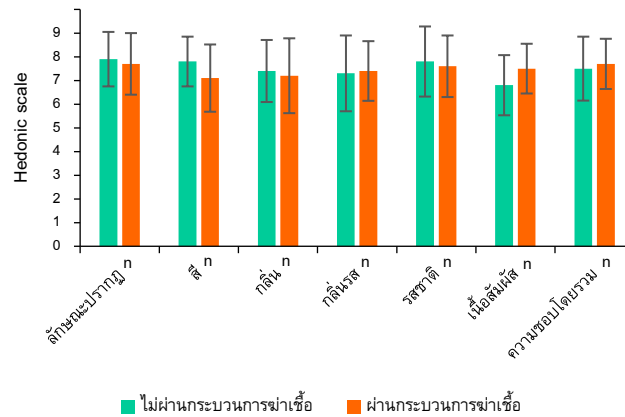
ผลการวิเคราะห์ TPA ของเนื้อตุ๋นไม่ผ่านการฆ่าเชื้อและเนื้อตุ๋นผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพอร์มแสดงดังรูปที่ 3 ค่าความแข็ง 1 สำหรับเนื้อตุ๋นตัวอย่างควบคุมและเนื้อตุ๋นบรรจุรีทอร์ทเพอร์ม คือ 0.72 ± 0.05 kgf และ 0.57 ± 0.04 kgf ตามลำดับ และในกรณีของค่าความแข็ง 2 คือ 0.67 ± 0.02 kgf และ 0.48 ± 0.02 kgf ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความแข็งมีค่าลดลงเมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ($p \leq 0.05$) ค่าความยืดหยุ่นของเนื้อตุ๋นไม่ผ่านและผ่านการฆ่าเชื้อที่ได้รับ คือ 0.78 ± 0.03 mm และ 0.66 ± 0.04 mm ตามลำดับ ส่วนค่าความสามารถเกาะรวมตัวกันมีค่าเป็น 0.59 ± 0.04 และ 0.50 ± 0.03 สำหรับเนื้อตุ๋นตัวอย่างควบคุมและเนื้อตุ๋นบรรจุรีทอร์ทเพอร์ม ตามลำดับ ค่าความเหนียวเป็นยางหรือกาวที่ได้รับคือ 0.48 ± 0.02 kgf.mm และ 0.37 ± 0.04 kgf.mm ตามลำดับ สำหรับเนื้อตุ๋นไม่ผ่านและผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ในทำนองเดียวกัน ค่าความทนต่อการเคี้ยวสำหรับเนื้อตุ๋นตัวอย่างควบคุมและเนื้อตุ๋นบรรจุรีทอร์ทเพอร์มมีค่าเป็น 0.42 ± 0.03 kgf/mm และ 0.24 ± 0.02 kgf/mm ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ



รูป 3 ลักษณะเนื้อสัมผัส TPA ของผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นไม่ผ่าน และผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนจนได้รับค่า F_0 เป็น 12.15 นาที
a, b มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

คุณภาพทางประสาทสัมผัส

คะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนื้อตุ๋นบรรจุรีทอร์ทเพอร์มเปรียบเทียบกับเนื้อตุ๋นที่ไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ (รูป 4) พบว่าได้รับคะแนนความชอบในทุกด้าน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามเป็นที่สังเกตได้ว่าเนื้อตุ๋นผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อได้รับคะแนนความชอบด้านสีลดลง เนื่องจากการใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อเนื้อตุ๋นเป็นเวลานานเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้สีของผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นสว่างน้อยกว่า นอกจากนี้เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพอร์มได้รับคะแนนด้านเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเนื้อตุ๋นตัวอย่างควบคุม เนื่องจากการได้รับความร้อนระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อทำให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้น สำหรับคะแนนความชอบโดยรวมที่ได้รับจากผู้ทดสอบชิมพบว่าทั้งเนื้อตุ๋นไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อและเนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพอร์มที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนได้รับคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



รูป 4 กระประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อส้มไม่ผ่าน และผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนจนได้รับค่า F_0 เป็น 12.15 นาที
ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

วิจารณ์

ในกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์เนื้อส้มในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพอร์มิต ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้รับการฆ่าเชื้อจนได้ค่า F_0 อยู่ในเกณฑ์ที่มีการแนะนำไว้สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ซึ่งควรมีค่า F_0 ระหว่าง 8 ถึง 20 นาที [3] ในการศึกษาครั้งนี้ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเนื้อส้มในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพอร์มิตผ่านกระบวนการฆ่าเชื้ออย่างเพียงพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการฆ่าเชื้อทางการค้า เนื่องจากเป็นไปตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขที่กำหนดให้อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิทและมีความเป็นกรดต่ำต้องผ่านการฆ่าเชื้อที่ F_0 ไม่ต่ำกว่า 3 นาที ระดับการฆ่าเชื้อ (F_0 เท่ากับ 12.15 นาที) ที่ได้รับสอดคล้องกับที่มีการศึกษาโดย Rajkumar et al. [7] ที่ได้รายงานค่า F_0 ของแกงเนื้อแพะในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพอร์มิตมีค่าเป็น 12.1 นาที นอกจากนี้ Gopal et al. [8] ได้รายงานค่า F_0 ของแกงกะหรี่ปลา Kerala เท่ากับ 6.56 ถึง 8.43 นาที และ Shankar et al. [9] ได้รับค่า F_0 เป็น 11.5 นาที สำหรับแกงปลาอินทรีเซียฟิช (seer fish) จะเห็นได้ว่าเวลาของกระบวนการฆ่าเชื้อเนื้อส้มบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพอร์มิตเพียงพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการฆ่าเชื้อทางการค้า ในการประเมินค่า cook value ของเนื้อส้มในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพอร์มิตเปรียบเทียบกับการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่าค่า cook value สำหรับแกงเนื้อแพะในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพอร์มิตมีค่าเป็น 75.35 นาที [7] Ali et al. [10] แนะนำว่าค่า cook value สูงกว่าแสดงว่าเกิดการสูญเสียสารอาหารและการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสที่มากกว่า

ค่า heating rate index (f_h) ซึ่งแสดงถึงอัตราเร็วของการถ่ายโอนความร้อนระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อ เป็นค่าที่บ่งบอกว่าอุณหภูมิที่จุดร้อนช้าที่สุดของอาหารสามารถเพิ่มขึ้นได้รวดเร็วเพียงใด โดยกระบวนการฆ่าเชื้อที่ได้รับค่า f_h สูงกว่าแสดงว่าต้องใช้เวลานานกว่าในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้น นั่นคือการถ่ายโอนความร้อนที่รวดเร็วกว่าส่งผลให้ได้รับค่า f_h ที่ต่ำกว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Mohan et al. [11] ที่ได้รับค่า f_h เป็น 19 ถึง 23.30 นาที ในทำนองเดียวกัน Majumdar et al. [12] ได้รายงานค่า f_h ระหว่าง 18.60 ถึง 24.50 นาที สำหรับแกงปลาสดเทศผ่านการฆ่าเชื้อที่ค่า F_0 ต่างกัน นอกจากนี้ Rajkumar et al. [7] ได้รายงานค่า f_h ของผลิตภัณฑ์แกงเนื้อแพะในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพอร์มิตมีค่าเท่ากับ 32 นาที จากการศึกษาดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่า f_h มีค่าอยู่ในช่วง 18 ถึง 32 นาที ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารเหล่านี้ถือได้ว่าการถ่ายโอนความร้อนโดยการพา (convection) ระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของตัวกลางให้ความร้อน อัตราการไหลของไอน้ำ-อากาศ ขนาดพื้นที่ผิวบรรจุภัณฑ์ ความหนาแน่นผลิตภัณฑ์ ความหนาของบรรจุภัณฑ์ และความหนาของชั้นอากาศ ในทางตรงกันข้ามผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการถ่ายโอนความร้อนโดยการนำ (conduction) จะมีค่า f_h ที่สูงกว่าได้ถึง 30 – 40 นาที [5]

ค่า heating rate lag factor (J_h) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงกลไกการถ่ายโอนความร้อนระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อโดยผลิตภัณฑ์ที่มีค่า J_h ที่สูงแสดงว่ามีการถ่ายโอนความร้อนโดยการนำความร้อน ในทางตรงกันข้ามผลิตภัณฑ์ที่มีค่า J_h ที่ต่ำแสดงว่ามีการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อน ค่าที่ได้รับดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Mohan et al. [11] ที่ได้รายงานค่า J_h สำหรับผลิตภัณฑ์แกงกึ่งเหลวเสียบรรจุรีทอร์ทเพาซ์และกระป๋องเท่ากับ 1.00 และ 1.44 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่า J_h ในการศึกษานี้มีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่ามีส่วนของการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาภายในผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลมาจากการที่ผลิตภัณฑ์มีส่วนประกอบของของเหลวน้ำซุปล

ค่า cooling lag factor (J_c) ในการศึกษาที่สอดคล้องกับค่าที่ได้มีการรายงานในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีของเหลวเป็นส่วนประกอบที่ซึ่งมีการแทรกผ่านความร้อนโดยการพาความร้อน ดังที่ได้มีการศึกษาโดย Shankar et al. [9] สำหรับการฆ่าเชื้อแกงปลาอินทรีเชิยพิชในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ และการศึกษาของ Bindu et al. [13] สำหรับเนื้อหอยแมลงภู่พร้อมรับประทานบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ ค่า J_h และ J_c ที่ได้จากการบวนการฆ่าเชื้อเนื้อต้นบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ในการศึกษานี้มีค่าเป็น 1.31 และ 1.06 ตามลำดับ สอดคล้องกับที่ได้รับการรายงานโดย Ranganna [6] ซึ่งค่าเหล่านี้ อาจแตกต่างกันไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์และขนาดของบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ ค่าอัตราส่วน f_h/U ที่ได้รับสอดคล้องกับที่มีการรายงานโดย Ali et al. [13] ที่ได้รายงานค่าอัตราส่วน f_h/U สำหรับปลาทูน่าในน้ำมันที่มีค่าใกล้เคียงกันกับผลิตภัณฑ์เนื้อต้นบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ในการศึกษานี้

เนื้อต้นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนมีค่า pH สูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่า pH เกิดขึ้นเนื่องจากผลิตภัณฑ์เนื้อต้นนำไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับ Mittal and Blaisdell [14] ที่ได้รายงานการเพิ่มขึ้นของค่า pH ประมาณ 0.16–0.30 ระหว่างการปรุงสุกอาหาร นอกจากนี้ค่า pH ที่เพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์เนื้อต้นหลังผ่านการฆ่าเชื้อในการศึกษาที่สอดคล้องกับการศึกษาของ Rajkumar et al. [7] การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ระหว่างการให้ความร้อนมีสาเหตุเกิดจากการเปลี่ยนแปลงประจุ หรือการเปลี่ยนแปลงพันธะไฮโดรเจน หรือทั้งสองอย่างที่เกิดขึ้นภายในไมโอไฟบริลลารีโปรตีน (myofibrillar protein) โดยความร้อนทำให้พันธะไฮโดรเจนเกิดการแตกตัวส่งผลให้ประจุบวกถูกปลดปล่อยออกมามากขึ้น ทำให้ค่า pH สูงขึ้น [15] ความร้อนยังเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนขึ้นมาใหม่รอบๆ จุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point, pI) ของแอกโทไมโอซิน (actomyosin) ในระหว่างการตกตะกอนของเนื้อเยื่อไมโอไฟบริล (myofibril tissue) ส่งผลให้แอกโทไมโอซินและจำนวนของหมู่ฟังก์ชันที่แสดงความเป็นกรด (acidic groups) มีจำนวนลดลง การให้ความร้อนในช่วง 55 ถึง 80 องศาเซลเซียส ทำให้มีการสร้างพันธะเชื่อมขวาง (cross-link) ใหม่ขึ้นมา และเกิดการสูญเสียหมู่ที่แสดงความเป็นกรด [15]

ในการตรวจสอบค่าสีของเนื้อต้นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ ผลที่ได้สอดคล้องกับที่ได้มีการรายงานโดย Rajkumar et al. [7] การลดลงของค่าสี L^* a^* b^* และ chroma เกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนดังกล่าว ส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (maillard reaction) ระหว่างน้ำตาลและกรดแอมิโน นอกจากนี้ อาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (caramelization) ที่ทำให้เกิดการสลายตัวของโมเลกุลน้ำตาลด้วยความร้อนสูงและมีการเกิดพอลิเมอร์ของสารประกอบคาร์บอนจนได้เป็นสารคาราเมล (caramel) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อจากสว่างกว่าเป็นมืดกว่า [16]

ค่าเนื้อสัมผัส TPA ที่ได้รับสอดคล้องกับการศึกษาของ Mohan et al. [10] Bindu et al. [16] และ Manju et al. [17] แนวโน้มการลดลงของค่าตัวแปร TPA สำหรับเนื้อต้นผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนเป็นผลมาจากการได้รับความร้อนเป็นเวลานานกว่าส่งผลต่อการสลายตัวของโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue protein) ทำให้แรงยึดตัวระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อน้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อวัวที่มีส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เช่น เอ็นพังผืดมาก ความร้อนจะเปลี่ยนสารคอลลาเจนให้เป็นเจลาตินทำให้เนื้อนุ่มขึ้น [18] นอกจากนี้ อาจเกิดจากการเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) ของกล้ามเนื้อคอลลาเจน และการทำลายเซลล์เนื้อเยื่อระหว่างการให้ความร้อน [19]

จากการศึกษาสรุปได้ว่า เนื้อต้นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ได้รับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส จนได้รับค่า F_0 เท่ากับ 12.15 นาที โดยเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อต้นบรรจุรีทอร์ท

พัชร์ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนกับเนื้อตุนที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ พบว่าเนื้อตุนบรรจุรีทอร์ทพัชร์ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากเนื้อตุนตัวอย่างควบคุม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเนื้อตุนผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจนได้รับค่า F_0 เป็น 12.15 นาที เป็นกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อตุนในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทพัชร์ที่สามารถเก็บรักษาไว้ได้ที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าเนื้อตุนไม่ผ่านการฆ่าเชื้อและเนื้อตุนผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทพัชร์ได้รับคะแนนในทุกด้านไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อตุนในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทพัชร์ที่ได้จากการศึกษานี้ถือเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะช่วยขยายไปสู่การใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์สำหรับผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ที่เป็นอาหารพร้อมรับประทานที่มีความสะดวกและกำลังเป็นที่นิยมบริโภคในปัจจุบัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) ประจำปีงบประมาณ 2563 เลขที่สัญญา A13F630008 โครงการวิจัยเรื่องการยกระดับการผลิต แปรรูป และตลาดโคเนื้อจังหวัดพะเยา เพื่อสร้างห่วงโซ่คุณค่าใหม่แก่ผลิตภัณฑ์ชุมชน จากเศรษฐกิจฐานรากสู่มูลค่าเชิงพาณิชย์ ขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ รวมถึงเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Shah MA, Bosco SJD, Mir SA, Sunooj KV. Evaluation of shelf life of retort pouch packaged Rogan josh, a traditional meat curry of Kashmir, India. Food Packag Shelf Life. 2017; 12: 76-82.
- [2] Mohammedali Shihab CP, Hafeeda P, Kumar R, Kathiravan T, Nadanasabapathi S. Development and evaluation of shelf stable retort processed ready-to-drink (RTD) traditional Thari Kanchi payasam in flexible retort pouches. Int Food Res J. 2013; 20(5): 2247-2252.
- [3] Frott R, Lewis AS, editors. Canning of Meat and Fish Products, London: Chapman and Hall; 1994. 305 p.
- [4] Dasan GP, Bojayanai M, Gundubilli D, Banavath SN, Siravati MR, Obaliah MC, Alandur VS. Heat penetration characteristics and quality of ready-to-eat shrimp in masala (*Litopenaeus vannamei*) in flexible retortable pouches. J Food Process Preserv. 2021; 45(5): e15411.
- [5] Hema K, Velayutham P, Mohan CO, Sukumar D, Sundaramoorthy B, Athithan S, Sugumar G, Ravishankar CN, Ashok Kumar K. Thermal process evaluation of analogue shrimp product (ASP) from lizard fish (*Saurida tumbil*) in retort pouches. Indian J Anim Res. 2021; 55(2): 230-235.
- [6] Dusit Thani College. Authentic Thai food- Halal Standards: Dusit Thani College, 1st ed. Bangkok: Dusit Thani College; 2018. 127 p.
- [7] Rajkumar D, Dushyanthan K, Das AK. Retort pouch processing of Chettinad style goat meat curry a heritage meat product. J Food Sci Technol. 2010; 47(4): 372-379.
- [8] Gopal TKS, Vijayan PK, Balachandran KK, Madhavan P, Iyer TSG. Traditional Kerala style fish curry in indigenous retort pouch. Food Control. 2001; 12: 523-527.
- [9] Shankar CNR, Gopal TKS, Vijayan PK. Studies on heat processing and storage of seer fish curry in retort pouches. Packag Technol Sci. 2002; 15: 3-7,
- [10] Ali AA, Sudhir B, Krishnaswamy T, Gopal S. Effect of rotation on the heat penetration characteristics of thermally processed tuna in oil in retort pouches. Int J Food Sci Technol. 2006; 41: 215-219.

- [11] Mohan CO, Ravishankar CN, Gopal TKS, Bindu J. Thermal processing of prawn 'kuruma' in retortable pouches and aluminium cans. *Int J Food Sci Technol*. 2008; 43: 200–207.
- [12] Majumdar KR, Dhar B, Roy D, Saha A. Optimization of process conditions for Rohu fish in curry medium in retortable pouches using instrumental and sensory characteristics. *J Food Sci Technol*. 2015; 52(9): 5671–5680.
- [13] Bindu J, Gopal TKS, Nair TSU. Ready to eat mussel meat processed in retort pouches for retail and export market. *Packag Technol Sci*. 2004; (17): 113-117.
- [14] Mittal GS, Blaisdell JL. Heat and mass transfer properties of meat emulsion. *J Food Sci Technol*. 1984; 17: 94–98.
- [15] Hamm R. Heating of Muscle Systems. In: Brisket EJ, Cassens RG, Trautman JC, editors. *The Physiology and Biochemistry of Muscle as a Food*, 1st ed. Madison: University of Wisconsin Press; 1966, p. 363–385.
- [16] Bindu J, Ravishankar CN, Srinivasa Gopal TK. Shelf life evaluation of a ready-to-eat black clam (*Villorita cyprinoides*) product in indigenous retort pouches. *J Food Eng*. 2007; 78(3): 995-1000.
- [17] Manju S, Sonaji ER, Leema J, Gopal TKS, Ravishankar CN, Vijayan PK. Heat penetration characteristics and shelf life studies of seer fish moilee packed in retort pouch. *Fish Technol*. 2004; 41(1): 37-44.
- [18] Califano AN, Bertola NC, Bevilacqua AE, Zaritzky NE. Effect of processing conditions on the hardness of cooked beef. *J Food Eng*. 1997; 34(1): 41-54.
- [19] Sreenath PG, Martin XKA, Ravishankar CN, Bindu J, Gopal TKS. Standardisation of process parameters for ready-to-eat squid masala in indigenous polymer-coated tin-free steel cans. *Int J Food Sci*. 2007; 42: 1148–1155.