



ผลของการฉายรังสียูวีซีต่อสมบัติทางกายภาพและจุลินทรีย์ของเส้นขนมจีน

Effect of UV-C Irradiation on Physical Properties and Microbial Growth of Fermented Rice Noodles (Khanom-Jeen)

ตรีสินธุ์ โพธารส¹ และ หทัยทิพย์ นิมิตรเกียรติไกล^{2*}

Treesin Potaros¹ and Hataitip Nimitkeatkai^{2*}

¹คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

²สาขาวิชาความปลอดภัยทางอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา

¹Faculty of Agricultural Product Innovation and Technology, Srinakharinwirot University

²Division of Food Safety, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao

Received : 8 August 2020

Revised : 16 September 2020

Accepted : 30 September 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการฉายรังสี UV-C เส้นขนมจีนเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของเส้นขนมจีน โดยฉายรังสี UV-C กับเส้นขนมจีนที่บรรจุในภาชนะโฟมและหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติกโพลีเอทิลีนเป็นเวลา 0 (ชุดควบคุม), 5 (1.6 kJ/m²) และ 10 นาที (3.2 kJ/m²) เปรียบเทียบกับการใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) ความเข้มข้น 50 ppm เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน จากการทดลองพบว่า การฉายรังสี UV-C กับเส้นขนมจีนพร้อมรับประทานที่ระดับ 3.2 kJ/m² ช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และ Coliforms ในช่วงก่อนเก็บรักษาโดยให้ผลไม่แตกต่างจากการล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ แต่จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา Coliforms และ *Staphylococcus aureus* ในเส้นขนมจีนที่ผ่านการฉายรังสี UV-C ทั้งสองระดับไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุม ภายหลังจากการเก็บรักษา การฉายรังสี UV-C ที่ระดับ 1.6 kJ/m² ไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ดัชนีความขาว เนื้อสัมผัส ในขณะที่การฉายรังสี UV-C ที่ระดับ 3.2 kJ/m² ทำให้เส้นขนมจีนมีความแข็งและความเหนียวเพิ่มขึ้น และค่าดัชนีความขาวลดลง ซึ่งจากการทดลองพบว่าการฉายรังสี UV-C (1.6 และ 3.2 kJ/m²) ไม่มีผลเชิงลบต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

คำสำคัญ : เส้นขนมจีน ; การฉายรังสี UV-C ; การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ; โซเดียมไฮโปคลอไรท์ ; คุณภาพ



Abstract

This study investigated the effect of ultraviolet- C (UV- C) on microbial growth and physical properties of ready to eat fermented rice noodles (Khanom-jeen). Rice noodles were packed in foam tray before subjected to UV- C irradiation for 0 (control), 5 and 10 min which equal to 0, 1.6 and 3.2 kJ/m², respectively compared with soaking in 50 ppm sodium hypochlorite (NaOCl). Samples were then wrapped with polyethylene film and stored for 9 days at 10 ±2°C. Results showed that UV- C doses of 3.2 kJ/m² as well as NaOCl 50 ppm had significant effect on decreasing of total viable count and coliform counts on day 0 of storage. However, rice noodles emitted with UV- C show no significance different on total viable count, yeast and mold and *Staphylococcus aureus* during storage when compared with control. UV- C treatment at 1.6 kJ/m² had no significant effect on physical properties including whitening index, texture and sensory quality attributes. However, increasing in hardness and toughness, and reducing of whitening index of rice noodle after UV- C treatment at 3.2 kJ/m². Sensory attributes were not negatively affected by both UV- C treatments.

Keywords : fermented rice noodles (Khanom-jeen) ; UV- C irradiation ; microbial growth ; sodium hypochlorite ; quality



บทนำ

คนไทยนิยมบริโภคอาหารประเภทเส้นรองจากข้าว ซึ่งขนมจีนเป็นหนึ่งในอาหารเส้นที่ได้รับความนิยม ทุกท้องถิ่นของไทย เนื่องจากสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลากหลาย เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีกรรมวิธีการผลิตไม่สลับซับซ้อน ในการผลิตขนมจีนส่วนใหญ่มักผลิตกันแบบอุตสาหกรรมภายในครัวเรือน จึงทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนในกระบวนการผลิตมาก ประกอบกับการบริโภคขนมจีนที่จำหน่ายในท้องตลาดนั้น มักจะไม่นำไปผ่านความร้อนโดยการลวกหรือึ่งก่อนการบริโภค จึงทำให้ผู้บริโภคที่รับประทานเข้าไปเกิดโรคอาหารเป็นพิษเนื่องจากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ส่งผลให้เกิดความไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค จากรายงานการประชุมวิชาการสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ประจำปี 2551 พบว่ามีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ Coliform, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ในเส้นขนมจีน (Thaipost, 2008) และมีรายงานการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษ ในงานบุญของ 2 หมู่บ้านในตำบลนาคำ อำเภออุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น จากการรับประทานขนมจีน จำนวน 56 ราย ซึ่งมีสาเหตุมาจากการปนเปื้อนของเชื้อ *S. aureus* จากมือของผู้ประกอบการ ในขั้นตอนการจับหัวขนมจีน (Saengsawang & Settheetham, 2013)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า รังสี UV-C ที่มีควมยาวคลื่น 200-280 nm เป็นช่วงคลื่นแสงที่สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ จัดเป็นหนึ่งในกระบวนการแปรรูปอาหารโดยไม่ใช้ความร้อน (non-thermal processing) กลไกการทำลายจุลินทรีย์ของ UV-C โดยโครงสร้างเซลล์จะดูดซับแสง รังสี UV-C จะเข้าทำลายส่วนของกรดนิวคลีอิกภายในเซลล์จุลินทรีย์โดยตรง จนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมและเซลล์ตาย (Thipyarut, 2018) การใช้ UV-C มีข้อดีในแง่ความปลอดภัยกับอาหารและผู้ปฏิบัติงาน ลดการใช้สารเคมีและไม่มีรังสีตกค้างแม้ใช้ในระดับที่สูงมาก (Morgan, 1989) จึงมีการวิจัยที่ประยุกต์ใช้รังสี UV-C ในผลิตภัณฑ์ เครื่องดื่ม และอาหารพร้อมรับประทาน โดยพบว่าการฉายรังสี UV-C ช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราบริเวณผิวของวัตถุดิบอาหารหลายชนิด ได้แก่ แป้งข้าวสาลี (Condon-Abanto *et al.*, 2016) เนื้อหมูบด (Lichanporn & Nantachai, 2014) น้ำผลไม้ (Assatarakul, 2015) นมและผลิตภัณฑ์จากนม (Delorme *et al.*, 2020) และ แก้วมังกรตัดแต่งได้ (Nimitkeatkai & Kulthip, 2016) มีรายงานว่า การใช้รังสี UV-C นอกจากจะช่วยยับยั้งการเจริญทั้งจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียแล้ว ยังสามารถป้องกันการสูญเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแปรรูปโดยการใช้ความร้อน (Assatarakul, 2015) การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระดับความเข้มแสงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามรังสี UV-C มีช่วงคลื่นแสงสั้น จึงทำให้พลังงานสูง หากใช้ระดับความเข้มที่ไม่เหมาะสมกับอาหาร อาจส่งผลต่อคุณภาพและลักษณะปรากฏได้ ดังเช่นที่มีรายงานการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ซีส (Shama & Alderson, 2005) การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีจากการทำลายโครงสร้างของวิตามินหรือสารต้านอนุมูลอิสระ ทำให้อาหารเกิดกลิ่นหืน สีของอาหารเปลี่ยน ขึ้นกับปฏิกิริยาการดูดกลืนแสงของสารที่เป็นองค์ประกอบของอาหาร เมื่อใช้รังสี UV-C ในระดับที่สูงเกินไป (Phiriyangkul *et al.*, 2012) อย่างไรก็ตามรายงานการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและโครงสร้างของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ ภายหลังการฉายรังสี UV-C ยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ศึกษาผลของระดับความเข้มของรังสี UV-C ต่อการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์ คุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีนในระหว่างเก็บรักษา เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้รังสี UV-C กับอาหารพร้อมรับประทานต่อไป



วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

นำเส้นขนมจีนที่บรรจุภาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติกโพลีเอทิลีน น้ำหนักบรรจุภาดละ 350 กรัม จากโรงงานผู้ผลิตใน จ.พะเยา ขนส่งมายังห้องปฏิบัติการด้วยรถควบคุมอุณหภูมิ ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง นำขนมจีนวางใส่ภาดให้มีความสูง ประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วนำภาดใส่เส้นขนมจีนวางได้หลอด UV-C 2 หลอด ให้มีระยะห่างระหว่างหลอดไฟเท่ากับ 30 เซนติเมตร วัดความเข้มของรังสีด้วยเครื่อง Solarmeter model 8.0 UV meter (Solartech inc., USA) แล้วคำนวณระยะเวลาที่ใช้ในการฉายรังสีเพื่อให้ได้ระดับความเข้มที่ต้องการ ทำการฉายรังสี UV-C นาน 0 (ชุดควบคุม), 5 และ 10 นาที ซึ่งเส้นขนมจีน จะได้รับรังสีที่ความเข้มเท่ากับ 0, 1.6 และ 3.2 kJ/m² ตามลำดับ เปรียบเทียบกับการล้างเส้นขนมจีนด้วยสารละลายโซเดียม ไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) ความเข้มข้น 50 ppm นาน 1 นาที นำเส้นขนมจีนที่ผ่านวิธีการดังกล่าว มาบรรจุภาดโฟมและหุ้มด้วย ฟิล์มพลาสติกโพลีเอทิลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มตัวอย่างเส้นขนมจีนพร้อมรับประทานเพื่อ วิเคราะห์คุณภาพทุกๆ 3 วัน เป็นเวลา 9 วัน ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ดังต่อไปนี้

2. การตรวจวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยา

สุ่มตัวอย่างเส้นขนมจีน 25 กรัม ผสมกับสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 225 มิลลิลิตร ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยการตี บ่นในเครื่อง Stomacher เป็นเวลา 2 นาที ทำการเจือจางลำดับส่วน ก่อนนำไปปิเปตบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่แตกต่างกัน ตาม วิธีการของ USFDA (1998)

1) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable counts) โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) บ่มในตู้บ่มเชื้อ ที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง

2) ปริมาณยีสต์และรา (Yeast & mold) โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) บ่มในตู้บ่มเชื้อที่ อุณหภูมิ 25-27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-5 วัน

3) ปริมาณเชื้อ *S. aureus* โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Baird-Parker Agar Base ที่มี Egg Yolk tellurite ผสมอยู่ (BPA) บ่มในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนี แล้วคัดเลือกโคโลนีนำมาทดสอบการ สร้างเอนไซม์โคแอกกูเลส (coagulase test) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Brain heart infusion broth (BHI) คำนวณหาจำนวนของ *S. aureus* ในอาหารที่นำมาวิเคราะห์จากจำนวนโคโลนีที่ให้ผลบวกกับการทดสอบยืนยัน นับจำนวนโคโลนี (colony forming unit; CFU) ที่อยู่ในช่วง 25-250 โคโลนี รายงานผลเป็น log₁₀ CFU/g

4) ปริมาณ Coliform ใช้วิธีประเมินค่าทางสถิติ Most probable number (MPN) โดยปิเปตสารละลายเจือจางของ ตัวอย่างลงในหลอดอาหาร Lauryl Sulfate Tryptose Broth (LSTB) ที่มีหลอดดักก๊าซ ระดับการเจือจางละ 5 หลอด บ่มที่ อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง นับจำนวนหลอดที่ให้ผลบวกที่เกิดก๊าซในหลอดดักก๊าซ นำไปทดสอบ ยืนยันโดยใช้ loop ถ่ายเชื้อลงใน Brilliant Green Bile Broth (BGBB) บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนหลอดที่ให้ผลบวกนำไปคำนวณหาค่า MPN



3. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

1) เนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA.XT plus พร้อมหัววัดแบบใบมีด พร้อมหัววัดแบบใบมีดตัด โดยการเรียงขนมจีน 6 เส้น ลงบนแท่นตัด ทำการตัดตัวอย่างด้วยอัตราเร็ว 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ระยะทาง 15 มิลลิเมตร บันทึกค่าแรงตัดและแรงเฉือน ที่จุดสูงสุดของกราฟที่วัด แสดงเป็นค่าความแข็ง (hardness) และความเหนียว (toughness) ของเส้นขนมจีน (Udomrati *et al.*, 2015)

2) สีของเส้นขนมจีน ใช้เครื่องวัดสี (Minolta รุ่น CR-100) รายงานผลเป็นค่า Hunter scale ซึ่งประกอบด้วยค่า L^* (ค่าความสว่าง) a^* (สีเขียว-แดง) b^* (สีน้ำเงิน-เหลือง) นำค่า L^* , a^* และ b^* มาคำนวณหาค่าดัชนีความขาว (whitening index; WI) โดยคำนวณดังสมการ (Kumar *et al.*, 2019)

$$WI = 100 - [(100-L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$

4. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำเส้นขนมจีนในแต่ละชุดทดลองใส่ถ้วยพลาสติกสีขาวในปริมาณ 30 กรัม ใช้ผู้ทดสอบ 20 คน ประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นและความชอบโดยรวม โดยวิธี 7-point hedonic scale (1 คะแนนคือไม่ชอบมาก และ 7 คะแนนคือชอบมาก)

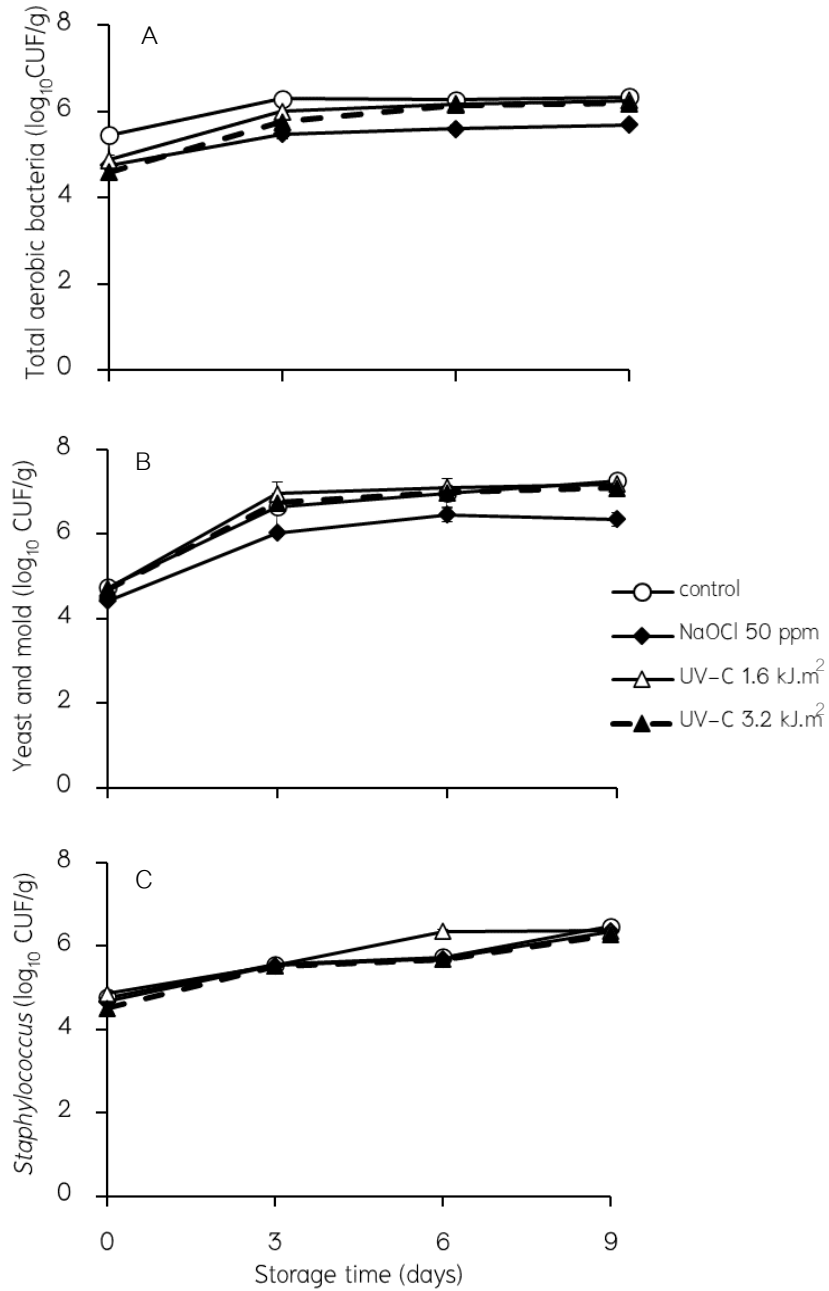
5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely randomize design (CRD) และแบบ Randomized complete block design (RCBD) สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสวิเคราะห์ค่าความแตกต่าง ทางสถิติแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 18

ผลการวิจัย

การฉายรังสี UV-C ที่ระดับ 1.6 และ 3.2 kJ/m² กับเส้นขนมจีนพร้อมรับประทาน พบว่าที่ระดับดังกล่าวมีผลต่อคุณภาพทางจุลชีววิทยา และทางกายภาพ ระหว่างเก็บรักษา ดังต่อไปนี้

ผลของการฉาย UV-C ต่อคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเส้นขนมจีน



ภาพที่ 1 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (A) ยีสต์และรา (B) และ *S. aureus* (C) ของเส้นขนมจีนที่ผ่านการฉายรังสี UV-C ที่ระดับ 0 (control), 1.6 และ 3.2 kJ/m² เปรียบเทียบกับการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 9 วัน



จากการตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในเส้นขนมจีน พบว่าการฉายรังสี UV-C ทั้งสองระดับที่ 1.6 และ 3.2 kJ/m² มีผลต่อการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในวันแรกของการเก็บรักษา และไม่แตกต่างจากการล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 50 ppm หลังจากนั้นปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างเก็บรักษาในเส้นขนมจีนที่ผ่านการฉายรังสี UV-C ในขณะที่เส้นขนมจีนที่ล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 6 และ 9 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 1A)

การฉายรังสี UV-C ทั้งสองระดับไม่มีผลต่อจำนวนยีสต์และราในเส้นขนมจีนในวันแรกของการเก็บรักษา ระหว่างเก็บรักษา พบว่าเส้นขนมจีนที่ผ่านการฉายรังสีมีปริมาณเชื้อยีสต์และราที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และไม่พบความแตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุม ในขณะที่การล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 50 ppm ทำให้เส้นขนมจีนมีปริมาณเชื้อยีสต์และราต่ำกว่าชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 1B)

เชื้อ *S. aureus* ในเส้นขนมจีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างเก็บรักษาในทุกชุดทดลอง โดยเฉพาะตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี UV-C ที่ระดับ 1.6 kJ/m² ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณเชื้อ *S. aureus* ที่ผ่านการฉายรังสี UV-C และการล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (ภาพที่ 1C)

การฉายรังสีที่ระดับ 3.2 kJ/m² ทำให้เส้นขนมจีนมีปริมาณ Coliforms ลดลงอยู่ที่ 8 MPN/g ตั้งแต่ภายหลังการฉายรังสี โดยลดลงจาก 15.5 MPN/g ในชุดควบคุม และภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน โดยมีปริมาณเชื้อ 15.67 MPN/g ซึ่งไม่แตกต่างจากการล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ที่มีปริมาณ Coliforms 14.50 MPN/g ในขณะที่การฉายรังสีที่ระดับ 1.6 kJ/m² เส้นขนมจีนมีปริมาณ Coliforms 20.33 MPN/g ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม

ผลของการฉาย UV-C ต่อสมบัติทางกายภาพของเส้นขนมจีน

ดัชนีความขาวของเส้นขนมจีนที่ผ่านการฉายรังสี UV-C ที่ระดับ 1.6 kJ/m² มีความแตกต่างกับชุดควบคุม และเส้นขนมจีนที่ล้างด้วยคลอรีนเพียงเล็กน้อยและส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การฉายรังสี UV-C ที่ระดับ 3.2 kJ/m² ทำให้เส้นขนมจีนมีค่าดัชนีความขาวต่ำกว่าชุดทดลองอื่นๆ โดยเฉพาะในช่วงท้ายของการเก็บรักษา (ตารางที่ 1)

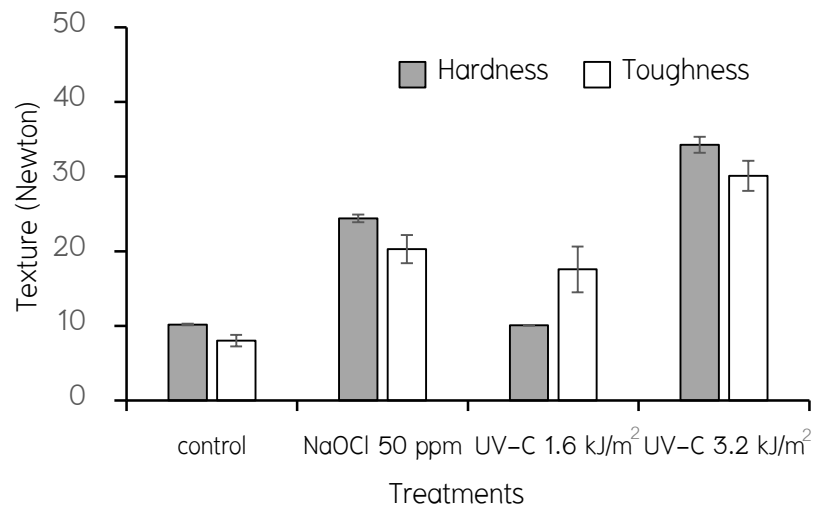
ตารางที่ 1 ดัชนีความขาวของเส้นขนมจีนพร้อมรับประทานที่ผ่านการฉายรังสีที่ระดับต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ

10°C เป็นเวลา 9 วัน

ทรีตเมนต์	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)			
	0	3	6	9
control	71.43 ± 0.82	75.44 ± 0.80	73.17 ± 1.58	73.58 ± 0.41
NaOCl 50 ppm	71.03 ± 1.15	75.38 ± 1.14	74.05 ± 1.55	75.57 ± 1.64
UV-C 1.6 kJ/m ²	71.68 ± 0.74	75.70 ± 0.73	73.52 ± 1.41	73.28 ± 0.80
UV-C 3.2 kJ/m ²	70.13 ± 1.27	74.17 ± 0.88	70.87 ± 0.68	71.30 ± 2.73

หมายเหตุ : ไม่มีความแตกต่างของข้อมูลในแนวตั้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการตรวจวัดเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีน โดยค่าแรงสูงสุดบ่งบอกความแข็ง (hardness) ของเส้นขนมจีน จากภาพที่ 2 พบว่าเส้นขนมจีนที่ผ่านการฉายรังสี UV-C ที่ระดับ 3.2 kJ/m² มีความแข็งสูงกว่าเส้นขนมจีนที่ล้างด้วยคลอรีน เส้นขนมจีนที่ฉายรังสี UV-C ที่ระดับ 1.6 kJ/m² และชุดควบคุม ตามลำดับ โดยมีผลไปในทำนองเดียวกันกับค่าความเหนียว (toughness)



ภาพที่ 2 ค่าความแข็งและความเหนียวของเส้นขนมจีนที่ผ่านการฉายรังสี UV-C ที่ระดับ 0 (control), 1.6 และ 3.2 kJ/m²

เปรียบเทียบกับการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 9 วัน

ผลของการฉาย UV-C ต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีน

ตารางที่ 2 แสดงคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ผ่านการฉายรังสี UV-C ที่ระดับต่างๆ พบว่าในวันแรกของการเก็บรักษา เส้นขนมจีนทุกตัวอย่างได้รับการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส เนื่องจากมีคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า 4 คะแนน ในวันแรกและวันสุดท้ายของการเก็บรักษา เส้นขนมจีนที่ผ่านการฉายรังสี UV-C ที่ระดับ 1.6 และ 3.2 kJ/m² ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า การฉายรังสี UV-C ทั้งสองระดับไม่มีผลเชิงลบต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

เส้นขนมจีนในทุกตัวอย่าง มีคะแนนทางด้านประสาทสัมผัสลดลงในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากลักษณะของผลิตภัณฑ์จะเริ่มขุ่นและสีของเส้นที่เหลืองขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับค่าดัชนีความขาวที่ลดลง และค่าความเป็นสีเหลืองที่เพิ่มขึ้น (b*, ไม่แสดงข้อมูล)

การใช้คลอรีน 50 ppm ทำให้เส้นขนมจีนมีคะแนนความชอบในด้านกลิ่น ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ ในวันแรกของการเก็บรักษา ภายหลังจากการเก็บรักษานาน 9 วัน พบว่าทุกตัวอย่างไม่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส เพราะมีคะแนนความชอบโดยรวมต่ำกว่า 4 คะแนน แสดงให้เห็นว่าขนมจีนทุกตัวอย่างมีอายุการเก็บรักษาต่ำกว่า 9 วัน

ตารางที่ 2 ค่าคะแนนเฉลี่ยความชอบของเส้นขนมจีนพร้อมรับประทานที่ผ่านการฉายรังสีที่ระดับต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 9 วัน

คุณลักษณะ	ทรีตเมนต์	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)	
		0	9
ลักษณะปรากฏ	control	5.40 ± 0.84	3.30 ± 0.68
	NaOCl 50 ppm	5.70 ± 0.52	3.40 ± 0.48
	UV-C 1.6 kJ/m ²	5.60 ± 0.48	3.30 ± 0.48
	UV-C 3.2 kJ/m ²	5.30 ± 0.82	3.30 ± 0.70
สี	control	5.10 ± 0.74	3.30 ± 0.68
	NaOCl 50 ppm	5.60 ± 0.74	3.40 ± 0.92
	UV-C 1.6 kJ/m ²	5.20 ± 0.52	3.20 ± 0.92
	UV-C 3.2 kJ/m ²	5.10 ± 0.63	3.20 ± 0.84
กลิ่น	control	5.40 ± 0.52 ^a	4.00 ± 1.16 ^a
	NaOCl 50 ppm	3.50 ± 0.32 ^b	3.10 ± 1.16 ^b
	UV-C 1.6 kJ/m ²	5.30 ± 0.48 ^a	3.70 ± 0.52 ^{ab}
	UV-C 3.2 kJ/m ²	5.40 ± 0.53 ^a	3.40 ± 0.57 ^{ab}
ความชอบโดยรวม	control	5.20 ± 0.79	3.50 ± 0.53 ^{ab}
	NaOCl 50 ppm	5.10 ± 0.57	3.80 ± 0.42 ^a
	UV-C 1.6 kJ/m ²	5.00 ± 0.67	3.50 ± 0.53 ^{ab}
	UV-C 3.2 kJ/m ²	4.90 ± 0.57	3.30 ± 0.48 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษร (a-b) ที่แตกต่างกัน หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการทดลองฉายรังสี UV-C ที่ระดับ 3.2 kJ/m² พบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และ Colliforms ในเส้นขนมจีน ช่วงวันแรกของการเก็บรักษา โดยมีประสิทธิภาพในการลดเชื้อจุลินทรีย์ไม่แตกต่างจากการล้างด้วย โซเดียมไฮโปคลอไรท์ 50 ppm เช่นเดียวกับในการทดลองฉายแสง UV-C ที่ระดับ 3.6 kJ/m² บนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าสามารถลดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ *E. coli* และ *Salmonella* spp. ได้ (Poubool & Jitareerat, 2010) การฉายรังสี UV-C ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น germicidal สามารถใช้ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ และยับยั้งกิจกรรมของเชื้อซึ่งเป็นสาเหตุโรคระบบทางเดินอาหาร เช่น *S. aureus*, *E. coli*, *Salmonella Enteritidis*, *Bacillus cereus* และ *Listeria monocytogenes* เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างเซลล์จุลินทรีย์จะดูดซับแสง UV ซึ่งจะเข้าทำลายส่วนของกรดนิวคลีอิกภายในเซลล์โดยตรง โดยชักนำให้เกิด pyrimidine



dimers ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพันธะที่เชื่อมสาย DNA ของเชื้อ เป็นผลทำให้เกิดการกลายพันธุ์และเซลล์ตายในที่สุด (Lado & Yousef, 2002) ในขณะที่การฉายรังสี UV-C ในเส้นขนมจีน ไม่มีผลต่อการลดปริมาณยีสต์และรา และจำนวน *S. aureus* ตั้งแต่ภายหลังจากการฉายรังสี ทั้งนี้อาจเนื่องจากราจะทนต่อรังสี UV มากกว่าแบคทีเรีย (Thipyarut, 2018) เช่นเดียวกับ Gayán *et al.* (2014a) ที่รายงานว่าในเซลล์ปกติของแบคทีเรียจะมีความไวต่อรังสี UV-C มากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ยีสต์ สปอร์ของแบคทีเรีย ไวรัส และโปรโตซัว ส่วน *S. aureus* ทนต่อการฉายรังสี UV-C ที่ระดับ 1.6 และ 3.2 kJ/m² เนื่องจาก *Staphylococcus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีผนังเซลล์หนาที่ประกอบไปด้วย peptidoglycan ทำให้ทนต่อการฉายรังสี (Gayán *et al.*, 2014b)

ในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เส้นขนมจีนที่ผ่านการฉายรังสี UV-C มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่แตกต่างจากเส้นขนมจีนที่ไม่ผ่านการฉายรังสี อาจเป็นไปได้ว่าเชื้อจุลินทรีย์จะสามารถฟื้นคืนและซ่อมแซมความเสียหายที่เป็นสาเหตุจากแสง UV-C ที่เป็นผลจากความเข้มของแสง UV ที่ต่ำ (Thipyarut, 2018) กลไกการซ่อมแซม DNA ของจุลินทรีย์หลังผ่านการฉายรังสี UV-C ให้กลับสู่สภาพเดิม โดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์ photolyase ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยโปรตอน (photon) จากแสงช่วงที่มองเห็นได้ด้วยตา (Delorme *et al.*, 2020) เช่นเดียวกับที่มีงานวิจัยในเนื้อเห็ด Lichanporn & Nuntachai (2011) พบว่าการฉายรังสี UV-C ในเนื้อเห็ดเป็นเวลา 3 นาที (3.6 kJ/m²) สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด, *Salmonella* และ *S. aureus* ในช่วงวันเริ่มต้นของการเก็บรักษาเท่านั้น แต่ไม่มีผลต่อเชื้อยีสต์และรา รวมทั้งเชื้อ *E. coli* ในเนื้อเห็ด

จากงานวิจัยในใบกะเพราพบว่า การฉายแสง UV-C ที่ปริมาณแสง 3.6 kJ/m² กับใบกะเพรา มีปริมาณ *E. coli*, *Salmonella* spp., แบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์และรา ไม่แตกต่างทางสถิติกับใบกะเพราที่ไม่ผ่านการฉายแสง UV-C ตลอดอายุการเก็บรักษา อาจเนื่องจากเซลล์เชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนบนใบกะเพราแทรกตัวอยู่ตามบริเวณรอยหยักหรือร่องกลางใบจึงทำให้แสง UV-C กระจายได้ไม่ทั่วพื้นที่ผิวใบ (Poubol & Jitareerat, 2010) Condon-Abanto *et al.* (2016) ได้ศึกษาการใช้รังสี UV-C กับแป้งสาลี พบว่าการบดบึงกันของเมล็ดแป้งทำให้เกิดเงาที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ *Salmonella typhimurium* และ *Lactobacillus plantarum* ของรังสี UV-C ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดผลกระทบของเงา (shadow effect) จากตัวอย่างและเพิ่มพื้นที่ผิวของตัวอย่างที่สัมผัสกับอนุภาคของแสง UV-C ให้มากที่สุด

การฆ่าเชื้อแบบไม่ใช้ความร้อน พบว่าสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้เมื่อใช้ในระดับที่เหมาะสม โดยไม่มีผลต่อคุณภาพของอาหาร อย่างไรก็ตามหากใช้ในระดับที่เข้มข้นไปดังเช่นในงานวิจัยนี้ที่ใช้การฉายรังสี UV-C ที่ระดับ 3.2 kJ/m² มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีและเนื้อสัมผัสในเส้นขนมจีนได้ ผลของการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการฉายรังสี UV-C มีผลต่อโครงสร้างของโปรตีน ได้แก่ การแยกชิ้นส่วน (fragmentation), การเชื่อมโยงข้าม (cross-linking), การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง, aggregation และการออกซิเดชัน จากการเกิดอนุมูลอิสระ โดยแสง UV-C ที่มีความยาวคลื่นสั้น จะกระตุ้นให้ออกซิเจนที่ละลายน้ำเกิดการรวมตัวกับน้ำ (Chinnathambi *et al.*, 2015) นอกจากนี้ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี UV-C มีค่าความสว่าง (L*) ลดลงและค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้นในระหว่างเก็บรักษา (ไม่แสดงข้อมูล) จึงอาจเป็นสาเหตุให้ค่าดัชนีความขาวของเส้นขนมจีนลดต่ำกว่าชุดทดลองอื่นในระหว่างเก็บรักษา เช่นเดียวกับที่มีรายงานในแป้งข้าวโพด พบว่าคุณสมบัติ photochemical process ของรังสี UV จะไปลดคุณลักษณะความชอบน้ำ (hydrophilic) ของน้ำบริเวณผิวหน้าของแผ่นแป้ง (Zhou *et al.*, 2008) จึงทำให้เส้นขนมจีนมีความแข็งและความเหนียวเพิ่มขึ้นภายหลังได้รับการฉายรังสี UV-C ที่ระดับ 3.2 kJ/m²

อนุภาคของแสง UV (ultraviolet photons) และประจุไฟฟ้าอิสระภายใต้สนามแม่เหล็ก (electric fields) ที่เกิดจากการที่แก๊สถูกทำให้ร้อนจัด และแตกตัวออกเป็นประจุจากการใช้พลาสมา (plasma) ซึ่งจัดเป็นหนึ่งในวิธีการฆ่าเชื้อที่ไม่ใช้ความร้อน จากการทดลองใช้กับแบงะหมีสด พบว่าพลาสมาทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็ง (hardness) ของแผ่นแบงะ เนื่องจากจากการสูญเสียความชื้นไป นอกจากนี้ การใช้พลาสมาทำให้เกิดการห่อหุ้มอนุภาคแบงะในโครงข่ายของกลูเตนให้แน่นขึ้น จึงทำให้แผ่นแบงะหมีสดมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น (Chen *et al.*, 2019) นอกจากนี้ยังพบการลดลงของค่าความสว่าง (L^* value) ของแผ่นแบงะหมีสดที่ผ่านการใช้พลาสมาแบบไม่ใช้ความร้อน ซึ่งอาจเป็นผลต่อเนื่องจากการลดลงของความชื้นบริเวณผิวหน้าของแผ่นแบงะ (Chen *et al.*, 2019)

ค่าดัชนีความขาวของเส้นขนมจีนที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ซึ่งจัดเป็นการควบคุมผลทางบวก (positive control) มีค่าสูงกว่าชุดทดลองอื่นในช่วงท้ายของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติการเป็นสารฟอกสี (bleaching agent) ไปทำลายสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดสี ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมอาหารโดยทั่วไปมีการนำคลอรีนในรูปของเกลือโซเดียมไฮโปคลอไรท์มาใช้เพื่อฆ่าเชื้อที่ติดมากับเครื่องมือเครื่องใช้ ซึ่งคลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการออกซิไดส์สูงมาก ทำให้สามารถหยุดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้ แต่มีข้อจำกัดคือคลอรีนและผลิตภัณฑ์พลอยได้ อาจเป็นสารก่อมะเร็ง (Thipyarut, 2018) นอกจากนี้กลิ่นของคลอรีนยังตกค้างในผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับที่พบว่าคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของเส้นขนมจีนเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์มีค่าต่ำกว่าการใช้รังสี UV-C และชุดควบคุม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของขนมจีน กำหนดให้มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม เชื้อ *S. aureus* ต้องไม่เกิน 100 โคโลนี ต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ *E. coli* ต้องน้อยกว่า 3 MPN ต่อตัวอย่าง 1 กรัม (Thai Industrial Standards Institute, 2004) และจากเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารปรุงสุกสำเร็จทั่วไป ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2544 กำหนดให้ Coliform ต้องน้อยกว่า 500 MPN ต่อตัวอย่าง 1 กรัม (Suphim *et al.*, 2017) จากการทดลองพบว่าเส้นขนมจีนในทุกตัวอย่างมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่มีจำนวน *S. aureus* เกินมาตรฐานตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษา เส้นขนมจีนในชุดควบคุมมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินมาตรฐานภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วัน ดังนั้นหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ของ UV-C โดยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเส้นขนมจีน ควรมีการนำเทคโนโลยีฮาร์ดิล (Hurdle) มาใช้ ได้แก่ การใช้ UV-C ที่ 13.6 mJ/L นาน 1.8 นาที ร่วมกับการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส กับตัวอย่างน้ำผักผลไม้และน้ำซุบไก่ สามารถลดเชื้อ *S. aureus* ได้ถึง $5 \log_{10}$ cycles (Gayán *et al.*, 2014b) การใช้ UV-C ที่ระดับ $200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ร่วมกับน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมที่ร้อยละ 1 กับเนื้อแพะ พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค *E. coli* O157:H7 ที่อุณหภูมิห้องได้ (Degala *et al.*, 2018) การใช้ UV ร่วมกับโอโซนในการผลิตอาหาร Jewsuwan & Thipyarat (2015) รายงานว่าการใช้แสง UV (45 W) สามารถลดจำนวนเชื้อ *E. coli* ในน้ำแบงะแขวนลอยจากกระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว แต่ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับโอโซน (2 L/min) เนื่องจากแสง UV สามารถทำลายเชื้อได้ดีในน้ำที่ใสและบริเวณพื้นผิวด้านนอก แต่ในน้ำที่มีความขุ่นอนุภาคของแบงะที่แขวนลอยในน้ำจะทำให้แสง UV ไม่สามารถทะลุทะลวงผ่านไปทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ ทั้งนี้การเลือกใช้เทคโนโลยีฮาร์ดิลที่มีหลายกระบวนการร่วมกันเพื่อถนอมอาหารนั้น จำเป็นต้องพิจารณากระบวนการให้เหมาะสมกับประเภทของผลิตภัณฑ์อาหาร



สรุปผลการวิจัย

การฉายรังสี UV-C (3.2 kJ/m^2) มีผลต่อการลดจำนวน Coliforms ในขณะที่การฉายรังสี UV-C (1.6 และ 3.2 kJ/m^2) ไม่มีผลต่อการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา และ *S. aureus* ในเส้นขนมจีนระหว่างการเก็บรักษา การฉายรังสี UV-C (1.6 และ 3.2 kJ/m^2) ไม่มีผลเชิงลบต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีนในระหว่างเก็บรักษา

การฉายรังสี UV-C เพียงอย่างเดียว อาจไม่เหมาะสมต่อการยืดอายุเส้นขนมจีน เนื่องจากมีจำนวน *S. aureus* เกินมาตรฐานในระหว่างเก็บรักษา ดังนั้นควรปรับปรุงกระบวนการโดยการนำเทคโนโลยีเฮอริเดิลมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดเชื้อจุลินทรีย์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยพะเยา สัญญาเลขที่ RD62035

เอกสารอ้างอิง

Assatarakul, K. (2015). Ultraviolet radiation: An emerging technology for juice industry. *Journal of Food Technology, Siam University*, 10(1), 51-62. (in Thai)

Condon-Abanto, S., Condon, S., Raso, J., Lyng, J.G., & Alvarez, I. (2016). Inactivation of *Salmonella typhimurium* and *Lactobacillus plantarum* by UV-C light in flour powder. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 35, 1-8.

Chen, Y., Chen, G., Wei, R., Zhang, Y., Li, S., & Chen, Y. (2019). Quality characteristics of fresh wet noodles treated with nonthermal plasma sterilization. *Food Chemistry*, 297, 124900.

Chinnathambi, S., Karthikeyan, S., Velmurugan, D., Hanagata, N., Aruna, P., & Ganesan, S. (2015). Effect of moderate UVC irradiation on bovine serum albumin and complex with antimetabolite 5-fluorouracil: Fluorescence spectroscopic and molecular modelling studies. *International Journal of Spectroscopy*,

Degala, H.L., Mahapatra, A.K., & Kannan, G. (2018). Evaluation of non-thermal hurdle technology for ultraviolet-light to inactivate *Escherichia coli* K12 on goat meat surfaces. *Food Control*, 90, 113-120.



- Delorme, M.M., Guimarães, J.T., Coutinho, N.M., Balthazar, C.F., Rocha, R.S., Silva, R., Margalho, L.P., Pimentel, T.C., Silva, M.C., Freitas, M.Q., Granato, D., Sant'Ana, A.S., Duarte, M.C., & Cruz, A.G. (2020). Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 146-154.
- Gayán, E, Condón, S., & Álvarez, I. (2014a). Biological aspects in food preservation by ultraviolet light: a review. *Food Bioprocess Technology*, 7, 1-20.
- Gayán, E, García-Gonzalo, D., Álvarez, I., & Condón, S. (2014b). Resistance of *Staphylococcus aureus* to UV-C light and combined UV-heat treatments at mild temperatures. *International Journal of Food Microbiology*, 172, 30-39.
- Jewsuwan, A., & Thipayarat, A. (2015). Application of advanced oxidation processes (ozone/UV) to reduce *Escherichia coli* contamination in flour slurry from rice noodles production. *Journal of Food Science and Agricultural Technology*, 1(1), 16-21.
- Kumar, P.S., Saravanan, A., Sheeba, N. & Uma, S. (2019). Structural, functional characterization and physicochemical properties of green banana flour from dessert and plantain banana (*Musa spp.*). *LWT- Food Science and Technology*, 116, 108524.
- Lado, B., & Yosef, A. (2002). Alternative food-preservation technologies: Efficacy and mechanisms. *Microbes Infection*, 4, 433-440.
- Lichanporn, I., & Nuntachai, N. (2011). Effect of UV-C irradiation on the inactivation of inoculated pathogens of pork grinds. Research report, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 27 p.
- Morgan, R. (1989). UV 'green' light disinfection. *Dairy Industry International*, 54(11), 33-35.
- Nimitkeatkai, H., & Kulthip, J. (2016). Effect of sequential UV-C irradiation on microbial reduction and quality of fresh-cut dragon fruit. *International Food Research Journal*, 23(4), 1818-1822.



- Phiriyangkul, P., Cha-emes, K., & Poubol, J. (2012). Effect of ultraviolet-c irradiation on biochemical, physiological properties and sensory evaluation in ground peanut. *Agricultural Science Journal*, 3(Suppl.), 544-547. (in Thai)
- Poubol, J., & Jitareerat, P. (2010). Ultraviolet-C treatments for holy basil decontamination of *Escherichia coli* and *Salmonella* sp. *Agricultural Science Journal*, 41(3/1)(Suppl.), 401-404. (in Thai)
- Saengsawang, S., & Settheetham, D. (2013). The application of hazard analysis and critical control point (HACCP) in food production process of rice noodle case study of Ubolratana district Khon Kaen province. *KKU Journal for Public Health Research*, 6(1), 163-172. (in Thai)
- Suphim, B., Choomsee, P., & Panpetch, O. (2017). Microbiological quality of ready-to-eat foods in Loei Rajabhat university canteen. *Journal of Science & Technology, Ubon Ratchathani University, Special issue*, 72-81. (in Thai)
- Thai Industrial Standards Institute. (2004). Thai community products standards: Thai rice noodle TCPS.500/2547.
- Thaipost. (2008). *Various germs found in "Khanom jeen noodles" dreaded unsafe*. Retrieved September 29, 2015, from <http://www.thaihealth.or.th/Content/6085A2.html> (in Thai)
- Thipyarut, A. (2018). Application of UV/Ozone technology to reduce *E. coli*/Coliforms contamination in food processing and intermediate products in minimizing wastewater and promoting more raw material recycling in the process. Research report, Burapha University, 90 p. (in Thai)
- Udomrati, S., Satmalee, P., & Surojanametakul, V. (2015). Application of fermented and hydrothermal treated rice flour to increase resistant starch in rice vermicelli (Kanom-jeen). *Thai Science and Technology Journal*, 23(3), 507-516.
- USFDA. (1998). *Bacteriological Analytical Manual*. (8th Edition). US. Food and Drug Administration.
- Zhou, J., Zhang, J., Ma, Y., & Tong, J. (2008). Surface photo-crosslinking of corn starch sheets. *Carbohydrate Polymers*, 74(3), 405-410.