วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 28 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2566
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 28 (No.1) January – April 2023 บทความวิจัย

ผลของกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนต่อคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์

Effect of Thermal Process on Physicochemical Characteristics and Sensory Quality of Stewed Beef Product in Retortable Pouches

ไผ่แดง ขวัญใจ*, วันวิสาข์ ดอกคำ, ปิยะ พันธ์แดง และ สุวลี ฟองอินทร์

Paidaeng Khwanchai*, Wanwisa Dokkhom, Piya Phandaeng and Suwalee Fong-In

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา

Division of Food Science and Technology, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao

Received : 13 April 2022
Revised : 7 June 2022
Accepted : 8 June 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่ค่า F_0 แตกต่างกันของเนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพ้าซ์ เตรียมเนื้อตุ๋นตามสูตรมาตรฐาน จากนั้นทำการฆ่าเชื้อโดยใช้ส่วนผสมไอน้ำ-อากาศภายใต้ความดันในหม้อฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C ด้วยค่า F_0 ที่แตกต่างกันสามค่า ได้แก่ 9 12 และ 15 นาที บันทึกข้อมูลเวลา-อุณหภูมิระหว่างกระบวนการให้ความร้อนโดยใช้เครื่อง Ellab Sterilization Monitoring System พบว่าเวลาฆ่าเชื้อของกระบวนการสำหรับค่า F_0 ที่ 9 12 และ 15 นาที มีค่าเป็น 20.36 23.62 และ 28.04 นาที ตามลำดับ ค่า cook value ที่ได้รับคือ 61.29 61.90 และ 79.85 นาที สำหรับค่า F_0 9 12 และ 15 นาที ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ได้รับการฆ่าเชื้อทางการค้าในทุกสภาวะที่ศึกษา ส่วนคุณลักษณะการแทรกผ่านความร้อนสำหรับค่า heating rate lag factor (J_h) และ cooling rate lag factor (J_c) มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่า heating rate index (f_h) ที่ค่า F_0 เท่ากับ 9 12 และ 15 นาที มีค่าเป็น 20.45 23.60 และ 25.50 นาที ตามลำดับ คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ความเหนียวเป็นกาวหรือยาง และความทนต่อการเคี้ยว มีค่าลดลงเมื่อค่า F_0 เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันค่าสี L^* a^* และ b^* มีค่าลดลงตามค่า F_0 ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้คะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อจนได้ค่า F_0 เป็น 12 นาที ได้รับคะแนนสูงสุด ดังนั้น จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส จะเห็นได้ว่ากระบวนการฆ่าเชื้อจนได้รับค่า F_0 เป็น 12 นาที มีความเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นบรรจุรีทอร์ทเพ้าซ์

คำสำคัญ : เนื้อตุ๋น ; รีทอร์ทเพ้าซ์ ; กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ; ค่า F_0 ; คุณลักษณะการแทรกผ่านความร้อน

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of thermal process with different F_0 values of the stewed beef packed in flexible retortable pouches. Stewed beef was prepared according to the standardized recipe. It was processed in a steam/air mixture over-pressure retort at 121 °C with three different F_0 values of 9, 12 and 15 min. Time-temperature data were collected during heat processing using an Ellab Sterilization Monitoring System. Thermal process times for F_0 values of 9, 12, and 15 min were 20.36, 23.62, and 28.04 min, respectively. The cook value was obtained at 61.29, 61.90, and 79.85 min for F_0 values of 9, 12, and 15 min, respectively. The product was commercially sterile processed at different lethality and heat penetration characteristics indicating similar heating (J_h) and cooling lag factor (J_c). Heating rate index (f_h) value at F_0 values of 9, 12 and 15 min was 20.45, 23.60 and 25.50 min, respectively. Texture profile such as hardness, springiness, gumminess and chewiness decreased as the F_0 value increased. The *L**, *a** and *b** values decreased with increasing F_0 value. The organoleptic evaluation scored the highest for the product processed to F_0 of 12 min. Based on the physicochemical properties and evaluation of sensory quality, F_0 value of 12 min was found to be satisfactory for the preparation of stewed beef in retort pouches.

Keywords : stewed beef ; retort pouch ; thermal processing ; F_0 value ; heat penetration characteristic

***Corresponding author. E-mail** : paidaeng.kh@up.ac.th

บทนำ

การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรได้ส่งผลตามมาด้วยการขยายตัวของสภาพสังคมเมืองอย่างรวดเร็ว ผู้คนใช้ชีวิตบนความเร่งรีบ การทำงานมีการแข่งขันกันสูง ทำให้เห็นได้ว่าวิถีชีวิตของผู้คนในสังคมเมืองของประเทศไทยเริ่มเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะในแง่ของพฤติกรรมผู้บริโภคที่ต้องการความรวดเร็วในการเตรียมและการรับประทานอาหาร ปัจจัยเหล่านี้ทำให้ผู้บริโภคมีความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมรับประทาน (ready-to-eat) ที่มีความสะดวกสบายและมีคุณภาพสูงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมรับประทานมีการขยายไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์อย่างรวดเร็ว อาหารพร้อมรับประทานนิยามว่าเป็นอาหารปรุงสุกที่สามารถรับประทานได้ทันที หรือเพียงนำไปอุ่น อบ นึ่ง หรือเข้าเตาไมโครเวฟไม่กี่นาที ก็นำออกมารับประทานได้ (Mohammedali Shihab *et al*., 2013) อาหารพร้อมรับประทานมีมากมายหลากหลายรูปแบบที่โดยส่วนใหญ่ทำมาจากปลาหรือเนื้อสัตว์ บางรูปแบบสามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้

การใช้ความร้อนในกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์อาหารเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการถนอมอาหาร โดยใช้ความร้อนไปทำลายสปอร์และจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเน่าเสียและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค อย่างไรก็ตามการที่อาหารได้รับความร้อนในสภาวะที่รุนแรง (121.1 ºC) อาจส่งผลต่อการสูญเสียคุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการ (Shah *et al*. 2017) การออกแบบกระบวนให้ความร้อนที่เหมาะสมจำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของอาหารต่อผู้บริโภคโดยการทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียโดยที่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเกิดการเสื่อมสลายน้อยที่สุด (Mohammedali Shihab *et al*., 2013) ทั้งนี้การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนภายใต้สภาวะปลอดเชื้อแบบทางการค้า (commercial sterilization) ต้องพิจารณาถึงตัวแปรหนึ่งที่สำคัญนั่นคือค่า F_0 ซึ่งหมายถึงเวลาของการฆ่าเชื้อที่เทียบเท่า ณ อุณหภูมิ 121.1 °C (250 °F) ของกระบวนการฆ่าเชื้อที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิอื่นๆ ซึ่งตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 335 พ.ศ. 2556 อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทสำหรับการฆ่าเชื้ออาหารที่เป็นกรดต่ำ กำหนดให้ค่า F_0 จะต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 3 นาที เพื่อให้เพียงพอต่อการทำลายสปอร์ของ *Clostridium botulinum* ซึ่งค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 20 นาที (Frott & Lewis, 1994)

ทางเลือกหนึ่งที่ในปัจจุบันมีการนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนคือเทคโนโลยีการบรรจุภัณฑ์แบบใหม่ นั่นคือบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว (flexible packaging) ทำจากฟิล์มหลายชนิดมาเชื่อมประสาน (laminate) ที่สามารถทนต่ออุณหภูมิในการแปรรูปด้วยความร้อนและนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการฆ่าเชื้อเช่นเดียวกับกระป๋องโลหะ (Dasan *et al*. 2021) บรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ถือเป็นวิธีการบรรจุทางเลือกหนึ่งสำหรับการแปรรูปด้วยความร้อนเพื่อยืดอายุการเก็บของอาหาร ซึ่งมีข้อได้เปรียบเหนือกระป๋องโลหะหลายประการ นั่นคืออาหารที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ต้องการความร้อนน้อยกว่าภาชนะโลหะหรือบรรจุภัณฑ์แก้วแบบดั้งเดิมเพื่อให้ปลอดเชื้อในเชิงการค้า โดยลดเวลาในการให้ความร้อนและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงประมาณครึ่งหนึ่ง ด้วยบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์มีความบางจึงมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่า ซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการแทรกผ่านความร้อนเข้าไปยังอาหาร และลดเวลาของกระบวนการฆ่าเชื้อรวมถึงช่วยรักษาปัจจัยด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารได้สูงสุด (Bindu *et al*., 2011) งานวิจัยที่มีการนำบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์มาประยุกต์ใช้กับการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารมีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ผลิตภัณฑ์แกงเนื้อแพะ (Rajkumar *et al*., 2010) แกงกะหรี่ปลากระโห้เทศ (Majumdar *et al*., 2015) เนื้อหอยแมลงภู่สับ (Tribuzi *et al*., 2015)

แกงกระหรี่เนื้อดั้งเดิมของแคชเมียร์ (Shah *et al*. 2017) แกงปลาไหลพร้อมเสิร์ฟ (Mugale *et al*. 2018) และแกงมาซาล่ากุ้งพร้อมรับประทาน (Dasan *et al*. 2021; Hema *et al*., 2021)

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารบรรจุในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์มีการผลิตและเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในประเทศไทย นอกจากนี้ แนวโน้มของตลาดในปัจจุบันยังแสดงให้เห็นถึงความต้องการในวงกว้างสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมรับประทานที่มีความสะดวกและสามารถแปรรูปได้หลากหลายรูปแบบ หนึ่งในอาหารพร้อมรับประทานที่เป็นที่น่าสนใจนั่นคือผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ สำหรับเนื้อตุ๋นนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านวิธีการปรุงอาหารโดยการต้ม เคี่ยว ในภาชนะปิด ใช้ไฟอ่อน เป็นเวลานาน เพื่อให้อาหารสุกอย่างช้าๆ การให้ความร้อนโดยการตุ๋นส่งผลทำให้เนื้อสัตว์เปื่อยนุ่มน่ารับประทาน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นพร้อมรับประทานในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ ตลอดจนประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ

เนื้อโคขุนสดส่วนน่องลาย (shank) ซึ่งเป็นเนื้อท่อนขาส่วนที่เหนียวที่มีเอ็นผสมผสานเข้ากับเนื้อและไขมัน จัดซื้อจากสหกรณ์โคขุนดอกคำใต้ จำกัด จังหวัดพะเยา นำเนื้อโคขุนสดมายังห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหารของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ภายใต้สภาวะการแช่เย็น นำเนื้อมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเย็นและสะเด็ดให้แห้ง บรรจุเนื้อสด 5 กิโลกรัม ในถุงเย็น polyethylene นำเนื้อสดเก็บรักษาไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 ± 2 °C เมื่อจะนำมาทำเนื้อตุ๋นจึงทำการละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำเนื้อมาหั่นให้มีขนาดเล็กประมาณ 3.5×3.0×2.0 เซนติเมตร ส่วนวัตถุดิบอื่นๆ ที่เป็นเครื่องเทศสมุนไพรและเครื่องปรุงรสซื้อจากตลาดสดและซูเปอร์มาร์เก็ตในจังหวัดพะเยา

2. การเตรียมเนื้อตุ๋น

วัตถุดิบที่ใช้สำหรับเป็นส่วนประกอบในการทำเนื้อตุ๋นให้ไว้ดังตารางที่ 1 โดยใช้ส่วนผสมตามตำรับอาหารไทย เตรียมเนื้อตุ๋นที่ห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร โดยมีกรรมวิธีการเริ่มจากชั่งชิ้นเนื้อและวัตถุดิบส่วนผสมอื่นๆ ตามสูตร นำน้ำไปต้มให้เดือด จากนั้นนำชิ้นเนื้อและวัตถุดิบส่วนผสมอื่นๆ ใส่ลงในน้ำเดือด ตุ๋นด้วยอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วแยกชิ้นเนื้อและน้ำซุปออกจากกันโดยใช้ตะแกรง รอการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์

3. บรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์

บรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์สั่งซื้อจากบริษัทจำหน่ายบรรจุภัณฑ์ทางการค้า (บริษัท พีพีเอ็ม แพค จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ) เป็นชนิดยืดหยุ่นที่มีฟิล์มหลายชนิดมาเชื่อมประสานกัน ประกอบด้วยโพลีเอสเตอร์ หนา 12 μm (ชั้นนอก) ไนลอน หนา 15 μm และอลูมิเนียมฟอยล์ หนา 9 μm (ชั้นกลาง) และโพลีโพรพิลีน หนา 90 μm (ชั้นใน) รีทอร์ทเพาช์เป็นแบบถุงตั้ง (stand-up pouch) ขนาด 120 มม. x 200 มม. (มิติด้านนอก) ที่สามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ได้เต็มที่ประมาณ 250 กรัม

4. เครื่องฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ-อากาศ (steam-air retort)

หน่วยปฏิบัติการของเครื่องฆ่าเชื้อแบบนิ่งแนวนอนระดับห้องปฏิบัติการ (Zhucheng Zhongtai Machinery Co. Ltd, Shandong, Chaina) ที่ใช้ในการแปรรูปด้วยความร้อนในการทดลองนี้ประกอบด้วยตัวหม้อฆ่าเชื้อ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 เมตร ยาว 1.50 เมตร) เครื่องกำเนิดไอน้ำ (ขนาด 95 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้รับพลังงานความร้อนจากเครื่องทำความร้อนไฟฟ้า) หน่วยให้อากาศ ปั๊มแบบหมุนเหวี่ยง และระบบแผงวงจรควบคุม ระบบของอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษานี้มีลักษณะเช่นเดียวกับเครื่องมือที่ใช้ในระดับเชิงพาณิชย์ ซึ่งให้ระดับความแม่นยำและความถูกต้องสูง

Table 1 Ingredient composition % of stewed beef product

Ingredients	Percentage (%)	Ingredients	Percentage (%)
Shank	43.48	Bay leaf	0.13
Old ginger	2.39	Sugar	2.17
Coriander seed	0.61	Salt	0.13
Star anise	0.52	Oyster sauce	3.13
Cinnamon	0.35	Soy sauce	2.17
Garlic	0.35	Black soy source	0.57
Black pepper	0.26	Water	43.48
Sliced galangal	0.26	**Total**	**100.00**

5. การบรรจุและปิดผนึกบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์

บรรจุชิ้นเนื้อให้มีหนักเนื้อประมาณ 90 ± 2 กรัม ในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ เติมน้ำซุปลงไปจนได้น้ำหนักสุทธิ 220 กรัม โดยใช้กรวยสแตนเลสเพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อน ระมัดระวังเพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์ปนเปื้อนบริเวณปิดผนึกในบรรจุภัณฑ์ กำจัดอากาศในช่องว่างเหนืออาหารออกโดยค่อยๆ บีบถุงด้วยมือ และปิดผนึกปากถุงโดยใช้เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน (Brother plasticfilm sealer, Type PCS 200/300, China)

6. การประเมินกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

สำหรับการศึกษาการแทรกผ่านความร้อน (heat penetration study) นำบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่จะนำไปใช้หาค่า F_0 ทำการเจาะรูที่ตำแหน่งตรงกลางถุงแล้วนำตัวยึดหัววัดอุณหภูมิ (thermocouple gland) ยึดตรึงไว้กับบรรจุภัณฑ์แล้วสอดหัววัดอุณหภูมิชนิดเข็ม (thermocouple probe, type K) เข้าไปในตัวยึด นำส่วนปลายหัววัดอุณหภูมิด้านในถุงเจาะให้ทะลุชิ้นเนื้อชิ้นใดชิ้นหนึ่งบริเวณกลางชิ้นอย่างระมัดระวังเพื่อบันทึกอุณหภูมิใจกลางผลิตภัณฑ์ (T) ระหว่างกระบวนการให้ความร้อนด้วยหม้อฆ่าเชื้อ บรรจุเนื้อส่วนที่เหลือพร้อมน้ำซุปและปิดผนึกปากถุงตามวิธีการข้างต้น นำตัวอย่างที่ปิดผนึกแล้วฆ่าเชื้อด้วยความร้อนเพื่อให้ได้ค่า F_0 ที่ต้องการที่อุณหภูมิที่กำหนด

เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ถูกนำไปฆ่าเชื้อด้วยความร้อนเพื่อให้ได้ค่า F_0 ที่ต้องการ คือ 9 12 และ 15 นาที เนื่องจากค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ควรกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 20 นาที (Frott & Lewis, 1994) เก็บข้อมูลเวลา-อุณหภูมิโดยหัววัดอุณหภูมิซึ่งนำส่งข้อมูลไปยังเครื่องบันทึกข้อมูล Ellab CTF 9008 (Ellab A/S, Roedovre, Denmark) เพื่อบันทึกข้อมูลอุณหภูมิใจกลางผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ ค่า F_0 และค่า cook value สำหรับทุกๆ หนึ่งนาทีระหว่างกระบวนการ หัววัดอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการทดลองทำจากทองแดง/คิวโปรนิกเกิล (Ellab SSA-12050-G700- TS) ส่วนตัวครอบหัววัดอุณหภูมิทำจากเหล็กสเตนเลสที่มีความยาว 50 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร ตัวยึด (packing glands; GKJ13009C052) ทำจากท่อเหล็กสเตนเลสขนาด 50 มิลลิเมตร อุปกรณ์เหล่านี้นำมาใช้เพื่อทดลองหาสภาวะของกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ทำการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ (retort temperature, T_R) ที่ 121 ºC ขณะที่รักษาความดันอากาศไว้ที่ 175 kPa ตลอดช่วงการให้ความร้อนและการทำให้เย็น หลังจากสิ้นสุดกระบวนการให้ความร้อนผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นในรีทอร์ทเพาช์ที่ต้องการหาค่า F_0 ถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วเพื่อให้อุณหภูมิใจกลางผลิตภัณฑ์ (T) ลดลงถึง 40±5 ºC โดยการปั๊มน้ำเข้าไปในหม้อฆ่าเชื้อ หลังจากนั้นทำให้บรรจุภัณฑ์ตัวอย่างแห้งและเก็บรักษาไว้ ค่า F_0 ที่เป็นการหาอัตราการทำลายเชื้อจุลินทรีย์สะสม (accumulated lethality) เป็นค่าที่แสดงเวลาฆ่าเชื้อเทียบเท่าที่อุณหภูมิ 121.1 ºC ได้จากการคำนวณสำหรับ *Clostridium botulinum* ที่มีค่า z เท่ากับ 10 ºC ให้ไว้ดังสมการที่ (1)

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

ค่า cook value เป็นค่าที่ใช้เพื่อการประเมินผลของการให้ความร้อนที่ต้องคำนึงถึงการเสื่อมสลายของสารอาหารและการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ ทำการตรวจสอบได้โดยการวัดระยะเวลาและการสูญเสียสารอาหารระหว่างการให้ความร้อนในลักษณะเช่นเดียวกันกับการหาค่า D ยกเว้นใช้อุณหภูมิอ้างอิงเป็น 100 ºC แทน 121.1 ºC และค่า z คือ 33 ºC ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการสำหรับการเสียสภาพของไทอะมีน (Ranganna, 2000)

ข้อมูลที่ได้จากหัววัดอุณภูมิ (ข้อมูล เวลา-อุณหภูมิ) ถูกนำไปวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ส่วนข้อมูลการแทรกผ่านความร้อน (heat penetration data) ได้จากการพล๊อตบนกระดาษกราฟแบบเซมิ-ล็อก ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ (T_r) และอุณหภูมิใจกลางอาหาร ณ จุดร้อนช้าที่สุด (T) หรือ (T_r - T) บนล๊อกสเกลกับเวลา ซึ่งจะได้กราฟของ heating curve แล้วหาค่าของตัวแปรข้อมูลการแทรกผ่านความร้อนจาก heating curve ได้แก่ ค่า heating rate lag factor (J_h) ค่า heating rate index ที่ได้จากความชันของ heating curve (f_h) เวลาในหน่วยนาทีสำหรับการฆ่าเชื้อ ณ อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ (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) หาได้โดยการนำเวลา

ฆ่าเชื้อทั้งหมดของกระบวนการ (T_B) ลบด้วยเวลา come up time (CUT) ที่คูณกับเวลาศูนย์ที่ถูกต้อง (corrected zero time) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 58 ดังสมการที่ (4) ดังนั้นเวลาที่หม้อฆ่าเชื้อสามารถปฏิบัติงานได้จริงในช่วง CUT คิดเป็นร้อยละ 42

$$\text{heating rate lag factor } (J_h) = (T_r - T_{pih}) / (T_r - T_{ih}) \quad (2)$$

$$\text{cooling rate lag factor } (J_c) = (T_r - T_{pic}) / (T_r - T_{ic}) \quad (3)$$

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

$$\text{เวลาฆ่าเชื้อของกระบวนการ (B)} = \text{เวลาฆ่าเชื้อทั้งหมดของกระบวนการ } (T_B) - (0.58 \times \text{CUT}) \quad (4)$$

โดยที่ come up time (CUT) คือช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มเปิดไอน้ำเข้าหม้อฆ่าเชื้อจนอุณหภูมิในหม้อฆ่าเชื้อถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนด

7. การตรวจสอบคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ

7.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง และวอเตอร์แอกทิวิตี

นำชิ้นเนื้อตุ๋น 10 กรัม ผสมกับน้ำซุป 40 มิลลิลิตร ปั่นผสมจนเนื้อตุ๋นละเอียดเป็นเวลา 30 วินาที นำไปวัดค่า pH ด้วยเครื่องวัดค่า pH (Sartorius, Bohemia, New York, USA) และวัดค่า a_w ด้วยเครื่องวัดวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity meter, Sartorius, Bohemia, New York, USA)

7.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋น (texture profile analysis, TPA) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Rajkumar *et al*. (2010) 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 โดยนำตัวอย่างเนื้อตุ๋นทำการวัดเนื้อสัมผัสสองครั้งติดต่อกันที่ร้อยละ 40 ของความสูงเริ่มต้นของตัวอย่างด้วยความเร็ว 12 มิลลิเมตร/วินาที เพื่อให้ได้กราฟแบบสองพีคที่ได้จากแรงกด ข้อมูลของแรงตามเวลาจากแต่ละการทดสอบนำมาใช้เพื่อหาค่าเฉลี่ยของตัวแปร TPA ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness) จากการกดครั้งที่หนึ่งและสอง (ค่าความแข็ง 1 และ 2) ความยืดหยุ่น (springiness, mm) การเกาะติด (cohesiveness) ความเหนียวเป็นกาวหรือยาง (gumminess) และความทนต่อการเคี้ยว (chewiness, kgf/mm) นอกจากนี้วัดค่าแรงเฉือน (shear force) โดยการวัดแรงสูงสุดที่ต้องการในการ

ตัดตัวอย่าง นำชิ้นเนื้อตุ๋นวางบนแท่นวางตัวอย่างของเครื่องวัดเนื้อสัมผัส และตัดตรงกลางชิ้นเนื้อด้วยใบมีด Warner–Bratzler โดยใช้ load cell สำหรับแรงเฉือนเท่ากับ 5 กิโลกรัม ด้วยความเร็ว 5 มิลลิเมตร/วินาที แรงเฉือนสูงสุดหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟแรงและระยะทาง (force-deformation curve) ซึ่งบ่งบอกถึงความเหนียว (toughness) และแสดงในหน่วย kgf

7.3 การวัดค่าสี

นำชิ้นเนื้อตุ๋นและน้ำซุปปั่นบดผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (HunterLab, Model No. ColorQuest XE, U.S.A.) ใส่ตัวอย่างเนื้อบดในภาชนะแก้วสำหรับใส่ตัวอย่าง (glass cell) และวางไว้ตรงช่องแหล่งกำเนิดแสงของเครื่องวัดสี วัดค่าสีของแต่ละสภาวะจำนวนหกซ้ำแล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ย รายงานค่าสีด้วยระบบ CIELAB (L^*, a^*, b^*) โดยค่า L^* เป็นการวัดความสว่างของตัวอย่างและมีค่าอยู่ในช่วงจาก 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว) ส่วนค่า a^* เป็นการวัดความเป็นสีแดงเมื่อค่าเป็นบวก และสีเขียวเมื่อค่าเป็นลบ สำหรับค่า b^* เป็นการวัดความเป็นสีเหลืองเมื่อค่าเป็นบวก และสีน้ำเงินเมื่อค่าเป็นลบ นำค่าต่างๆ ที่วัดได้มาคำนวณและรายงานผลในรูป hue angle (H°) ซึ่งเป็นค่าเฉดสี มีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา และค่า chroma เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความอิ่มตัวของสี โดยมีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง วัตถุมีสีซีดจาง และมีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึง วัตถุมีสีเข้ม เมื่อ hue = $\tan^{-1}(b^*/a^*)$ โดยที่ a* และ b* > 0 ส่วน chroma = $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$

8. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพ้าช์ โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน นำตัวอย่างประมาณ 20 กรัม ให้แก่ผู้ทดสอบชิมโดยมีการกลั้วปากระหว่างตัวอย่าง ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม โดยการให้คะแนนการยอมรับแบบ 9 - point hedonic scale โดย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

9. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ในทุกแผนการทดลองวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แต่ละสิ่งทดลองทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ยกเว้นในด้านการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 27.0

ผลการวิจัย

กระบวนการฆ่าเชื้อสำหรับเนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพ้าช์

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพ้าช์นี้ ทำการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 121 °C โดยที่อุณหภูมิดังกล่าวผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพ้าช์ได้รับการฆ่าเชื้อที่ค่า F_0 แตกต่างกันสามค่าเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ ได้แก่ 9 12 และ 15 นาที (ภาพที่ 1) ถึงแม้ว่ากระบวนการฆ่าเชื้อเนื้อตุ๋นจนได้ค่า F_0 เป็น 9 12 และ 15 นาที ถือว่าผลิตภัณฑ์ได้รับการฆ่าเชื้อทางการค้า อย่างไรก็ตาม จากการตรวจสอบคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและการ

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย พบว่าการฆ่าเชื้อที่ค่า F_0 เท่ากับ 12.15 นาที และค่า cook value เท่ากับ 61.90 นาที ด้วยเวลาฆ่าเชื้อทั้งหมดของกระบวนการ (total process time, T_B) เป็น 30 นาที ที่อุณหภูมิ 121 °C ถือเป็นสภาวะที่ดีกว่าสำหรับกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพ้าช์

Figure 1 Stewed beef product processed to 121 °C with three different F_0 values

กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

จากการให้ความร้อนระดับสเตอริไรส์ผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นบรรจุรีทอร์ทเพ้าช์ที่อุณหภูมิ 121 °C จนได้ค่า F_0 เป็น 9 12 และ 15 นาที พบว่าระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อถึงอุณหภูมิ 121 °C (CUT) ใช้เวลา 9 12 และ 15 นาที คิดเป็นร้อยละ 32 ถึง 40 ของเวลาฆ่าเชื้อทั้งหมดของกระบวนการ (T_B) โดยที่เวลาฆ่าเชื้อทั้งหมดของกระบวนการที่ทำให้ได้รับค่า F_0 เป็น 9 12 และ 15 นาที สำหรับเนื้อตุ๋นคือ 25 30 และ 35 นาที ซึ่งคำนวณเวลาฆ่าเชื้อของกระบวนการ (B) จากการบวกเพิ่มเวลา CUT ที่ถือว่าเป็นเวลาระหว่างการปฏิบัติงานของหม้อฆ่าเชื้อที่คิดเป็นร้อยละ 42 ได้เท่ากับ 20.36 23.62 และ 28.04 นาที ตามลำดับ (ตารางที่ 2) เวลาของกระบวนการเหล่านี้เพียงพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการฆ่าเชื้อทางการค้า หลังจากสิ้นสุดการให้ความร้อน ผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพ้าช์ถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วโดย**น้ำเย็นหมุนเวียนเพื่อป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์สุกจน**เกินไป (over cook) และเพื่อเป็นการป้องกันการเจริญของพวกจุลินทรีย์ทนความร้อน (thermopiles) โดยเวลาที่ใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลง (cooling time; CT) ในทุกสภาวะของค่า F_0 สำหรับการฆ่าเชื้อใช้เวลา 15 นาที โดยอุณหภูมิเนื้อตุ๋นลดลงเป็น 38.65 38.08 และ 38.18 °C สำหรับค่า F_0 ที่ 9 12 และ 15 นาที ตามลำดับ

จากผลที่ได้จะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่า F_0 สำหรับกระบวนการฆ่าเชื้อส่งผลให้เวลาทั้งหมดของกระบวนการ (total time; TT) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย การประเมินค่า cook value ซึ่งแสดงถึงผลกระทบจากการปรุงสุกอาหาร พบว่าค่า cook values สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นมีค่าเป็น 61.29 61.90 และ 79.85 นาที เมื่อตัวอย่างได้รับการฆ่าเชื้อจนกระทั่งได้ค่า F_0 เป็น 9 12 และ 15 นาที ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ค่า cook value มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในกรณีการฆ่าเชื้อเนื้อตุ๋นที่ค่า F_0 เท่ากับ 9 และ 12 นาที อย่างไรก็ตามเป็นที่สังเกตได้ว่าค่า cook value มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นได้รับการฆ่าเชื้อจนกระทั่งได้รับค่า F_0 เป็น 15 นาที ค่า heating rate index (f_h) ขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายโอนความร้อนไปยังผลิตภัณฑ์และระยะเวลาที่ได้รับความร้อนซึ่งได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อ ค่า f_h ที่ได้รับสำหรับ F_0 ที่ 9 12 และ 15 นาที คือ

20.45 23.60 และ 25.50 นาที ตามลำดับ ส่วนค่า heating rate lag factor (J_h) และ cooling rate lag factor (J_c) มีค่าใกล้เคียง 1 ในทุกสภาวะของค่า F_0 ที่ศึกษา (ตารางที่ 2) ค่า U แสดงถึงจำนวนนาทีของกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อที่กำหนด โดยจะเห็นได้ว่า f_h/U มีค่าลดลงเมื่อค่า F_0 เพิ่มขึ้น รูปแบบของการแทรกผ่านความร้อนของกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพ้าช์เพื่อให้ได้รับค่า F_0 เป็น 9 12 และ 15 นาที แสดงดังภาพที่ 2 ถึง 4

Table 2 Heat penetration characteristics of stewed beef in retort pouch with three different F_0 values at process temperature of 121 °C

Parameters	F_0 = 9 min	F_0 = 12 min	F_0 = 15 min
Come up time (CUT) (min)	8	12	11
Total process time (T_B) (min)	25	30	35
Thermal process time ($B = T_B - 0.58CUT$) (min)	20.36	23.62	28.04
Cooling time (CT) (min)	15	15	15
Total time ($TT = T_B+CT$) (min)	40	45	50
F_0 value (min)	9.17	12.15	15.08
Heating rate index (f_h)	20.45	23.60	25.50
Heating rate lag factor (J_h)	1.25	1.31	1.28
Cooling rate lag factor (J_c)	1.10	1.06	1.04
U (min)	9.21	12.28	15.35
f_h/U	2.22	2.00	1.66
g (°C)	1.73	2.06	2.24
Cook value (min)	61.29	61.90	79.85

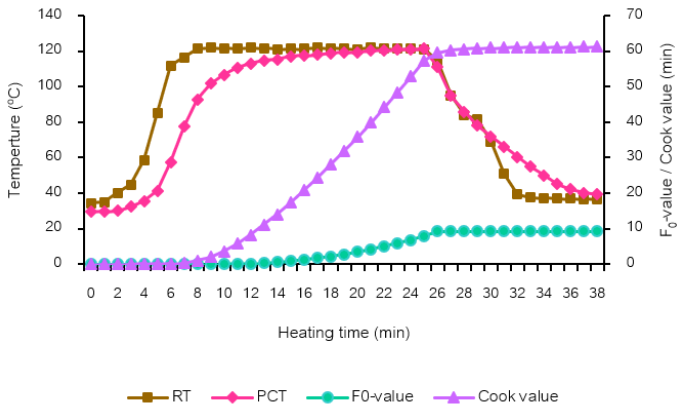

Figure 2 Heat penetration pattern, F_0 value and cook value of stewed beef processed to 121 °C for F_0 9 min [RT=retort temperature, PCT= product core temperature]

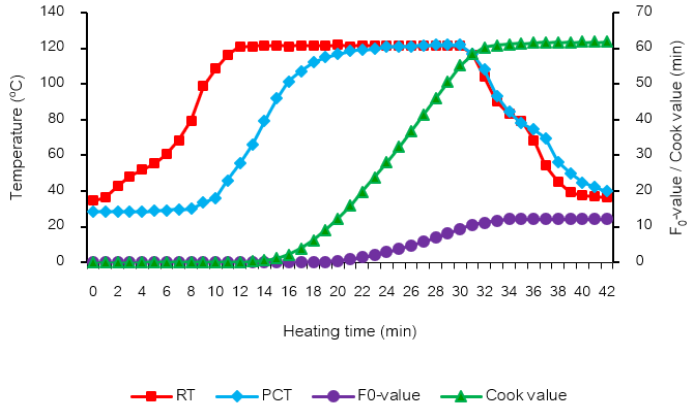

Figure 3 Heat penetration pattern, F_0 value and cook value of stewed beef processed to 121 °C for F_0 12 min [RT=retort temperature, PCT= product core temperature]

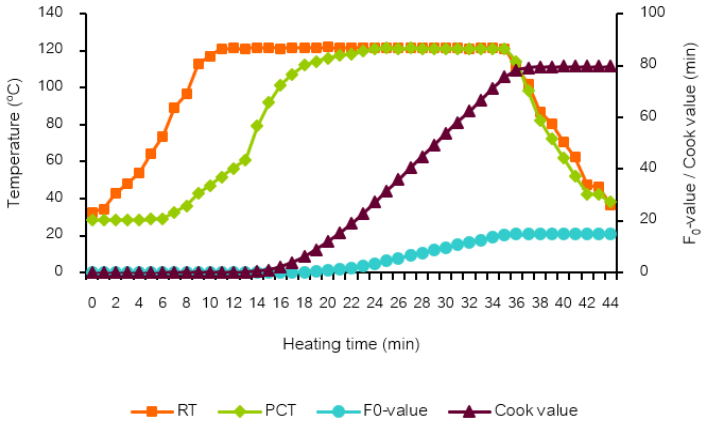

Figure 4 Heat penetration pattern, F_0 value and cook value of stewed beef processed to 121 °C for F_0 15 min [RT=retort temperature, PCT= product core temperature]

ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w)

เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าค่า pH และ a_w ส่งผลโดยตรงต่อการเจริญของ *C. botulinum* ผลที่ได้จากวัดค่า pH และ a_w ของผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นบรรจุรีทอร์ทเพ้าซ์แสดงดังภาพที่ 5 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นจัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (pH >4.6 และ a_w >0.85) จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูงในการฆ่าเชื้อเพื่อลดจำนวนสปอร์ของแบคทีเรียดังกล่าว ผลจากการวัดค่า pH ของเนื้อตุ๋นพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อ กล่าวคือมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเวลาในการฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้น ส่วนค่า a_w พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับระยะเวลาในการให้ความร้อนแตกต่างกัน

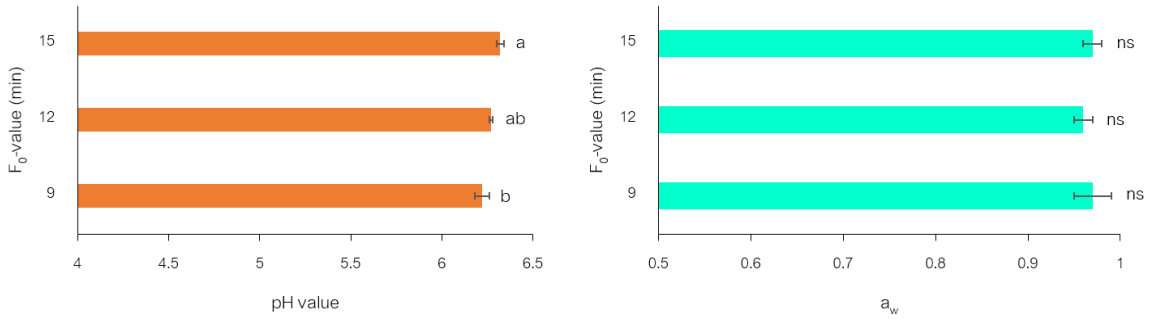

Figure 5 pH and a_w of stewed beef processed to 121 °C with three different F_0 values

***** Bars are represented as average±standard deviation of at least three observations. Bars bearing different superscripts (a-b) significantly different (p<0.05) with respect to different F_0 values; ns shown not significantly different (p>0.05).

<u>คุณลักษณะเนื้อสัมผัส (texture profile analysis; TPA)</u>

ผลการวิเคราะห์ TPA ของเนื้อตุ๋นผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่ F_0 เท่ากับ 9 12 และ 15 นาที แสดงดังภาพที่ 6 ค่าความแข็ง 1 สำหรับ F_0 ที่ 9 12 และ 15 นาที คือ 0.68±0.03 kgf, 0.57±0.04 kgf และ 0.42±0.04 kgf ตามลำดับ ในกรณีของค่าความแข็ง 2 คือ 0.62±0.03 kgf, 0.48±0.02 kgf และ 0.35±0.03 kgf สำหรับค่า F_0 เป็น 9 12 และ 15 นาที ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความแข็งมีค่าลดลงเมื่อค่า F_0 เพิ่มขึ้น (p<0.05) ค่าความยืดหยุ่น (springiness) ของเนื้อตุ๋นผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนจนได้รับค่า F_0 เป็น 9 12 และ 15 นาที คือ 0.70±0.04 mm 0.66±0.04 mm และ 0.56±0.03 mm ตามลำดับ ส่วนค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) มีค่าเป็น 0.51±0.03, 0.50±0.03 และ 0.48±0.04 สำหรับการฆ่าเชื้อเนื้อตุ๋นจนได้ค่า F_0 เป็น 9 12 และ 15 นาที ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) เมื่อค่า F_0 เพิ่มขึ้นจาก 9 ถึง 15 นาที ค่าความเหนียวเป็นยางหรือกาว (gumminess) ที่ได้รับคือ 0.42±0.04, 0.37±0.03 และ 0.30±0.03 ตามลำดับ สำหรับกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนเนื้อตุ๋นที่ได้รับ F_0 เป็น 9 12 และ 15 นาที และแสดงแนวโน้มลดลงเมื่อค่า F_0 เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันสำหรับค่าความทนต่อการเคี้ยว (chewiness) ของเนื้อตุ๋นผ่านการฆ่าเชื้อด้วยค่า F_0 เท่ากับ 9 12 และ 15 นาที มีค่าเป็น 0.34 ± 0.03 kgf.mm 0.24 ± 0.02 kgf.mm และ 0.15 ± 0.03 kgf.mm (p<0.05) ตามลำดับ (ภาพที่ 6)

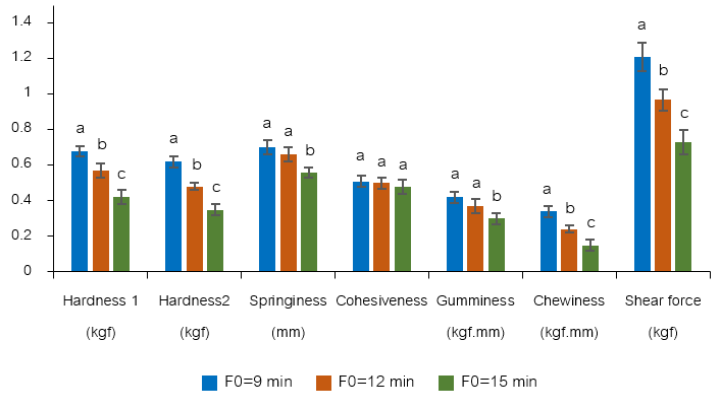

Figure 6 Texture profile (TPA) of stewed beef processed to 121 °C with three different F_0 values

***** Bars are represented as average±standard deviation of at least three observations. Bars bearing different superscripts (a-c) significantly different (p<0.05) with respect to different F_0 values.

แรงเฉือนของเนื้อตุ๋นที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนจนได้รับค่า F_0 แตกต่างกันแสดงในภาพที่ 6 แรงเฉือนซึ่งเป็นแรงสูงสุดที่ต้องการในการตัดตัวอย่างและยังบ่งบอกถึงความเหนียว โดยค่าแรงเฉือนของเนื้อตุ๋นผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนจนได้รับค่า F_0 เป็น 9 12 และ 15 นาที เท่ากับ 1.21±0.08 kgf 0.97±0.06 kgf และ 0.73±0.07 kgf ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแรงเฉือนมีค่าลดลงเมื่อค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น เนื้อตุ๋นผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจนได้ค่า F_0 เป็น 9 นาที มีค่าแรงเฉือนสูงสุด ขณะที่ค่าแรงเฉือนต่ำสุดได้รับจากค่า F_0 เท่ากับ 15 นาที

ค่าสี

การเปลี่ยนแปลงค่าสีระหว่างการให้ความร้อนแสดงดังตารางที่ 3 ค่าสี L^* มีค่าเป็น 35.59±0.24 33.67±0.26 และ 32.05±0.87 สำหรับเนื้อตุ๋นผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่ F_0 เท่ากับ 9 12 และ 15 นาที ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสี a^* คือ 1.86±0.30 1.76±0.11 และ 1.48±0.38 สำหรับเนื้อตุ๋นฆ่าเชื้อจนได้ค่า F_0 เป็น 9 12 และ 15 นาที ตามลำดับ ค่าสี b เท่ากับ 6.26±0.28 5.74±0.36 และ 4.96±0.25 สำหรับการฆ่าเชื้อเนื้อตุ๋นด้วย F_0 ที่ 9 12 และ 15 นาที ตามลำดับ จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าความสว่าง L^* ค่าสี a^* และ b^* มีแนวโน้มลดลง (p<0.05) เมื่อค่า F_0 เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับค่า chroma ที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า F_0 ของกระบวนการฆ่าเชื้อเพิ่ม สำหรับค่า hue angle อยู่ในช่วง 72.95±1.53 ถึง 73.45±1.15

Table 2 Color profile of stewed beef processed to 121 °C with three different F_0 values

F_0-value (min)	L^*	a^*	b^*	hue angle (º)	Chroma
9	35.59 ± 0.24^{a}	1.86 ± 0.30^{a}	6.26 ± 0.28^{a}	73.45 ± 1.15^{a}	6.53 ± 0.32^{a}
12	33.67 ± 0.26^{b}	1.76 ± 0.11^{a}	5.74 ± 0.36^{a}	72.95 ± 1.53^{b}	6.00 ± 0.24^{a}
15	32.05 ± 0.87^{b}	1.48 ± 0.38^{b}	4.96 ± 0.25^{b}	73.39 ± 1.36^{a}	5.18 ± 0.29^{b}

$^{a-b}$ Different letters in the same column were significant difference (p<0.05).

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่ค่า F_0 แตกต่างกันสามระดับได้รับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังภาพที่ 7 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏที่ได้จากผู้ทดสอบชิมคือ 7.00±1.16, 7.70±1.30 และ 6.90±1.15 สำหรับเนื้อตุ๋นผ่านการฆ่าเชื้อด้วยค่า F_0 เป็น 9 12 และ 15 นาที ตามลำดับ คะแนนการความชอบด้านสีที่ได้รับคือ 6.90±1.31 7.50±1.42 และ 6.70±1.05 สำหรับค่า F_0 ที่ 9 12 และ 15 นาที ตามลำดับ จากผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสีเพิ่มขึ้นเมื่อค่า F_0 เพิ่มขึ้นจาก 9 ถึง 12 นาที และความชอบต่อคุณลักษณะทั้งสองด้านดังกล่าวได้รับคะแนนลดลงที่ค่า F_0 เป็น 15 นาที ในกรณีของความชอบด้านกลิ่นเนื้อตุ๋น ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนผลิตภัณฑ์ที่ค่า F_0 แตกต่างกันคือ 7.20±1.14 7.30±1.58 และ 7.00±1.31 สำหรับการฆ่าเชื้อจนได้ค่า F_0 เป็น 9 12 และ 15 นาที ตามลำดับ (p>0.05) แนวโน้มเดียวกันนี้ยังได้รับจากผู้ทดสอบชิมที่มีต่อความชอบด้านรสชาติซึ่งได้รับคะแนนเป็น 7.40±1.27 7.60±1.30 และ 7.30±1.60 (p>0.05) ในขณะที่ความชอบด้านเนื้อสัมผัสได้รับคะแนนแตกต่างกันเป็น 6.80±1.59 7.50±1.05 และ 6.60±1.48 สำหรับเนื้อตุ๋นฆ่าเชื้อจนได้ค่า F_0 เท่ากับ 9 12 และ 15 นาที ตามลำดับ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นบรรจุรีทอร์ทเพ้าซ์ได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมจากผู้ทดสอบชิมเท่ากับ 7.10±1.12 7.70±1.06 และ 6.90±1.27 เมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจนได้รับค่า F_0 เป็น 9 12 และ 15 นาที ตามลำดับ ในการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสคุณลักษณะที่ส่งผลกระทบโดยรวมต่อคุณภาพด้านดังกล่าวคือคะแนนการยอมรับโดยรวมซึ่งผู้ทดสอบชิมให้คะแนนในด้านดังกล่าวสูงสุด (p<0.05) สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นบรรจุรีทอร์ทเพ้าซ์ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจนได้รับค่า F_0 เป็น 12 นาที

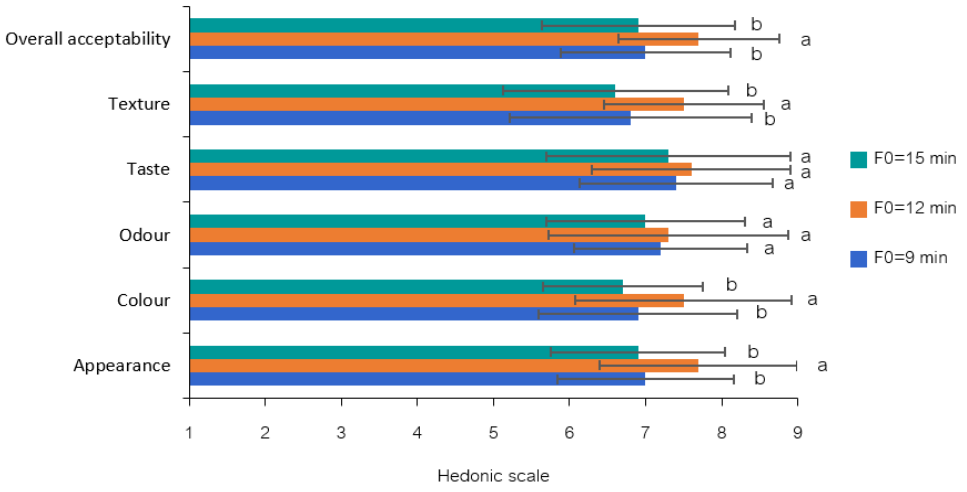

Figure 7 Sensory evaluation of stewed beef processed to 121 °C with three different F_0 values

* Bars bearing different superscripts (a-b) significantly different (p<0.05) with respect to different F_0 values.

วิจารณ์ผลการวิจัย

การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพ้าช์ ทำการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจนได้รับค่า F_0 ที่แตกต่างกันสามค่า (9 12 และ 15 นาที) เป็นที่สังเกตได้ว่าช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มเปิดไอน้ำเข้าหม้อฆ่าเชื้อจนอุณหภูมิในหม้อฆ่าเชื้อถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนด (CUT) สำหรับกระบวนการฆ่าเชื้อเนื้อตุ๋นดังกล่าวใช้เวลาสั้นกว่าที่ได้มีการแนะนำไว้โดย NCA (1968) ผลที่ได้สอดคล้องกับเวลา CUT ของกระบวนการฆ่าเชื้อแกงเนื้อหมูที่มีค่าเป็นร้อยละ 20 ของเวลาทั้งหมดในการให้ความร้อน (Girish *et al*., 2018) ขณะที่ Rajkumar *et al*. (2010) ได้รายงานเวลา CUT คิดเป็นร้อยละ 50.1 สำหรับกระบวนการฆ่าเชื้อแกงเนื้อแพะบรรจุรีทอร์ทเพ้าช์ ส่วนเวลาในการให้ความร้อนที่บวกเพิ่มร้อยละ 42 ของเวลา CUT หรือเวลาฆ่าเชื้อของกระบวนการ (B) ในการศึกษานี้สำหรับเนื้อตุ๋นที่ทำให้ได้รับค่า F_0 เป็น 9 12 และ 15 นาที ใช้เวลาระหว่าง 20.36 ถึง 28.04 นาที ก่อนหน้านี้ Bindu & Gopal (2008) พบว่าเวลาฆ่าเชื้อของกระบวนการสำหรับปลาทูน่าในน้ำมันบรรจุรีทอร์ทเพ้าช์จนได้ค่า F_0 เป็น 5 7 และ 9 นาที คือ 29.22, 34.38 และ 40.57 นาที ตามลำดับ จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเวลาฆ่าเชื้อของกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น นอกจากนี้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แกงเนื้อแพะในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพ้าช์ได้รับค่า F_0 เป็น 12.1 นาที (Rajkumar *et al*. 2010) Frott & Lewis (1994) ได้รายงานว่าค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง 8 ถึง 20 นาที จะเห็นได้ว่าเวลาของกระบวนการฆ่าเชื้อของผลิตภัณฑ์เหล่านี้เพียงพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการฆ่าเชื้อทางการค้า อย่างไรก็ตาม การใช้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสลายของสารอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเสียสภาพของไทอะมิน (Ranganna, 2000) การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส (มักจะทำให้นุ่มลง) รวมถึงการยับยั้งเอนไซม์ (Holdsworth & Simpson, 2007) ค่า cook value จึงถูกนำมาใช้ประเมินผลกระทบของการใช้ความร้อนที่มีต่ออาหารซึ่งควรส่งผลกระทบน้อย การศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าค่า cook value สำหรับแกงเนื้อแพะในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพ้าช์มีค่าเป็น 75.35 นาที (Rajkumar *et al*. 2010) ขณะที่ Ali *et al*. (2006) ได้รายงานค่า cook value เป็น 75.55 นาที สำหรับปลาทูน่าในน้ำมันบรรจุรีทอร์ทเพ้าช์ ซึ่งค่า cook value จากการศึกษาดังกล่าวสูงกว่าค่าที่ได้จากการศึกษานี้เล็กน้อย

ค่า heating rate index (f_h) ซึ่งแสดงถึงอัตราเร็วของการถ่ายโอนความร้อนระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อ เป็นค่าที่บ่งบอกว่าอุณหภูมิที่จุดร้อนช้าที่สุดของอาหารสามารถเพิ่มขึ้นได้รวดเร็วเพียงใด โดยกระบวนการฆ่าเชื้อที่ได้รับค่า f_h สูงกว่าแสดงว่าต้องใช้เวลานานกว่าในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้น นั่นคือการถ่ายโอนความร้อนที่รวดเร็วกว่าส่งผลให้ได้รับค่า f_h ที่ต่ำกว่า ซึ่งค่า f_h สำหรับการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพ้าช์ในการศึกษานี้สอดคล้องกับที่ได้มีการรายงานก่อนหน้านี้ในผลิตภัณฑ์แกงปลาอินทรีเซียฟิชที่ได้รับค่า f_h เป็น 25 – 32 นาที (Ravishankar *et al*., 2002) แกงกุรหม่ากุ้งได้รับค่า f_h เป็น 19.00 – 23.30 นาที (Mohan *et al*., 2008) และแกงปลากะตักพร้อมทานได้รับค่า f_h เป็น 13 – 18 นาที (Bindu *et al*., 2010) จากการศึกษาดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่า f_h มีค่าอยู่ในช่วง 13 – 32 นาที ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารเหล่านี้ถือได้ว่ามีการถ่ายโอนความร้อนโดยการพา (convection) ระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อ ในทางตรงกันข้ามผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการถ่ายโอนความร้อนโดยการนำ (conduction) จะมีค่า f_h ที่สูงกว่าได้ถึง 30 – 40 นาที ค่า f_h สำหรับการพาความร้อนในผลิตภัณฑ์ได้รับรายงานว่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของตัวกลางให้ความร้อน อัตราการไหลของไอน้ำ-อากาศ ขนาดพื้นที่ผิวบรรจุภัณฑ์ ความหนืดผลิตภัณฑ์ ความหนาของบรรจุภัณฑ์ และความหนาของชั้นอากาศ (Horner, 1992)

ค่า heating rate lag factor (J_h) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงกลไกการถ่ายโอนความร้อนระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีค่า J_h ที่สูงแสดงว่ามีการถ่ายโอนความร้อนโดยการนำความร้อน ในทางตรงกันข้ามผลิตภัณฑ์ที่มีค่า J_h ที่ต่ำแสดงว่ามีการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อน จะเห็นได้ว่าค่า J_h ในการศึกษานี้มีค่าใกล้เคียง 1 สำหรับทั้งสามค่าของ F_0 แสดงว่ามีการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาภายในผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลมาจากผลิตภัณฑ์มีส่วนประกอบของของเหลวน้ำซุป ค่า cooling rate lag factor (J_c) ที่ได้จากกระบวนการฆ่าเชื้อเนื้อตุ๋นบรรจุรีทอร์ทเพ้าช์ในการศึกษานี้มีค่าใกล้เคียง 1 ซึ่งค่าเหล่านี้สอดคล้องกับค่าที่ได้มีการรายงานในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีของเหลวเป็นส่วนประกอบที่ซึ่งมีการแทรกผ่านความร้อนโดยการพาความร้อน (Horner, 1992)

ในการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส TPA ของเนื้อตุ๋นจะเห็นได้ว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า F_0 เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผลกระทบจากการได้รับความร้อนเป็นระยะเวลานานกว่า ส่งผลต่อการสลายตัวของโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue protein) ทำให้เนื้อมีความนุ่มมากกว่า ค่าความยืดหยุ่นซึ่งเป็นอัตราที่ซึ่งแสดงถึงระดับความสามารถในการคืนตัวกลับมาเหมือนเดิมของตัวอย่างเมื่อมีการถอนแรงกดออกไปจากตัวอย่าง โดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับค่าความแข็ง ส่วนค่าความสามารถเกาะรวมตัวกันเป็นการแสดงขอบเขตของวัสดุที่สามารถเสียรูปก่อนที่จะเกิดการแตกหัก (Majumdar *et al*. (2015) ในกรณีค่าความเหนียวเป็นยางหรือกาวถึงแม้ว่าคุณลักษณะดังกล่าวไม่ได้เป็นคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋น แต่ถือว่าเป็นค่าที่สัมพันธ์กับค่าความแข็งและความยืดหยุ่นที่บ่งบอกถึงความรู้สึกในปากที่มีต่อผลิตภัณฑ์ แนวโน้มคล้ายกันสังเกตได้ในกรณีของค่าความทนต่อการเคี้ยว แนวโน้มการลดลงของค่าตัวแปร TPA เหล่านี้สำหรับเนื้อตุ๋นเป็นผลมาจากเวลาในการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้เกิดการเจลาติไนซ์ของโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันอันเนื่องมาจากการเสียสภาพของโปรตีนและการทำลายเซลล์กล้ามเนื้อระหว่างการให้ความร้อน (Sreenath *et al*. 2007) แรงเฉือนของเนื้อตุ๋นมีค่าลดลงเมื่อค่า F_0 เพิ่มขึ้น เป็นไปตามแนวโน้มเช่นเดียวกันกับค่าความแข็ง ความเหนียวเป็นยางหรือกาว และความคงทนต่อการเคี้ยว ความเหนียวของผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนมีค่าลดลงเมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับที่ได้มีการรายงานสำหรับผลิตภัณฑ์ผัดมาซาลาปลาหมึกพร้อมรับประทานบรรจุกระป๋อง (Sreenath *et al*., 2006) ความร้อนทำให้เกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ทำให้แรงยึดตัวระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อน้อยลง เนื้อสัตว์ที่หยาบกระด้างเมื่อผ่านการให้ความร้อนแล้วจะทำให้ความเหนียวลดลง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อสัตว์เช่น เนื้อวัว ที่มีส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เช่น เอ็นพังผืดมาก ความร้อนจะเปลี่ยนสารคอลลาเจนให้เป็นเจลาตินทำให้เนื้อนุ่มขึ้น (Califano *et al*., 1997)

สำหรับการวิเคราะห์ค่าสีเป็นที่สังเกตได้ว่าค่าความสว่าง *L** ค่าความเป็นสีแดง *a** และค่าความเป็นสีเหลือง *b** ของผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพ้าช์มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า F_0 เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเกิดการสลายตัวของเม็ดสีที่เป็นผลมาจากการใช้ความร้อนเป็นระยะเวลาที่นานกว่า หรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (maillard reaction) (Majumdar *et al*., 2017) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อจากสว่างกว่าเป็นมืดกว่า

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมพบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนสูงสุดต่อผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นผ่านการฆ่าเชื้อจนได้รับค่า F_0 เป็น 12 นาที ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ได้จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนเป็นเวลานานส่งผลกระทบต่อทั้งลักษณะปรากฏและสีของผลิตภัณฑ์ และค่าคะแนนเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นจนถึง

ค่าระดับหนึ่งของการให้ความร้อน จากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือและการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่าการที่ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนเป็นระยะเวลานานกว่า ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนโดยเกิดการเสียสภาพ การตกตะกอน การเกิดออกซิเดชัน เป็นต้น และส่งผลกระทบโดยรวมต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าความชอบด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อตุ๋นได้รับคะแนนสูงสุดเมื่อทำการฆ่าเชื้อที่ค่า F_0 เป็น 12 นาที นอกจากนี้การให้ความร้อนส่งผลต่อความแน่นเนื้อและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Ma *et al*. 1983)

สรุปผลการวิจัย

เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพ้าช์ได้รับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 121 ºC ที่ค่า F_0 แตกต่างกัน ได้แก่ 9 12 และ 15 นาที ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเวลาฆ่าเชื้อของกระบวนการเพิ่มขึ้นเมื่อค่า F_0 เพิ่มขึ้น คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส TPA ของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่าความแข็ง ค่าความเหนียวเป็นยางหรือกาว และค่าความทนต่อการเคี้ยว มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า F_0 เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันค่าแรงเฉือนที่มีต่อเนื้อตุ๋นมีค่าลดลงตามเวลา F_0 ที่เพิ่มขึ้น ส่วนคะแนนจากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสที่ได้รับจากผู้ทดสอบชิมสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ผ่านการฆ่าเชื้อที่ค่า F_0 แตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าเนื้อตุ๋นผ่านการฆ่าเชื้อที่ค่า F_0 เท่ากับ 12 นาที ได้รับคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นผ่านการฆ่าเชื้อที่ค่า F_0 ทั้งสามระดับในการศึกษานี้ถือว่าได้รับการฆ่าเชื้อทางการค้าเนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนดังกล่าวเพียงพอที่ทำให้มั่นใจได้ว่าปลอดภัยต่อผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้พบว่าสภาวะการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมคือค่า F_0 เท่ากับ 12 นาที สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อตุ๋นในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก Fundamental Fund (FF65) ประเภทโครงการจัดตั้งหน่วยวิจัยเพื่อความเป็นเลิศ (UoE) ด้านนวัตกรรมการผลิตและการแปรรูปปศุสัตว์ มหาวิทยาลัยพะเยา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 เลขที่สัญญา FF65-UoE014 และหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) ประจำปีงบประมาณ 2563 เลขที่สัญญา A13F630008 โครงการวิจัยเรื่องการยกระดับการผลิต แปรรูป และตลาดโคเนื้อจังหวัดพะเยา เพื่อสร้างห่วงโซ่คุณค่าใหม่แก่ผลิตภัณฑ์ชุมชน จากเศรษฐกิจฐานรากสู่มูลค่าเชิงพาณิชย์ ขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ รวมถึงเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Ali, A.A., Sudhir, B., Krishnaswamy, T., & Gopal, S. (2006). Effect of rotation on the heat penetration characteristics of thermally processed tuna in oil in retort pouches. *International Journal of Food Science and Technology, 41,* 215–219.

Bindu, J., & Gopal, T.K.S. (2008). Heat penetration characteristics of smoked tuna in oil and brine in retort pouches at different rotational speeds. *Journal of Food Processing and Preservation, 32*(2), 231-246.

Bindu, J., Ravishankar, C.N., Dinesh, K., Mallick, A.K., & Gopal, T.K.S. (2011). Heat penetration characteristics and shelf life of ready to serve mahseer curry in opaque retortable pouches. *Fishery Technology, 48*(2), 141-148.

Bindu, J., Ravishankar, C.N., Gopal, T.K.S., & Mallick, A.K. (2010). Investigations on shelf life and heat penetration attributes of ready to eat. “Fish peera” from Anchory (*Stolephorus commersoni*) in retort pouches. *Journal of Food Processing and Preservation, 34*, 207-222.

Califano, A.N., Bertola, N.C., Bevilacqua, A.E., & Zaritzky, N.E. (1997). Effect of processing conditions on the hardness of cooked beef. *Journal of Food Engineering*, *34*(1), 41-54.

Dasan, G.P., Bojayanaik, M., Gundubilli, D., Banavath, S.N., Siravati, M.R., Obaliah, M.C., & Alandur, V.S. (2021). Heat penetration characteristics and quality of ready-to-eat shrimp in masala (*Litopenaeus vannamei*) in flexible retortable pouches. *Journal of Food Processing and Preservation, 45*(5), e15411.

Frott, R., & Lewis, A.S. (1994). *Canning of Meat and Fish Products*. London: Chapman and Hall.

Girish, P.S., Nath, L., Thomas, R., Rajkumar, V., & Alam, T. (2018). Development of shelf stable ready-to-eat pork curry using retort processing technology. *Journal of Packaging Technology and Research, 2*, 61–66.

Hema, K., Velayutham, P., Mohan, C.O., Sukumar, D., Sundaramoorthy, B., Athithan, S., Sugumar, G., Ravishankar, C.N., & Ashok Kumar, K. (2021). Thermal process evaluation of analogue shrimp product (ASP) from lizard fish (*Saurida tumbil*) in retort pouches. *Indian Journal of Animal Research, 55*(2), 230-235.

Holdsworth, D., & Simpson, R. (2007). *Thermal processing of packaged foods*. New York: Springer-Verlag New York Inc.

Horner, W.F.A. (1992). Canning fish. In G.M. Hall. (Ed.), Fish Processing Technology. (pp. 114-153). New York: Blackie Academic and Professional.

Ma, L.Y., Deng, J.C., Ahed, E.M., & Adams, J.P. (1983). Canned shrimp texture as function of its heat history. *Journal of Food Science, 48*(2), 360–363.

Majumdar, K.R., Dhar, B., Roy, D., & Saha, A. (2015). Optimization of process conditions for Rohu fish in curry medium in retortable pouches using instrumental and sensory characteristics. *Journal of Food Science and Technology, 52*(9), 5671–5680.

Majumdar, R. K., Roy, D., & Saha, A. (2017). Textural and sensory characteristics of retort-processed freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in curry medium. *International Journal of Food Properties, 20*(11), 2487–2498.

Mohan, C.O., Ravishankar, C.N., Gopal, T.K.S., & Bindu, J. (2008). Thermal processing of prawn 'kuruma' in retortable pouches and aluminium cans. *International Journal of Food Science and Technology, 43,* 200–207.

Mohammedali Shihab, C.P., Hafeeda, P., Kumar, R., Kathiravan, T., & Nadanasabapathi, S. (2013). Development and evaluation of shelf stable retort processed ready-to-drink (RTD) traditional Thari Kanchi payasam in flexible retort pouches. *International Food Research Journal, 20*(5), 2247-2252.

Mugale, R., Patange, S.B., Joshi, V.R., Kulkarni, C.N., & Shirdhankar, M.M. (2018). Heat penetration characteristics and shelf life of ready to serve eel curry in retort pouch. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7*(2), 89-100.

NCA. (1968). *Laboratory manual for food canners and processors (Vol. 1)*. Westport, CT: National Canners Association. AVI Publishing Co., pp.204–219.

Rajkumar, D., Dushyanthan, K., & Das, A.K. (2010). Retort pouch processing of Chettinad style goat meat curry a heritage meat product. *Journal of Food Science and Technology, 47*(4), 372-379.

Ranganna, S. (2000). *Handbook of canning and aseptic packaging*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publ Co Ltd.

Ravishankar, C.N., Gopal, T.K.S., & Vijayan, P.K. (2002). Studies on heat processing and storage of seer fish curry in retort pouches. *Packaging Technology and Science,15,* 3-7.

Shah, M.A., Bosco, S.J.D., Mir, S.A., & Sunooj, K.V. (2017). Evaluation of shelf life of retort pouch packaged Rogan josh, a traditional meat curry of Kashmir, India. *Food Packaging and Shelf Life, 12,* 76-82.

Sreenath, P.G., Martin, X.K.A., Ravishankar, C.N., Bindu, J., & Gopal, T.K.S. (2007). Standardisation of process parameters for ready-to-eat squid masala in indigenous polymer-coated tin-free steel cans. *International Journal of Food Science and Technology, 42,* 1148–1155.

Tribuzi, G., Aragao, G., & Laurindo, J.B. (2015). Processing of chopped mussel meat in retort pouch. *Food Science and Technology (Campinas), 35*(4), 612-619.