

บทความวิจัย (Research Article)

การยืดอายุการเก็บรักษาของเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคร่วมกับการฉายรังสีแกมมา
พรทิพย์ ศิริสุนทรลักษณ์^{1*}, สุมาลี นิลพฤษ², กานต์ธิดา เนียมศรี¹ และ ปิยวรรณ สินวาสนามงคล¹

Shelf life extension of ready to eat fish burger using gamma irradiation

Porntip Sirisoontarak^{1*}, Sumalee Nilphruek², Ganthida Neamsri¹ and Piyawan Sinwasnamongkol¹

¹ Division of Food Science and Nutrition, Faculty of Agricultural Product and Innovation, Srinakharinwirot University, Nakhon Nayok, 26120

² Office of Atoms for Peace, Chatuchak, Bangkok, 10900

* Corresponding author: porntips@swu.ac.th

Naresuan Phayao J. 2022;15(1):77-89

Received; 15 April 2021; Revised: 22 July 2021; Accepted: 30 August 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภค โดยเตรียมเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคจากปลาแซลมอนบด (ปลาเนื้อแดง) ผสมปลาตอร์รีบด (ปลาเนื้อขาว) ด้วยอัตราส่วน 50:50 บรรจุถุงพลาสติกปิดสนิท และฉายรังสีแกมมาที่ระดับรังสี 2, 4, 6 และ 8 kGy พบว่าค่า Aw และความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ค่า pH เพิ่มขึ้นภายหลังการฉายรังสี ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า distance at failure (ความเปราะ), ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของผิวเบอร์เกอร์ปลา และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของเนื้อเบอร์เกอร์ปลาลดลงที่ระดับรังสี 8, 2 และ 4 kGy ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามผู้ชิมให้การยอมรับเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคที่ผ่านการฉายรังสี 8 kGy และเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคปราศจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค ได้แก่ *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus aureus*, *Clostridium perfringens* และ *Escherichia coli* แต่ยังคงมีจุลินทรีย์หลงเหลืออยู่ประมาณ 4 log CFU/g ดังนั้นเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคจึงเสื่อมเสียเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($25 \pm 5^\circ\text{C}$) นาน 3 วัน ส่วนการฉายรังสีแกมมา 8 kGy สามารถทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดและยืดอายุการเก็บรักษาเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคจาก 3 วัน เป็นอย่างน้อย 2 เดือนที่อุณหภูมิห้อง ($25 \pm 5^\circ\text{C}$)

คำสำคัญ: เบอร์เกอร์ปลา, พร้อมบริโภค, การฉายรังสีแกมมา, อายุการเก็บรักษา

¹ สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จังหวัดนครนายก 26120

² สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพฯ 10900

Abstract

This research aims to extend the shelf life of ready-to-eat (RTE) fish burger. RTE fish burger was prepared from minced salmon (red flesh fish) and minced dory (white flesh fish) at ratio of 50:50, packed in sealed plastic bags and exposed to gamma irradiation at 2, 4, 6 and 8 kGy. Aw and water holding capacity slightly decreased, whereas pH increased after irradiation ($p \leq 0.05$). Distance at failure (fracturability), redness (a^*) of burger crust, redness (a^*) of burger flesh decreased at 8, 2 and 4 kGy respectively ($p \leq 0.05$). However, panelists accepted irradiated RTE fish burger even at 8 kGy. The RTE fish burger was free from the pathogens including *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus aureus*, *Clostridium perfringens* and *Escherichia coli* but microbial populations of 4 log CFU/g still remained in the burger. Thus RTE fish burger was spoiled at 3 days of ambient storage ($25 \pm 5^\circ\text{C}$). Gamma irradiation at 8 kGy could destroy entire microbial and extend shelf life of RTE fish burger from 3 days to 2 months at ambient temperature ($25 \pm 5^\circ\text{C}$).

Keywords: Fish burger, Ready to eat, Gamma irradiation, Shelf life

บทนำ

ปลาได้รับความสนใจบริโภคมากขึ้นและเป็นส่วนผสมสำคัญในอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากเนื้อปลาให้ปริมาณแคลอรีต่ำ โปรตีนย่อยง่ายและมีองค์ประกอบกรดไขมันอิ่มตัวต่ำ (โดยเฉพาะปลาเนื้อขาว) มีกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายประเภท polyunsaturated fatty acids (PUFA) มีไขมันไม่อิ่มตัวปริมาณมากให้วิตามิน A, D, E, and B₁₂ และให้แร่ธาตุจำเป็น ได้แก่ เซเรเนียมและไอโอดีน [1]

ปลาบด (minced fish) เป็นปลาที่สามารถผลิตจากเนื้อปลาและเศษเหลือจากการตัดแต่งสามารถนำไปขึ้นรูปหรือใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อื่นได้ง่าย อย่างไรก็ตามปลาเสื่อมเสียง่ายจากการทำงานของเอนไซม์ในปลาทำให้เกิดการย่อยสลายตัวเอง (autolysis), การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในเนื้อปลา [2] ซึ่งการแปรรูปปลาด้วยการบดและขึ้นรูป และทำให้สุก เป็นผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภค (ready to eat products) จะทำให้บริโภคสะดวกและยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อีกทางหนึ่ง

โดยทั่วไป ปลาบดที่นำมาทำเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคมักจะเป็นปลาเนื้อขาว เช่น ปลาดอร์รี่ (Dory, *Zeus faber*) ซึ่งเป็นปลาที่มีเนื้อสีขาว ไม่มีกลิ่นคาว เนื้อแน่น ไม่ยุ่ย และมีไขมันต่ำ แต่การผสม

ปลาเนื้อแดง เช่น ปลาแซลมอน (*Salmon, Salmo salar*) จะช่วยเพิ่มคุณประโยชน์ต่อสุขภาพ เนื่องจากปลาแซลมอนอุดมด้วยโปรตีน กรดอะมิโน กรดไขมันโอเมก้า-3 วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 วิตามินบี 6 วิตามินบี 12 แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก สังกะสี แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส และการบริโภคปลาแซลมอนจะช่วยลดระดับไตรกลีเซอไรด์ และเพิ่มปริมาณไขมันดี (คอเลสเตอรอล HDL) อย่างไรก็ตาม การหาสัดส่วนการผสมปลาเนื้อขาวและปลาเนื้อแดงที่เหมาะสมมีความจำเป็นเนื่องจากเนื้อปลาทั้งสองชนิดมีคุณลักษณะแตกต่างกัน

สำหรับกระบวนการผลิตเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภค เริ่มจากนำปลาบดมาบรรจุพิมพ์และทำให้สุกก่อนยืดอายุการเก็บรักษาด้วยการการแช่เย็นซึ่งให้อายุการเก็บรักษาสั้น หรือการแช่แข็งซึ่งมีข้อจำกัดในการขนส่ง เก็บรักษา และกระจายสินค้า หรือการมาซื้อด้วยความร้อนระดับสเตอร์ไรไลซ์เซชันที่ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แต่อาจสูญเสียกลิ่นรส เนื้อสัมผัส โดยเฉพาะเนื้อปลาที่เสียหายง่ายจากความร้อน การยืดอายุการเก็บรักษาด้วยวิธีอื่นจึงมีความจำเป็น

การฉายรังสีแกมมา (Gamma irradiation) เป็นการนำอาหารบรรจุในภาชนะหรือหีบห่อที่เหมาะสมแล้วนำมาอยู่ในสนามรังสีที่แผ่จากสาร

กัมมันตภาพรังสี ได้แก่ โคบอลต์-60 (Co-60) หรือ ซีเซียม-137 (Cs-137) รังสีแกมมาเป็นรังสีที่มีพลังงานสูงมีประสิทธิภาพทำให้ DNA ของเซลล์ที่มีชีวิตเสียหาย จึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารด้วยการยับยั้งการเสื่อมเสียที่เกิดจากเมตาบอลิซึมของเซลล์พืชและสัตว์ แมลง ปรสิตร จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียและจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค โดยการฉายรังสีจะไม่ทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (cold pasteurization)

สำหรับอาหารพร้อมบริโภคที่มีเนื้อสัตว์เป็นส่วนผสมที่ผ่านการปรุงสุกและแช่เย็น พบว่าการฉายรังสีแกมมามีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อให้เกิดโรค เช่น *Listeria monocytogenes*, *Listeria ivanovii*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* และสามารถยืดอายุอาหารพร้อมบริโภคแช่เย็นหลายชนิด ได้แก่ สเต็ก มัสมั่นฝรั่งบด และน้ำเกรวี่บรรจุภายใต้สภาพจัดเก็บบรรยากาศ [3], [4] แฮมแช่เยือกแข็งและแซนวิชชีส [5], [6] แซนวิชทอโร-ทิลาห่อเนื้อไก่กึ่งวงและชีส [7] Kimbab หรือข้าวห่อสาหร่าย [8] ลูกชิ้นดิบ [9] ซุปพร้อมบริโภค ได้แก่ ซุปหางวัว ซุปไก่และผัก ซุปไก่และข้าวโพดหวาน [10] Dakgalbi หรือเนื้อไก่ผัดซอส [11] เช่นเดียวกับอาหารทะเลพร้อมบริโภค พบว่าการฉายรังสีสามารถยับยั้งไวรัส จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคที่สำคัญ ได้แก่ *L. monocytogenes*, *S. aureus* และ *Vibrio parahaemolyticus* และยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ปลาเฮริ่งกึ่งแห้งและปลาหมึกกึ่งแห้ง [12] หอยนางรมหมักเกลือและเครื่องเทศแช่เย็น [13] หรือกุ้งพร้อมบริโภคเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง [14] อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบทางเคมีในอาหาร เช่น น้ำ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต รังควัตถุ ฯลฯ เป็นไปตามระดับของรังสี การฉายรังสีที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อคุณภาพของอาหารและการยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการปรับใช้รังสีแกมมาเพื่อให้เบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคมีความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ มีคุณภาพทางเคมีกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และ

สามารถเก็บรักษานานขึ้น ลดการเสื่อมเสียระหว่างขนส่งและรอการจำหน่าย

วัสดุและวิธีการ

1. การเตรียมเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภค

นำปลาเนื้อแดง คือ ปลาแซลมอน (*Salmo salar*) และปลาเนื้อขาว คือ ปลาดอรี่ (*Dory, Zeus faber*) มาบด และผสมกันด้วยสัดส่วนเนื้อปลาแซลมอนต่อเนื้อปลาดอรี่ที่แตกต่างกัน ได้แก่ 70:30, 60:40, 50:50, 40:60 และ 30:70 จากนั้นผสมเนื้อปลาบด 90 กรัม (89.5%) กับส่วนผสมอื่น ได้แก่ โปรตีนเกษตร (texture soy protein) 5 กรัม (5.0%), เกลือ 0.5 กรัม (0.5%), ผงกระเทียม 1.5 กรัม (1.5%), ผงหัวหอม 1.5 กรัม (1.5%), พริกไทย 1 กรัม (1.0%), ผงชูรส 0.5 กรัม (0.5%), โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3 กรัม (0.3%) และ โซเดียมอีริทอร์เบต 0.25 กรัม (0.2%) คลุกผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใส่ในแม่พิมพ์สแตนเลสรูปร่างกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ซม. เพื่อขึ้นรูป นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C นาน 10 นาที และนำเข้าเตาอบอุณหภูมิ 220 °C นาน 5 นาที กลับด้านและอบต่ออีกนาน 5 นาที จากนั้นนำเบอร์เกอร์ปลาที่ปรุงสุกมาประเมินการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม ด้วยการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้วยวิธี 9-point hedonic scale เพื่อคัดเลือกส่วนผสมเนื้อปลาบดที่เหมาะสม

2. การศึกษาระดับรังสีที่เหมาะสมสำหรับเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิท

เตรียมเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคด้วยส่วนผสมเนื้อปลาบดที่ได้รับการยอมรับจากผู้ชิมและบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิทแบบสุญญากาศ จากนั้นนำไปฉายรังสีแกมมา ด้วยเครื่องฉายรังสี Gamma Cell-220 ซึ่งใช้ โคบอลต์-60 เป็นแหล่งของรังสีแกมมา ที่ระบุค่า Dose rate เป็น 0.16 KGy/min จากการประเมินการดูดซับรังสีด้วย ferrous sulfate และ ceric sulfate dosimetry โดยฉายรังสีแกมมาที่ระดับรังสี 2, 4, 6 และ 8 kGy และนำเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคมาตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ คุณภาพ

ทางเคมีกายภาพ (pH, Aw, สี, ความสามารถในการอุ้มน้ำ และเนื้อสัมผัส) คุณภาพทางประสาทสัมผัส และคุณภาพทางจุลชีววิทยา (ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, ปริมาณยีสต์และรา, *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* และ *Escherichia coli*) โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคนึ่งฉายรังสี (0 kGy) เพื่อเลือกกระดับการฉายรังสีที่เหมาะสม

3. การประเมินอายุการเก็บรักษาของเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคนึ่งฉายรังสี

เตรียมเบอร์เกอร์ปลาบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิทมาฉายรังสีแกมมาที่ระดับรังสีที่เหมาะสม จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($25 \pm 5^\circ\text{C}$) เป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยทุกเดือนนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, ปริมาณยีสต์และรา, *Salmonella spp.* และ *Staphylococcus aureus* โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคนึ่งฉายรังสี (0 kGy) เพื่อประเมินอายุการเก็บรักษาของเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคนึ่งฉายรังสีพลาสติกปิดสนิทระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิห้อง

4. การตรวจคุณภาพเบอร์เกอร์ปลา

pH วิเคราะห์ด้วยเครื่อง pH Meter (รุ่น pH 700, บริษัท EUTECH, ประเทศสหรัฐอเมริกา) **Aw** วิเคราะห์ค่า Aw ด้วยเครื่อง Aw meter (รุ่น LabMaster-Aw, Novasina, ประเทศสวิสเซอร์แลนด์) **ค่าสี** วัดค่า L^* (ความสว่าง), ค่า a^* (ความเป็นสีแดง), ค่า b^* (ความเป็นสีเหลือง) ด้วยเครื่อง Color Difference Meter (รุ่น ColorFlex E2, บริษัท Hunter Lab, ประเทศสหรัฐอเมริกา) **ความสามารถในการอุ้มน้ำ** โดยนำตัวอย่าง 3 กรัมมาหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 2000 rpm จากนั้นชั่งน้ำที่ผิวตัวอย่างด้วยกระดาษซับน้ำที่ทราบน้ำหนักแน่นอน คำนวณความสามารถในการอุ้มน้ำจากน้ำหนักน้ำที่ไหลออกมาต่อน้ำหนักตัวอย่าง (g/100g) และ **เนื้อสัมผัส** ประเมินโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (TA-XT2i, Stable Micro Systems, UK) ด้วย cutting strength test โดยใช้หัววัดแบบใบมีดตัด, load

cell ขนาด 50 kg, cross head speed 1 mm/s โดยให้ใบมีดให้กดลงบนตัวอย่างเป็นระยะประมาณ 7 มิลลิเมตร รายงานค่า Distance at Failure, Work of Shear และ Cutting Strength

คุณภาพทางประสาทสัมผัส นำผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคนึ่งฉายรังสีพลาสติกปิดสนิทมาทดสอบความชอบของผู้ชิมด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยระดับคะแนน 1 ไม่ชอบมากที่สุด จนถึง 9 ชอบมากที่สุด โดยใช้ผู้ชิมจำนวน 50 คน โดยให้ผู้ชิมประเมินคุณลักษณะ ได้แก่ ความชอบโดยรวม (overall liking), สี (color), กลิ่น (odor), รสชาติ (taste) และเนื้อสัมผัส (texture)

สำหรับคุณภาพทางจุลชีววิทยา **ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด** วิเคราะห์ด้วยวิธี pour plate ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) และบ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$ นาน 24 ชั่วโมง **ปริมาณยีสต์และรา** วิเคราะห์ด้วยวิธี pour plate ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) และบ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$ นาน 5 วัน **ปริมาณ *Salmonella spp.*** วิเคราะห์ด้วยการ pre-enrichment ใน Lactose Broth ที่อุณหภูมิ $35 \pm 2^\circ\text{C}$ นาน 24 ชั่วโมง และ selective enrichment ด้วยการถ่ายเชื้อลงใน Rappaport-Vassiliadis broth (RV broth) และ บ่มที่อุณหภูมิ $42 \pm 0.2^\circ\text{C}$ นาน 24 ชั่วโมง และทดสอบขั้น selective plating ด้วยการเขี่ยเชื้อลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ XLD (Xylose Lysine Deoxycholate Agar) และ บ่มที่อุณหภูมิ $35 \pm 2^\circ\text{C}$ นาน 24 ชั่วโมง **ปริมาณ *Staphylococcus aureus*** วิเคราะห์โดยใช้อาหารเหลว trypticase soy (ที่มีเกลือความเข้มข้นร้อยละ 10) บ่มที่อุณหภูมิ $35-37^\circ\text{C}$ นาน 3 ชั่วโมง แล้วจึงเติม trypticase soy broth (ที่มีเกลือความเข้มข้นร้อยละ 20) บ่มที่อุณหภูมิ $35-37^\circ\text{C}$ นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำอาหารเลี้ยงเชื้อนั้นมา spread บนอาหารแข็ง Baird Parker บ่มที่อุณหภูมิ $35-37^\circ\text{C}$ นาน 24 ชั่วโมง **ปริมาณ *Listeria monocytogenes*** วิเคราะห์โดยใช้ Listeria enrichment medium ในการเพิ่มจำนวน จากนั้นเขี่ยเชื้อลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่เป็น selective agar ได้แก่ PALCAM Listeria Selective agar (PALCAM) และ ALOA agar จากนั้นนำไปย้อมสีแก

รมและนำไปทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี ปริมาณ *Bacillus cereus* วิเคราะห์ด้วยวิธี spread plate ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Mannitol-egg yolk-polymyxin agar (MYP agar) และบ่มที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 18–24 ชั่วโมง ปริมาณ *Clostridium perfringens* วิเคราะห์ด้วยวิธี pour plate ในอาหารเลี้ยงเชื้อ egg-yolk-free-tryptose-sulfite-cycloserine agar (TSC agar) และบ่มที่อุณหภูมิ $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 20 ชั่วโมง ในสภาวะไม่มีอากาศ ปริมาณ *Escherichia coli* วิเคราะห์ด้วยวิธี surface spread plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Sorbitol Mac Conkey agar ที่เติม cefixime tellurite และบ่มที่อุณหภูมิ $37\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคุณภาพเบอร์กอร์ปลาด้วย One Way ANOVA และ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 11.5

ผลการศึกษา

1. อัตราส่วนปลาแซลมอนต่อปลาตอร์รี่สำหรับเตรียมเบอร์กอร์ปลาพร้อมบริโภค

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเบอร์กอร์ปลาที่ทำจากเนื้อปลาแซลมอนผสมเนื้อปลาตอร์รี่ด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30) แสดงในตาราง 1 พบว่าผู้ชิมให้คะแนนความชอบโดยรวม สี กลิ่น และรสชาติไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) สำหรับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนของปลาแซลมอนที่เพิ่มขึ้น โดยเบอร์กอร์ปลาที่ทำจากเนื้อปลาแซลมอนผสมเนื้อปลาตอร์รี่ด้วยอัตราส่วน 50:50 ได้รับคะแนนมากกว่าอัตราส่วน 60:40 ($p \leq 0.05$) ดังนั้นหากพิจารณาการเติมเนื้อปลาแซลมอนในผลิตภัณฑ์ให้มากที่สุดเพื่อคุณประโยชน์ต่อสุขภาพ จึงนำเบอร์กอร์ปลาที่ทำจากเนื้อปลาแซลมอนผสมเนื้อปลาตอร์รี่ด้วยอัตราส่วน 50:50 มาประเมินระดับรังสีที่เหมาะสมต่อไป

ตาราง 1 คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเบอร์กอร์ปลาที่ใช้อัตราส่วนเนื้อปลาแซลมอนต่อปลาตอร์รี่แตกต่างกัน

Salmon:Dory	Sensory scores*				
	Overall liking	Color	Odor	Taste	Texture
30:70	5.3 $\pm$ 1.5a	5.3 $\pm$ 1.1a	5.9 $\pm$ 1.4a	5.0 $\pm$ 1.7a	5.3 $\pm$ 1.8a
40:60	5.6 $\pm$ 1.3a	6.0 $\pm$ 1.1a	5.5 $\pm$ 0.5a	5.9 $\pm$ 1.2a	5.3 $\pm$ 1.4a
50:50	5.5 $\pm$ 1.3a	5.6 $\pm$ 1.0a	5.3 $\pm$ 1.4a	5.1 $\pm$ 1.5a	5.2 $\pm$ 1.6a
60:40	5.0 $\pm$ 1.4a	5.6 $\pm$ 1.1a	5.3 $\pm$ 1.3a	5.0 $\pm$ 1.2a	3.7 $\pm$ 1.4b
70:30	5.0 $\pm$ 1.1a	5.4 $\pm$ 1.6a	5.0 $\pm$ 1.9a	5.1 $\pm$ 1.3a	5.0 $\pm$ 1.6ab

*In a column, means values $\pm$ SD with different letters were significantly different ($p \leq 0.05$)

2. คุณภาพของเบอร์กอร์ปลาพร้อมบริโภคฉายรังสี

คุณภาพเคมีกายภาพ

เมื่อนำเบอร์กอร์ปลาที่ทำจากเนื้อปลาแซลมอนผสมปลาตอร์รี่ด้วยอัตราส่วน 50:50 บรรจุถุงพลาสติกปิดสนิทและฉายรังสีแกมมาที่ระดับรังสี 2, 4, 6 และ 8 kGy มาประเมินคุณภาพ และเปรียบเทียบกับเบอร์กอร์ที่ไม่ฉายรังสี พบว่าค่า Aw ของเบอร์กอร์ปลาไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ในขณะที่

ที่การฉายรังสีตั้งแต่ 4 kGy ทำให้ค่า pH ของเบอร์กอร์ปลาเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมีแนวโน้มลดลง แม้จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับเนื้อสัมผัส พบว่าการฉายรังสีไม่มีผลต่อค่า work of shear และค่า cutting strength ($p > 0.05$) แต่ทำให้ค่า distance at failure ลดลง ที่ระดับรังสี 8 kGy ($p \leq 0.05$) (ตาราง 2)

สำหรับตาราง 3 การฉายรังสีไม่ทำให้ค่าความสว่าง (L^*) และความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผิว

เบอร์เกอร์ปลาเปลี่ยนแปลง ($p > 0.05$) แต่การฉายรังสีตั้งแต่ 2 kGy ทำให้ความเป็นสีแดง (a^*) ของผิวเบอร์เกอร์ปลาลดลง ซึ่งแสดงว่าผิวเบอร์เกอร์แดงซีดลง ($p \leq 0.05$) ส่วนสีภายในเบอร์เกอร์ปลา พบว่าการฉายรังสี 4 kGy ทำให้ความเป็นสีแดง (a^*) ของเนื้อเบอร์เกอร์ปลาลดลง ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจนของค่าความสว่าง (L^*) และความเป็นสีเหลือง (b^*) หลังการฉายรังสี

คุณภาพประสาทสัมผัส

การฉายรังสีแกมมาไม่มีผลต่อความชอบของผู้ชิมด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ และเนื้อสัมผัสของเบอร์เกอร์ ปลาพร้อมบริโภคน้ำ ($p > 0.05$) ในขณะที่ผู้ชิมให้คะแนนความชอบด้านสีและกลิ่นลดลงเมื่อฉายรังสีที่ 8 kGy และ 2 kGy ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม ผู้ชิมให้คะแนนความชอบโดยรวมต่อเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคน้ำฉายรังสีไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่ฉายรังสี ($p > 0.05$) และผู้ชิมยังให้การยอมรับเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคน้ำแม้จะฉายรังสีถึง 8 kGy (ตาราง 4)

คุณภาพทางจุลชีววิทยา

เมื่อนำเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคน้ำที่ฉายรังสีแกมมา (2-8 kGy) และไม่ฉายรังสีแกมมา มาวิเคราะห์

จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคที่มีโอกาสปนเปื้อนอาหารที่มาจากปลาและอาหารพร้อมบริโภค พบว่าปริมาณ *S. aureus* < 1 log CFU/g, *B. aureus* < 1 log CFU/g, *E. coli* < 3 MPN/g และไม่พบ *Salmonella spp.*, *L. monocytogenes* และ *C. perfringens* ในตัวอย่างทั้งที่ฉายและไม่ฉายรังสีแกมมา อย่างไรก็ตาม เบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคหลังปรุงสุกมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.41 log CFU/g และการฉายรังสีแกมมาทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงเป็น 1.78, 1.69, <1 และ <1 log CFU/g เมื่อใช้ระดับรังสี 2, 4, 6 และ 8 kGy ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการฉายรังสีแกมมาตั้งแต่ 6 kGy ขึ้นไปสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด (รูป 1)

หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเคมีกายภาพ การยอมรับทางประสาทสัมผัส และคุณภาพทางจุลชีววิทยา พบว่าระดับรังสีแกมมาที่เหมาะสมในการยืดอายุเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภค คือ 8 kGy เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียในระดับที่สามารถยืดอายุผลิตภัณฑ์ได้ แม้ว่าการฉายรังสีแกมมาจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเคมีกายภาพเล็กน้อย แต่ผู้ชิมยังให้การยอมรับเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคแม้จะฉายรังสีถึง 8 kGy

ตาราง 2 ผลของการฉายรังสีแกมมาต่อคุณภาพเคมีกายภาพของเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิท

Irradiation doses (kGy)	pH	Aw	Water holding capacity (g/100g)	Texture		
				Distance at Failure (mm)	Work of Shear (N/mm.s)	Cutting Strength (N/mm)
0	6.58±0.33c	0.93±0.00b	2.04±0.29a	5.54±0.68a	0.95±0.26a	0.47±0.04a
2	6.77±0.08bc	0.92±0.01a	2.07±0.53a	5.16±0.41ab	1.24±0.33a	0.59±0.11a
4	7.01±0.05a	0.92±0.00a	2.63±1.55a	4.13±0.40bc	1.25±0.34a	0.58±0.14a
6	6.84±0.14ab	0.92±0.00a	2.28±0.86a	4.52±0.04a-c	1.30±0.42a	0.58±0.17a
8	7.04±0.11a	0.92±0.00a	1.94±0.39a	4.01±0.31c	1.22±0.28a	0.59±0.10a

*In a column, means values ±SD with different letters were significantly different ($p \leq 0.05$)

ตาราง 3 ผลของการฉายรังสีแกมมาต่อสีของเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคนบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิท

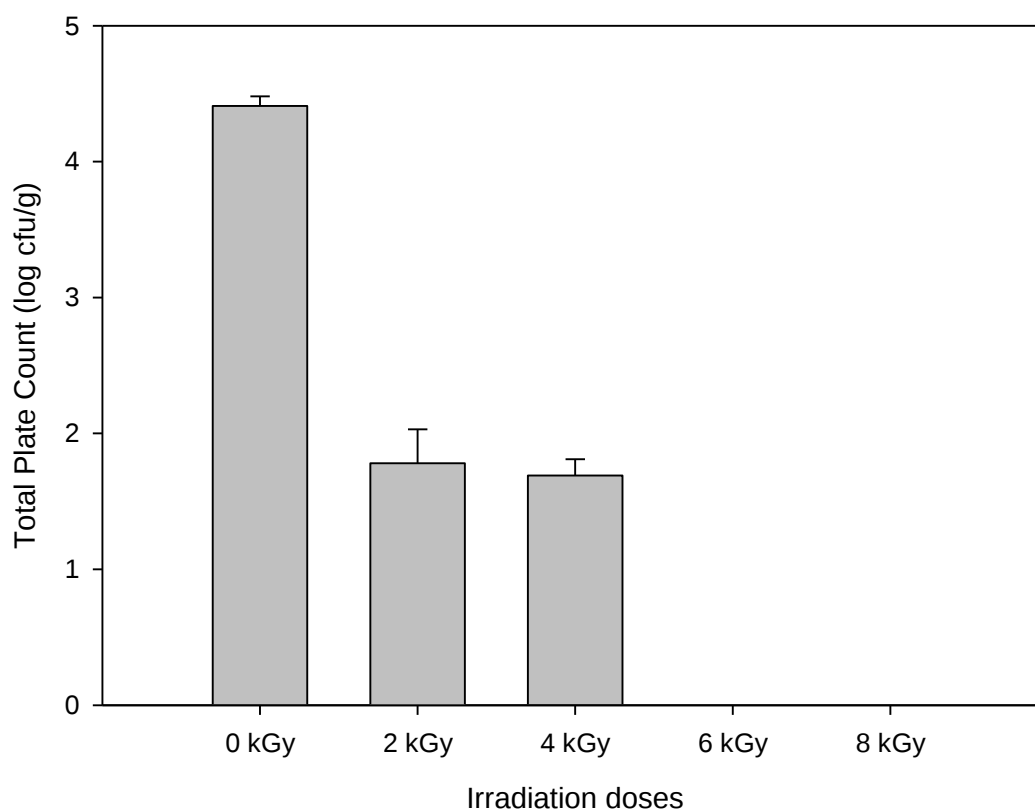
Irradiation doses (kGy)	Crust color			Inside color		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	37.4±1.9a	5.9±0.5a	12.3±0.5a	36.2±2.8c	4.3±0.5a	9.3±1.1ab
2	38.1±0.4a	4.6±0.5b	12.2±0.5a	39.0±1.1a	3.8±0.4a	9.8±0.5a
4	37.9±0.6a	4.4±1.1b	12.2±0.7a	36.6±1.5bc	3.0±0.7b	8.9±0.5ab
6	38.0±1.7a	4.4±1.0b	12.1±0.8a	38.9±1.4ab	2.9±0.5b	9.6±0.3ab
8	38.0±0.6a	3.7±0.8b	12.2±0.9a	37.0±2.0a-c	2.6±0.6b	8.7±1.2b

*In a column, means values±SD with different letters were significantly different ($p \leq 0.05$)

ตาราง 4 ผลของการฉายรังสีแกมมาต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคนบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิท

Irradiation doses (kGy)	Sensory scores*					
	Appearance	Color	Odor	Taste	Texture	Overall liking
0	7.00±1.25a	7.30±1.06a	6.40±2.72a	6.10±2.02a	5.90±1.73a	6.50±1.27a
2	6.55±1.39a	6.77±1.45ab	2.84±1.75b	6.16±1.95a	5.58±2.09a	6.42±1.29a
4	6.26±1.34a	6.26±1.50b	2.94±1.73b	6.03±1.60a	5.19±2.18a	6.48±1.50a
6	6.19±1.42a	6.42±1.52ab	3.10±1.97b	6.03±1.66a	5.39±2.23a	6.06±1.61a
8	6.03±1.70a	5.94±1.90b	2.94±1.88b	6.29±1.57a	5.81±2.26a	6.19±2.10a

*In a column, means values±SD with different letters were significantly different ($p \leq 0.05$)



รูป 1 ผลของการฉายรังสีต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิท

3. การเสื่อมเสียของเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิทฉายรังสี

เมื่อนำเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิทและฉายรังสีแกมมา 8 kGy มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 3 เดือน จากนั้นประเมินการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ และเปรียบเทียบกับเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิทที่ไม่ฉายรังสี พบว่าหลังการปรุงสุกและบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิท เบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคมีปริมาณยีสต์และรา < 1 log CFU/g และ *S. aureus* < 1 log CFU/g และไม่พบ *Salmonella spp.* แต่ยังคงมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 3.77 log CFU/g และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 3 และ 7 วัน ปริมาณ

จุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 6.82 log CFU/g และ 8.77 log CFU/g ตามลำดับ นอกจากนี้ แม้จะตรวจไม่พบ *S. aureus* ในวันแรกของการเก็บรักษา แต่ปริมาณ *S. aureus* เพิ่มขึ้นเป็น 2.40 log CFU/g และ 2.63 log CFU/g เมื่อเก็บรักษานาน 3 และ 7 วัน ตามลำดับ (ตาราง 5)

การฉายรังสีแกมมา 8 kGy สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *S. aureus* ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 3 เดือน ในขณะที่สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจาก 3.77 log CFU/g เหลือ <1 log CFU/g อย่างไรก็ตาม ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 2.73, 4.48 และ 6.22 log CFU/g เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 1, 2 และ 3 เดือน ตามลำดับ

ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ในเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภครรจุณพลาสติคปิดสนิท (ไม่ฉายรังสีและฉายรังสี 8 kGy) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

Microbial qualities*	Irradiation doses (kGy)	Storage time (days)					
		0	3	7	30	60	90
Total plate count (log CFU/g)	0	3.77±0.10	6.82±0.10	8.77±0.16	-	-	-
	8	<1	-	-	2.73±0.69	4.48±0.46	6.22±0.74
Yeasts & Molds (log CFU/g)	0	<1	<1	<1	-	-	-
	8	<1	-	-	<1	<1	<1
<i>Salmonella spp.</i> (log CFU/g)	0	ND	ND	ND	-	-	-
	8	ND	-	-	ND	ND	ND
<i>S. aureus</i> (log CFU/g)	0	<1	2.40±0.11	2.63±0.04	-	-	-
	8	<1	-	-	<1	<1	<1

ND = Not detected in 25 g sample; - The samples were not analyzed at that storage time

*Microbiological standards for fish sausages are TPC < 6 log CFU/g, Yeast & Molds < 2 log CFU/g, *Salmonella spp.* ND and *S. aureus* < 2 log CFU/g

วิจารณ์

ในการทำเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคใช้ปลาเนื้อแดง คือ ปลาแซลมอน (*Salmon, Salmo salar*) และปลาเนื้อขาว คือ ปลาตอร์รี (*Dory, Zeus faber*) โดยเนื้อปลาทั้งสองชนิดมีคุณลักษณะแตกต่างกัน โดยปลาตอร์รีอยู่ในกลุ่มปลาที่มีไขมันต่ำ (ปริมาณไขมันมากกว่า 2-4 g/100g) มีเนื้อสีขาว ไม่มีกลิ่นคาว เนื้อแน่น ไม่ยุ่ย มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมด้วยกรดอะมิโน กรดไขมันโอเมก้า-3 วิตามินบี 2 วิตามินดี แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก สังกะสี ไอโอดีน และแมกนีเซียม ส่วนปลาแซลมอน อยู่ในกลุ่มปลาที่มีไขมันสูง (ปริมาณไขมันมากกว่า 8-20 g/100g) มีเนื้อสีส้มจนถึงแดง ซึ่งสีส้มแดงของเนื้อปลาแซลมอนมาจากรงควัตถุแคโรทีนอยด์ (แอสตาแซนทินและแคนทาแซนทิน) ในเคยและหอยที่เป็นอาหารของปลาแซลมอน ปลาแซลมอนมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมด้วยโปรตีน กรดอะมิโน กรดไขมันโอเมก้า-3 วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 วิตามินบี 6 วิตามินบี 12 แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก สังกะสี แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส และการบริโภคปลาแซลมอนจะช่วยลดระดับไตรกลีเซอไรด์ และเพิ่มปริมาณไขมันดี (คอเลสเตอรอล HDL)

ในกระบวนการเตรียมเบอร์เกอร์ปลา จะนำเนื้อปลาลบทั้ง 2 ชนิด มาผสมตามสัดส่วน จากนั้นผสมเกลือ เครื่องปรุงรส โปรตีนเกษตร และสารเพิ่มความอ้วน จากนั้นขึ้นรูป แช่เย็น และอบจนสุก ซึ่งโปรตีนจากเนื้อปลาที่ละลายออกมาจากการผสมเกลือ และโปรตีนเกษตรจะจับกับน้ำทำให้เนื้อปลาสามารถเกาะกันเป็นก้อน ส่วนสารเพิ่มความอ้วนจะจับน้ำ ทำให้เนื้อปลาขึ้นรูปยังฉ่ำน้ำ ไม่แห้ง หลังการปรุงสุก [15] โดยส่วนใหญ่เนื้อปลาลบและปลาขึ้นรูปจะทำจากปลาเนื้อขาว สำหรับเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภค การเติมเนื้อปลาแซลมอนในผลิตภัณฑ์จะสามารถเพิ่มคุณประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยสามารถผสมได้ในสัดส่วนที่เหมาะสม แต่หากเพิ่มปริมาณเนื้อปลาแซลมอนบด (ปลาเนื้อแดง ไขมันสูง) ผสมกับปลาตอร์รีบด (ปลาเนื้อขาว ไขมันต่ำ) ถึง 60:40 ผู้ชิมจะให้การยอมรับด้านเนื้อสัมผัสลดลง อาจเนื่องมาจากปริมาณโปรตีนและไขมันของปลาทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกัน ส่งผลต่อการเกาะตัวกัน ความแน่นเนื้อ และความฉ่ำน้ำของเบอร์เกอร์ โดยการเพิ่มปริมาณเนื้อปลาแซลมอนบดจะทำให้เนื้อปลาเกาะกันไม่แน่น หยิบ และแห้ง นอกจากนี้เบอร์เกอร์ยังมีสีแดงเข้มขึ้นจากสีของเนื้อปลาแซลมอน ดังนั้นอัตราส่วนปลาแซลมอนต่อปลาตอร์รีสำหรับ

เตรียมเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคที่เหมาะสมคือ 50:50

การฉายรังสีแกมมาอาหารเป็นการแผ่รังสีแกมมาจากกัมมันตภาพรังสีไปสู่อาหาร รังสีแกมมาจะถ่ายเทพลังงานให้โมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของอาหาร (น้ำ โปรตีน ไขมัน ฯลฯ) โมเลกุลถูกกระตุ้นแตกตัวเป็นไอออน อิเล็กตรอนอิสระ อนุมูลอิสระ และทำปฏิกิริยากับสารที่เป็นองค์ประกอบของอาหารอื่นในอาหารอย่างต่อเนื่อง เกิดเป็นสารประกอบเคมีแตกตัวจากรังสี (radiolytic products) ซึ่งจะแตกต่างกันตามองค์ประกอบตั้งต้นของอาหาร [16]

สำหรับเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่า Aw สูง (0.91-0.92) น้ำอิสระจึงเป็นส่วนประกอบสำคัญ การฉายรังสีแกมมาทำให้โมเลกุลของน้ำบริสุทธิ์เปลี่ยนแปลง โดยแตกตัวเป็นไฮโดรเจนไอออน ไฮดรอกไซด์ไอออน อิเล็กตรอน ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ไอออน ซึ่งไม่เสถียรและทำปฏิกิริยาเคมีอย่างรวดเร็วกับสารประกอบอื่นเกิด radiolytic products แตกต่างกันตามองค์ประกอบของอาหาร [16] ซึ่งสาเหตุดังกล่าวอาจมีผลต่อปริมาณน้ำอิสระเพียงเล็กน้อย แต่ทำให้ค่า pH ของเบอร์เกอร์ปลาเพิ่มขึ้นหลังฉายรังสี

โปรตีนถือเป็นส่วนประกอบสำคัญจากเนื้อปลาลบ การฉายรังสีแกมมาจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของโปรตีนจากการแตกของพันธะไฮโดรเจนและพันธะอื่นที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างทุติยภูมิและตติยภูมิ, การแตกตัวเป็นโปรตีนขนาดเล็กจากการแตกของพันธะเปปไทด์, การเปิดและการคลายตัวของสายโซ่กรดอะมิโน ซึ่งจะทำให้โปรตีนหันเหที่ไวมาทำปฏิกิริยากับสารประกอบแตกตัวจากน้ำด้วยรังสี (e_{aq}^- , $H^\bullet$, $OH^\bullet$) และเกิดการเชื่อมข้ามด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดการรวมกลุ่ม [16] ซึ่งการเสื่อมสภาพของโปรตีนภายหลังการฉายรังสีทำให้สูญเสียคุณสมบัติของโปรตีน ดังจะเห็นได้จากค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเบอร์เกอร์ปลาลดลงเล็กน้อย รวมถึงค่า distance at failure ลดลงเล็กน้อยเช่นกัน ซึ่งแสดงถึงเบอร์เกอร์ปลาฉายรังสีมีความเปราะ (fracturability) เนื้อปลายืดเกาะกันน้อยลงและแยกออกจากกันง่ายเมื่อบีบอัดตัดผ่าน

ความเป็นสีแดงของผิวและเนื้อภายในของเบอร์เกอร์ปลาปรุงสุกลดลงภายหลังการฉายรังสีเนื่องจากการฉายรังสีแกมมาน่าจะมีผลกระทบต่อรงควัตถุแคโรทีนอยด์ (แอสตาแซนทินและแคนทาแซนทิน) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ให้สีส้มและแดงของเนื้อปลาแซลมอน แม้จะยังไม่มีการกล่าวถึงผลของการฉายรังสีต่อแอสตาแซนทินและแคนทาแซนทินโดยตรง แต่มีรายงานว่า การฉายรังสีแกมมามีผลต่อสีของปลาเรนโบว์เทราท์ ซึ่งเป็นปลาชนิดหนึ่งในวงศ์เดียวกับปลาแซลมอน โดยความเป็นสีเหลืองของเนื้อปลาลดลงเมื่อฉายรังสี 3 kGy [17] นอกจากนี้มีการยืนยันว่าการฉายรังสีแกมมาทำให้เกิดการสูญเสียของวิตามิน A และโปรวิตามินแคโรทีนอยด์ในอาหารหลายชนิด และทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแคโรทีนอยด์ในส่วนผสมมีสีซีดจางลง [18]

การฉายรังสีทำให้เบอร์เกอร์ปลาปรุงสุกมีสีแดงซีดจางลง ผู้ชิมจึงให้คะแนนความชอบด้านสีลดลง นอกจากนี้การฉายรังสียังทำให้เกิดสารประกอบเคมีแตกตัวจากรังสีที่อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของเบอร์เกอร์ปลาที่แตกต่างจากเดิม ทำให้ผู้ชิมให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นลดลงเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ผู้ชิมยังคงให้การยอมรับเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคแม้จะฉายรังสีถึง 8 kGy ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฉายรังสีอาหารพร้อมบริโภคอื่นที่มีเนื้อสัตว์เป็นส่วนประกอบ โดยผู้ชิมยังคงยอมรับอาหารพร้อมบริโภคที่ผ่านการฉายรังสีระดับต่ำถึงปานกลาง (1-10 kGy) เช่น กุ้งพร้อมบริโภคที่ผ่านการฉายรังสี 2.5 kGy [14], สเต็ก มันฝรั่งบด และน้ำเกรวี่บรรจุภายใต้สภาพดัดแปรบรรยากาศและผ่านการฉายรังสี 3 kGy [3], หอยนางรมหมักเกลือและเครื่องเทศที่ผ่านการฉายรังสี 5 kGy [13] เป็นต้น

นอกจากคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค การควบคุมความปลอดภัยอาหารถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง หากพิจารณาปลาและอาหารทะเลสดมักจะพบจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ทำให้อาหารเสื่อมเสีย เช่น *Salmonella* spp., *Listeria* spp., *Vibrio* spp., *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Alteromonas*, *Shewanella* spp. ในขณะที่จุลินทรีย์ที่ก่อโรคที่

มักพบในอาหารพร้อมบริโภค เช่น *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* อย่างไรก็ตามกรรมวิธีการผลิตเบอร์เกอร์ปลาจากเนื้อปลาแชลมนผสมปลาสดที่ถูกต้องลักษณะอาหารและการให้ความร้อนในขั้นตอนทำให้สุกที่มากเพียงพอสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคทั้ง *Salmonella* spp., *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. aureus*, *C. perfringens* และ *E. coli* แต่ยังคงมีจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียหลงเหลืออยู่ประมาณ 4 log CFU/g ซึ่งการฉายรังสีแกมมาในขั้นตอนต่อมาจะสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่ ปริมาณจุลินทรีย์ลดลงตามระดับรังสี โดยจุลินทรีย์ทั้งหมดถูกทำลายเมื่อฉายรังสี 6 kGy ทั้งนี้เนื่องจากการฉายรังสีแกมมามีผลต่อการทำงานของเซลล์หลายอย่าง ซึ่งอาจทำให้จุลินทรีย์บาดเจ็บหรือตายทันที ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์เมมเบรน ซึ่งมีผลต่อการถ่ายเทสารอาหารจำเป็นต่อการทำงานของเซลล์, ผลกระทบต่อเอนไซม์ของจุลินทรีย์, ผลต่อการสร้างกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (DNA) และกรดไรโบนิวคลีอิก (RNA), ผลกระทบต่อกิจกรรมเมตาบอลิซึมพลังงาน และผลกระทบต่อโมเลกุล DNA และ RNA ในนิวเคลียสของเซลล์ ซึ่งจำเป็นต่อการแบ่งและขยายขนาดของเซลล์ รวมถึงผลกระทบทางอ้อมของอนุมูลอิสระจากการแตกตัวของน้ำจากรังสีทำให้เกิดอันตรายต่อเซลล์ของจุลินทรีย์ [19]

ในการประเมินอายุการเก็บรักษาเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคที่อุณหภูมิห้อง เบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคหลังการปรุงสุกและบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิทมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 3.77 log CFU/g ซึ่งยังคงเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ไข่กรอบปลา [20] ที่กำหนดให้มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 6 log CFU/g แต่สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ไม่เกิน 3 วัน เนื่องจากมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 6.82 log CFU/g นอกจากนี้กระบวนการปรุงสุกไม่สามารถยับยั้ง *S. aureus* ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 2.40 log CFU/g ซึ่ง

ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน (*S. aureus* ไม่เกิน 2 log CFU/g)

การฉายรังสีแกมมา 8 kGy ทำให้จุลินทรีย์ที่หลงเหลือในเบอร์เกอร์พร้อมบริโภคลดลงจาก 3.77 log CFU/g เป็น <1 log CFU/g แต่ผลของรังสีแกมมาอาจทำให้จุลินทรีย์ตายทันทีหรือเพียงบาดเจ็บ ดังนั้นปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิทจึงเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องอย่างช้าๆ ทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นาน 2 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับการปรับใช้การฉายรังสีแกมมาเพื่อยืดอายุอาหารพร้อมบริโภคอื่นที่มีเนื้อสัตว์เป็นส่วนประกอบ โดยการฉายรังสีแกมมา 2.5 kGy สามารถทำให้กุ้งพร้อมบริโภค (ต้มสุกและหมัก) มีความปลอดภัยจากจุลินทรีย์และสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 2 เดือน [14] หรือ การฉายรังสีแกมมาอาหารสดพร้อมบริโภคแช่เย็น (สเต็ก มันฝรั่งบด และน้ำแกงวุ้น) ที่ระดับรังสี 5.7 kGy สามารถยับยั้งการเติบโตของ *L. monocytogenes* จุลินทรีย์ประเภทใช้อากาศ และยีสต์และรา ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นนาน 3 สัปดาห์ [4] อย่างไรก็ตามหากต้องการทำให้อาหารพร้อมบริโภคปลอดภัยจากจุลินทรีย์และสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนานหลายเดือนหรือเป็นปี จะต้องใช้รังสีแกมมาในระดับเรดอปเพอไรเซชัน (radappertization) (ระดับรังสีประมาณ 20-45 กิโลเกรย์) เช่น การฉายรังสี 10 และ 20 kGy ทำให้อาหารพร้อมบริโภคซึ่งเป็นไก่หันเต้าฝัดกับพริกบรรจุสุญญากาศปลอดภัยจากจุลินทรีย์ โดยไม่พบจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ปี [21]

การฉายรังสีแกมมาสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่หลงเหลือในเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคตามระดับรังสี แต่ทำให้ค่า Aw, ความสามารถในการอุ้มน้ำ, ค่า distance at failure (ความเปราะ), ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของผิวเบอร์เกอร์ ปลา และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของเนื้อเบอร์เกอร์ปลาลดลง อย่างไรก็ตามผู้ชิมยังให้การยอมรับเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคที่ผ่านการฉายรังสี 8 kGy ดังนั้นระดับรังสีที่เหมาะสมสำหรับเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคคือ 8 kGy และในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เบอร์เกอร์ปลาพร้อม

บริโภคที่ไม่ผ่านการฉายรังสีจะเสื่อมเสียในวันที่ 3 เนื่องจากมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและ *S. aureus* เกินมาตรฐาน ($>6 \log \text{CFU/g}$ และ $>2 \log \text{CFU/g}$ ตามลำดับ) ในขณะที่การฉายรังสีแกมมา 8 kGy สามารถทำลายจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาเบอร์เกอร์ปลาพร้อมบริโภคจาก 3 วัน เป็นอย่างน้อย 2 เดือนที่อุณหภูมิห้อง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีนครินทร-วิโรฒ สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัยผ่านงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2562 และสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ สำหรับความอนุเคราะห์การใช้เครื่องฉายรังสีแกมมา

การรับรองจริยธรรมการวิจัยที่ทำในมนุษย์

งานวิจัยนี้ได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัยที่ทำในมนุษย์ หมายเลขรับรอง SWUEC-344/2562

เอกสารอ้างอิง

- Gokoglu N, Yerlikaya P, editors. Seafood Chilling, Refrigeration and Freezing: Science and Technology, 1st ed. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd.; 2015. 248 p.
- Chaiyawat M. Spoilage and Analytical Method. In: Department of Fishery Products (Ed.), Science and Technology of Fishery Products. Bangkok: Kasetsart University Press; 2015. 385 p.
- Reher D S, Musherraf S, Trimboli S, Caporaso F, Foley D, Prakash A. Irradiation of a prepared meal packed in a modified atmosphere container, 2000 IFT Annual Meeting, Paper 86H-6.
- Foley D M, Reher E, Caporaso F, Trimboli S, Musherraf Z., Prakash A. Elimination of *Listeria monocytogenes* and changes in physical and sensory qualities of prepared meal following gamma irradiation. Food Microbiol. 2001: 18(2): 193-204.
- Clardy S, Foley D M, Caporaso F, Calicchia M L, Prakash A. Effect of gamma irradiation on *Listeria monocytogenes* in frozen, artificially contaminated sandwiches. J. Food Prot. 2002: 65 (11): 1740-1744.
- Lamb J L, Gogley J M, Thomson M J, Solis D R, Sen S. Research note: Effect of low-dose gamma irradiation on *Staphylococcus aureus* and product packaging in ready-to-eat ham and cheese sandwiches. J. Food Prot. 2002: 65(11): 800-1805.
- Sommers C, Boyd G. Elimination of *Listeria monocytogenes* from ready-to-eat turkey and cheese tortilla wraps using ionizing radiation. J. Food Prot. 2005: 68(1): 164-167.
- Jo C, Lee N Y, Kang H J, Hong S P, Kim Y H, Kim J K, et al. Inactivation of pathogens inoculated into prepared seafood products for manufacturing Kimbab, steamed rice rolled in dried seaweed by gamma irradiation. J. Food Prot. 2005: 68(2): 396-402.
- Yildirim I, Uzunlu S, Topuz A. Effect of gamma irradiation on some principle microbiological and chemical quality parameters of raw Turkish meat ball. Food Control 2005: 16(4): 363-367.
- Irawati Z, Natalia L, Nurcahya C M, Anas F. The role of medium radiation dose on microbiological safety and shelf-life of some traditional soups. Radiat. Phys. Chem. 2007: 76(11-12): 1847-1854.

11. Yoon Y M, Park J H, Lee J H, Park J N, Park J K, Sung N Y, et al. Effects of gamma-irradiation before and after cooking on bacterial population and sensorial quality of Dakgalbi. *Radiat. Phys. Chem.* 2012; 81(8): 1121-1124.
12. Kang S, Park S Y, Ha S D. Application of gamma irradiation for the reduction of norovirus in traditional Korean half-dried seafood products during storage. *LWT-Food Sci. Technol.* 2016; 65(1): 739-745.
13. Song H P, Kim B, Jung S, Choe J H, Yun H, Kim Y J, Jo C. Effect of gamma and electron beam irradiation on the survival of pathogens inoculated into salted, seasoned, and fermented oyster. *LWT-Food Sci. Technol.* 2009; 42(8): 1320-1324.
14. Kanatt S R, Chawla S P, Chander R, Sharma A. Development of shelf-stable, ready-to-eat (RTE) shrimps (*Penaeus indicus*) using γ -radiation as one of the hurdles. *LWT-Food Sci. Technol.* 2006; 39(6): 621-626.
15. Ali H A, Mansour E H, El-Fath A, El-Bedawey A, Osheba A S. Evaluation of tilapia fish burgers as affected by different replacement levels of mashed pumpkin or mashed potato. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 2019; 18(2): 127-132.
16. Urbain W M, editor. *Food Irradiation*, 1st ed. Florida: Academic Press, Inc.; 1986. 368 p.
17. Dvorak P, Kratochv B, Grolichov M. Changes of colour and pH in fish musculature after ionizing radiation exposure. *Eur. Food Res. Technol.* 2005; 220(3): 309-311.
18. Sirisoontarak P, Suthirak P, Papaka K, Vongsawasdi P. Development of shelf stable chiffon cake using gamma irradiation. *LWT-Food Sci. Technol.* 2017; 75(1): 78-84.
19. Farkas J. Irradiation for better foods. *Trends Food Sci. Technol.* 2006; 17(4): 148-152.
20. Thai Industrial Standard Institute. Thai Community Product Standard for Fish Sausages (TCPS No. 1 4 3 / 2 5 5 5) . Bangkok: Ministry of Industry;2012. 7 p.
21. Chen Q, Cao M, Chen H, Gao P, Fu Y, Liu M, et al. Effects of gamma irradiation on microbial safety and quality of stir fry chicken dices with hot chili during storage. *Radiat. Phys. Chem.* 2016; 127(10): 122-126.