

การพัฒนาฟิล์มวัดรังสีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-เมทิลเรดเพื่อวิเคราะห์การกระจายปริมาณรังสีแกมมา และการประยุกต์ใช้ในการสุกของมะเขือเทศหลังการเก็บเกี่ยว

Development of PVA-Methyl Red Radiochromic Films for Gamma Dose Distribution Analysis and Application in Postharvest Tomato Ripening

ระพีพรรณ ลือใจ¹ กิรติญา จันทรม^{1,2} วิรันธชา เครือฟู^{1,2} สุรีย์พร สารภิรมย์^{1,2} พัชรี กองภาค^{1,2} ภูวนาท ประดิษฐ์วงษ์² ภิญญิณ จันทร์เขียว² ธนกฤต เทพโพธา³ และกิตติคุณ พระกระจ่าง^{1,2*}

Rapeepan Luejai¹ Keratiya Janpong^{1,2} Viruntachar Kruefu^{1,2} Sureeporn Sarapirom^{1,2} Patcharee Kongpark^{1,2} Phuwanart Pradittawong² Pinyo Jankhiao² Thankrit Teppota³ and Kittikhun Prakrajang^{1,2*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹Program in Nanoscience and Nanotechnology, Faculty of Science, Maejo University, San Sai, Chiang Mai 50290

²สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

²Program in Applied Physics, Faculty of Science, Maejo University, San Sai, Chiang Mai 50290

³สาขาวิชาพืชสวน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

³Program in Horticulture, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, San Sai, Chiang Mai 50290

* Corresponding author: kittikhun@mju.ac.th

(Received: 16 March 2026; Revised: 26 May 2026; Accepted: 4 June 2026)

Abstract

This study aimed to develop polyvinyl alcohol-methyl red (PVA-MR) radiochromic films for gamma radiation dose distribution analysis and to investigate their application in postharvest tomato ripening. The films were prepared using a solution casting method with 4 wt% PVA and methyl red concentrations ranging from 0.01 to 0.06 wt%. The dosimetric response was evaluated over a dose range of 0 - 100 kGy using UV-Vis spectrophotometry and RGB image analysis. The results showed that the films exhibited dose-dependent color fading, with absorbance at 430 nm demonstrating a strong linear correlation with radiation dose ($R^2 = 0.923 - 0.969$). The film containing 0.03 wt% methyl red provided the best performance in terms of linearity, sensitivity, and signal stability. RGB analysis indicated that the blue channel was the most sensitive to dose variation. Application of the films within a gamma irradiation chamber revealed non-uniform dose distribution, with higher radiation levels observed in outer regions compared to inner layers due to attenuation effects. Correspondingly, irradiated tomatoes exhibited delayed ripening, as indicated by slower increases in a^* values and reduced weight loss compared to non-irradiated controls.

Keywords: Radiochromic film, gamma radiation, dose distribution, tomato

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาฟิล์มวัดรังสีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-เมทิลเรด (PVA-MR) สำหรับการวิเคราะห์การกระจายตัวของปริมาณรังสีแกมมา และประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการการสุกหลังการเก็บเกี่ยวของมะเขือเทศฟิล์มถูกเตรียมด้วยวิธีหล่อสารละลาย โดยใช้ PVA ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก และเมทิลเรดที่ความเข้มข้น 0.01 - 0.06 ร้อยละโดยน้ำหนัก จากนั้นประเมินการตอบสนองต่อรังสีในช่วง 0 - 100 กิโลเกรย์ ด้วยเทคนิค UV-Vis และการวิเคราะห์ภาพในระบบ RGB โดยผลการทดลองพบว่า ฟิล์มมีการจางสีตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น โดยค่าการดูดกลืนแสงที่ 430 นาโนเมตรมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณรังสี ($R^2 = 0.923 - 0.969$) ฟิล์มที่มีเมทิลเรดร้อยละ 0.03 โดยน้ำหนัก ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในด้านความเป็นเชิงเส้น ความไว และความเสถียรของสัญญาณ ขณะที่การวิเคราะห์ RGB พบว่า ช่องสีน้ำเงินมีความไวสูงสุด การประยุกต์ใช้ฟิล์มในเครื่องฉายรังสีแสดงให้เห็นว่า ปริมาณรังสีมีการกระจายไม่สม่ำเสมอ โดยบริเวณชั้นนอกได้รับรังสีสูงกว่าชั้นใน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในมะเขือเทศที่พบว่า กลุ่มที่ได้รับรังสีมีการสุกช้าลง โดยมีค่า a^* เพิ่มขึ้นช้ากว่า และการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า ฟิล์ม PVA-MR เป็นเครื่องมือวัดรังสีต้นทุนต่ำที่มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมการสุกและยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ฟิล์มวัดรังสี รังสีแกมมา การกระจายตัวของปริมาณรังสี มะเขือเทศ

คำนำ

ฟิล์มวัดรังสีเป็นอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีชนิดพอลิเมอร์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถเปลี่ยนสีได้เองอย่างถาวรเมื่อได้รับรังสีไอออไนซ์ โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการล้างหรือพัฒนาแผ่นฟิล์มเหมือนฟิล์มเอกซเรย์แบบดั้งเดิม กลไกการเปลี่ยนสีเกิดจากกระบวนการโฟลิเมอไรเซชันหรือปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นภายในเมทริกซ์พอลิเมอร์ ส่งผลให้ความเข้มสีเปลี่ยนแปลงตามปริมาณรังสีที่ได้รับ ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์เชิงปริมาณได้จากค่าการดูดกลืนแสงหรือความหนาแน่นเชิงแสง (Mittal *et al.*, 2021; Putri *et al.*, 2024; Soliman *et al.*, 2021)

ฟิล์มวัดรังสีถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในหลายสาขา ในด้านการแพทย์ใช้สำหรับการประเมินการกระจายตัวของปริมาณรังสีแบบสองมิติ ในงานรังสีรักษาและการควบคุมคุณภาพของเครื่องฉายรังสีและเครื่องเร่งอนุภาค ในด้านอุตสาหกรรมใช้ตรวจสอบปริมาณรังสีในกระบวนการฆ่าเชื้ออุปกรณ์ทางการแพทย์และการปรับปรุงสมบัติของวัสดุพอลิเมอร์ ส่วนในด้านอาหาร รังสีแกมมาถูกใช้เพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์ ยับยั้งการงอกของพืช กำจัดแมลง และยืดอายุการเก็บรักษา

ผลผลิตทางการเกษตร โดยฟิล์มวัดรังสีมักประยุกต์ใช้ในรูปแบบฉลากติดกับบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้สามารถตรวจสอบการได้รับรังสีได้อย่างรวดเร็วด้วยตาเปล่า (Das, 2017)

มะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum*) เป็นพืชสวนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น วิตามิน คาโรทีนอยด์ ไโคปีน และสารประกอบฟีนอล ซึ่งมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ อย่างไรก็ตาม มะเขือเทศเป็นผลไม้ประเภท climacteric ที่มีอัตราการหายใจสูงและสุกอย่างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้อายุการเก็บรักษาสั้น ปัญหาที่พบบ่อยคือการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ รวมถึงการสูญเสียน้ำหนักและการนิ่มของเนื้อเยื่อ ทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นซึ่งเป็นข้อจำกัดในการขนส่งและการตลาด การเก็บรักษาด้วยอุณหภูมิต่ำสามารถช่วยชะลอการสุกได้ แต่ในบางกรณีอาจก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ที่ทำให้คุณภาพของผลผลิตลดลง ดังนั้นเทคโนโลยีการฉายรังสีชนิดก่อกัมมันตภาพรังสี (ionizing radiation) เช่น รังสีแกมมา (Gamma rays) และรังสีเอกซ์ (X-rays) จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็น

กระบวนการที่ไม่ใช้ความร้อน (non-thermal) แต่มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์และชะลอการสุกโดยการรบกวนโครงสร้าง DNA และกระบวนการผลิตเอทีเอ็น (Choi and Park, 2023; Yoon *et al.*, 2023; Yoon *et al.*, 2024)

ในงานวิจัยนี้ ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol; PVA) เป็นเมทริกซ์หลักของฟิล์ม เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ มีความปลอดภัยสูง ราคาถูก และให้ฟิล์มที่มีความใส ยืดหยุ่น และมีความสม่ำเสมอ (Mittal *et al.*, 2021) เมื่อได้รับรังสีแกมมา พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถเกิดการแตกตัวของสายโซ่พอลิเมอร์และสร้างอนุมูลอิสระ เช่น ไฮโดรเจนและไฮดรอกซี ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการกระตุ้นปฏิกิริยากับสารไวรังสีภายในฟิล์ม (Akhtar (a) *et al.*, 2013; Akhtar *et al.*, 2016; Bhat *et al.*, 2007) และเมทิลเรด (Methyl red; MR) เป็นสารไวรังสี เนื่องจากเป็นสีย้อมที่มีความไวต่อปฏิกิริยารีดักชันของพันธะคู่ของไนโตรเจน เมื่อทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ ส่งผลให้เกิดการฟอกสีอย่างชัดเจน ความเข้มข้นที่ลดลงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณรังสีสูง จึงเหมาะสำหรับงานวัดรังสีระดับอุตสาหกรรม เช่น การฉายรังสีอาหารและการฆ่าเชื้ออุปกรณ์ทางการแพทย์ นอกจากนี้ เมทิลเรดยังมีความเสถียรต่อแสงและการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับสีย้อมบางชนิด (Akhtar (b) *et al.*, 2013; Akhtar *et al.*, 2016; Soliman *et al.*, 2021; Putri *et al.*, 2024)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฟิล์ม PVA-MR ยังมีข้อจำกัดในการศึกษาผลของความเข้มข้นของสีย้อมต่อสมบัติการตอบสนองเชิงปริมาณ รวมถึงการประยุกต์ใช้ฟิล์มดังกล่าว เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของรังสีภายในห้องฉายรังสีแกมมา และการเชื่อมโยงผลการวัดโดสกับการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลผลิตทางการเกษตรภายหลังการฉายรังสี ทั้งนี้ ประสิทธิภาพของการฉายรังสีขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ดูดกลืน (absorbed

dose) อย่างมีนัยสำคัญ โดยปริมาณรังสีที่ต่ำเกินไปอาจไม่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์หรือชะลอกระบวนการสุกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ปริมาณรังสีที่สูงเกินไปอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างเซลล์ ส่งผลต่อสี เนื้อสัมผัส และคุณภาพของผลผลิต ดังนั้น การวัดและควบคุมปริมาณรังสี (dosimetry) จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อให้มั่นใจว่าผลผลิตได้รับรังสีในระดับที่เหมาะสมและสม่ำเสมอ

ดังนั้น การศึกษานี้เป็นครั้งแรกที่มีการสังเคราะห์ฟิล์มวัดรังสีแล้วนำไปใช้ฟิล์มวัดปริมาณรังสีที่มะเขือเทศได้รับ โดยติดตามผลความสอดคล้องจากการสุกของมะเขือเทศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์ฟิล์มวัดรังสี PVA-MR ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน (ร้อยละ 0.01 - 0.06 โดยน้ำหนัก) เพื่อประเมินการตอบสนองต่อรังสีแกมมาและศึกษาการกระจายตัวของปริมาณรังสีภายในห้องฉายรังสี พร้อมทั้งประยุกต์ใช้ฟิล์มวัดรังสี PVA-MR และการฉายรังสีแกมมาต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวมะเขือเทศ ในการศึกษาผลของการฉายรังสีแกมมาต่อคุณภาพของมะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum*) เพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างปริมาณรังสีที่วัดได้กับการเปลี่ยนแปลงด้านความสุกและลักษณะทางกายภาพของผลผลิตภายหลังการฉายรังสี โดยประเมินคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวผ่านตัวชี้วัดสำคัญ ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงของสีผิวผลด้วยระบบสี $L^* a^* b^*$

อุปกรณ์และวิธีการ

การสังเคราะห์ฟิล์มวัดรังสี

การสังเคราะห์ฟิล์มดำเนินการโดยใช้เครื่องกวนสารชนิดแม่เหล็กร้อน เตรียมสารละลาย PVA เติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นให้ความร้อนที่น้ำอุณหภูมิ 80 - 90 องศาเซลเซียส เติมน้ำ PVA ปริมาณ 4 กรัม ลงในบีกเกอร์ พร้อมกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 15 นาที จนสารละลายมีลักษณะใส

และเป็นเนื้อเดียวกัน ได้สารละลาย PVA ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก สำหรับใช้เป็นสารตั้งต้นในการขึ้นรูปฟิล์ม นำสารละลาย PVA ที่ได้ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมกับสีย้อม MR แต่ละความเข้มข้น กวนจนได้สารละลายที่มีสีสม่ำเสมอทั่วทั้งระบบ ตัวอย่างถูกกำหนดรหัสตามความเข้มข้นของสีย้อมสี ได้แก่ MR 0.01 MR 0.02 MR 0.03 MR 0.04 MR 0.05 และ MR 0.06 สารละลายแต่ละความเข้มข้นถูกเทลงในภาตเรียบ ปริมาตร 50 มิลลิลิตรต่อภาต จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อระเหยตัวทำละลายและทำให้เกิดฟิล์ม เมื่อครบเวลาทำการลอกฟิล์มออกจากภาต ตัดเป็นชิ้นขนาด 2x2 ตารางเซนติเมตร และเก็บไว้ในถุงซิปล็อก

การฉายรังสีฟิล์มวัดรังสี

ในการทดลองได้แบ่งฟิล์มในแต่ละความเข้มข้นของสีย้อมออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม ฟิล์มที่เก็บรักษาไว้ภายใต้สภาวะแวดล้อมปกติ โดยไม่ผ่านการฉายรังสี ใช้เป็นกลุ่มอ้างอิงเพื่อศึกษาความเสถียรของสีหรือสมบัติของฟิล์มไม่ได้เกิดขึ้นเองจากปัจจัยภายนอก หรือการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติ และกลุ่มฉายรังสี ฟิล์มที่ได้รับการฉายรังสีแกมมาโดยใช้เครื่องฉายรังสีรุ่น Gamma Cell 220 ภายใต้อัตราปริมาณรังสี 0.2 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง โดยกำหนดระดับปริมาณรังสีที่ศึกษา ได้แก่ 0 10 20 30 40 และ 100 กิโลเกรย์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีและสมบัติของฟิล์มภายหลังการได้รับรังสี (Figure 1)

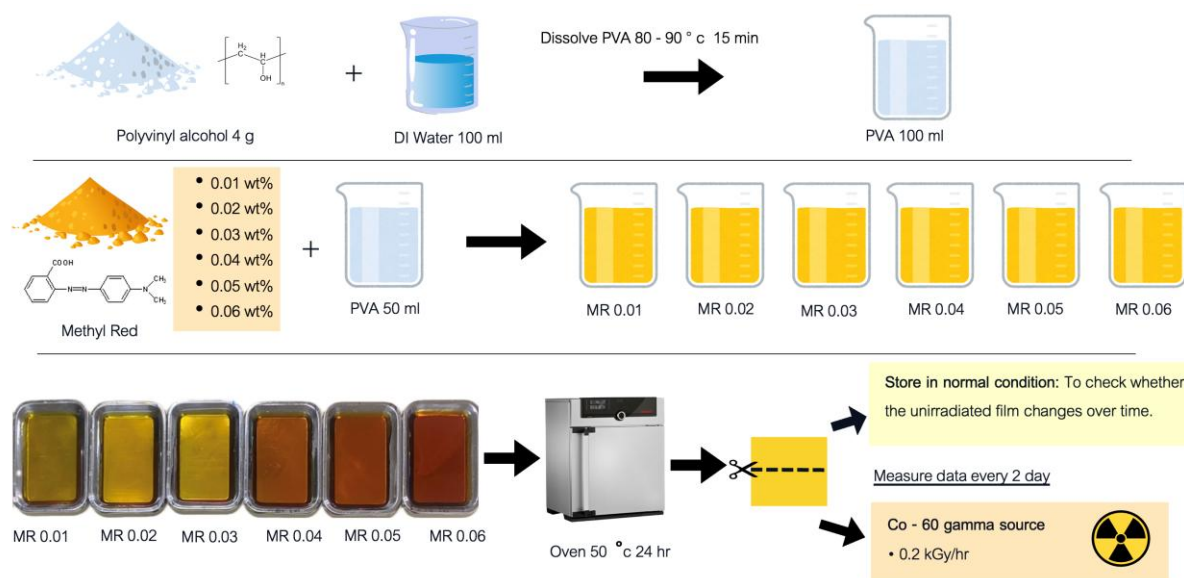


Figure 1 Schematic diagram of the solution casting process for PVA-MR radiochromic films

คุณสมบัติของฟิล์มวัดรังสี

การตรวจสอบสมบัติของฟิล์มวัดรังสีเป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพและความไวต่อรังสีก่อนนำไปใช้งานจริง เนื่องจากองค์ประกอบของพอลิเมอร์ ความหนาของฟิล์ม และเงื่อนไขการฉายรังสีที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างและสมบัติทางแสงของฟิล์ม การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ วัดความหนาของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล การเปลี่ยนแปลงของสีหลังการฉายรังสี วิเคราะห์ด้วยค่าสีแดง เขียว น้ำเงิน (RGB) โดยบันทึกภาพฟิล์มด้วยเครื่องสแกนเนอร์ จากนั้นวิเคราะห์ค่าความเข้มของสีแดง เขียว และน้ำเงิน เพื่อใช้คำนวณค่าความหนาแน่นเชิงแสง และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงสีและปริมาณรังสีที่ได้รับ สมบัติทางแสงของฟิล์มถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ในช่วงความยาวคลื่น 300 - 800 นาโนเมตร เพื่อศึกษาค่าการดูดกลืนแสง (absorbance)

การประเมินปริมาณรังสีแกมมาต่อการสุกของมะเขือเทศ และการบันทึกข้อมูล

การประเมินการกระจายตัวของปริมาณรังสี Figure 2 ภายในเครื่องฉายรังสีได้ออกแบบการทดลองโดยแบ่งตำแหน่งภายในภาชนะออกเป็น 3 บริเวณหลัก ได้แก่ ชั้นนอก (outer) ชั้นใน (inner) และตรงกลาง (center) เพื่อศึกษาความแตกต่างของปริมาณรังสีที่ฟิล์มได้รับในแต่ละตำแหน่ง ฟิล์ม PVA-MR ถูกจัดเรียงตามความสูงของภาชนะในแต่ละชั้น โดยมีการบรรจุมะเขือเทศแทรกระหว่างชั้นของฟิล์ม เพื่อจำลองสภาพ

การใช้งานจริงและศึกษาผลของการดูดกลืนรังสีภายในตัวอย่าง ทำการฉายรังสีแกมมาที่ 2 กิโลเกรย์ ซึ่งเป็นระดับที่ใช้ในการศึกษาการชะลอการสุกของผลผลิต 1 - 2 กิโลเกรย์ (Choi and Park, 2023; Yoon *et al.*, 2023; Yoon *et al.*, 2024) จากนั้นนำฟิล์มออกมาวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงสีและค่าการตอบสนองเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของโดสที่ได้รับในแต่ละตำแหน่งภายในภาชนะ

นอกจากนี้ ในการประเมินคุณภาพของมะเขือเทศหลังการฉายรังสี ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้แผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) จำนวน 40 ซ้ำ 1 ซ้ำ เท่ากับ 1 ผล มีทั้งหมด 3 กรรมวิธี รวมทั้งหมด 120 ผล การวิเคราะห์สถิติ DMRT (Duncan's Multiple Range Test) และประเมินในด้านสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ น้ำหนัก และการสูญเสียน้ำหนักในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา รวมถึงการวิเคราะห์ค่าสีของผิวมะเขือเทศในระบบ $L^* a^* b^*$ โดยใช้เครื่อง Color Reader CR-20 Plus (Konica Minolta, Japan) เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของสีที่สัมพันธ์กับกระบวนการสุกของผลผลิต ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำแหน่งการฉายรังสีและช่วงเวลาการเก็บรักษา โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธี เพื่อให้สามารถอธิบายผลของปริมาณรังสีต่อคุณภาพและการสุกของมะเขือเทศได้อย่างมีนัยสำคัญ

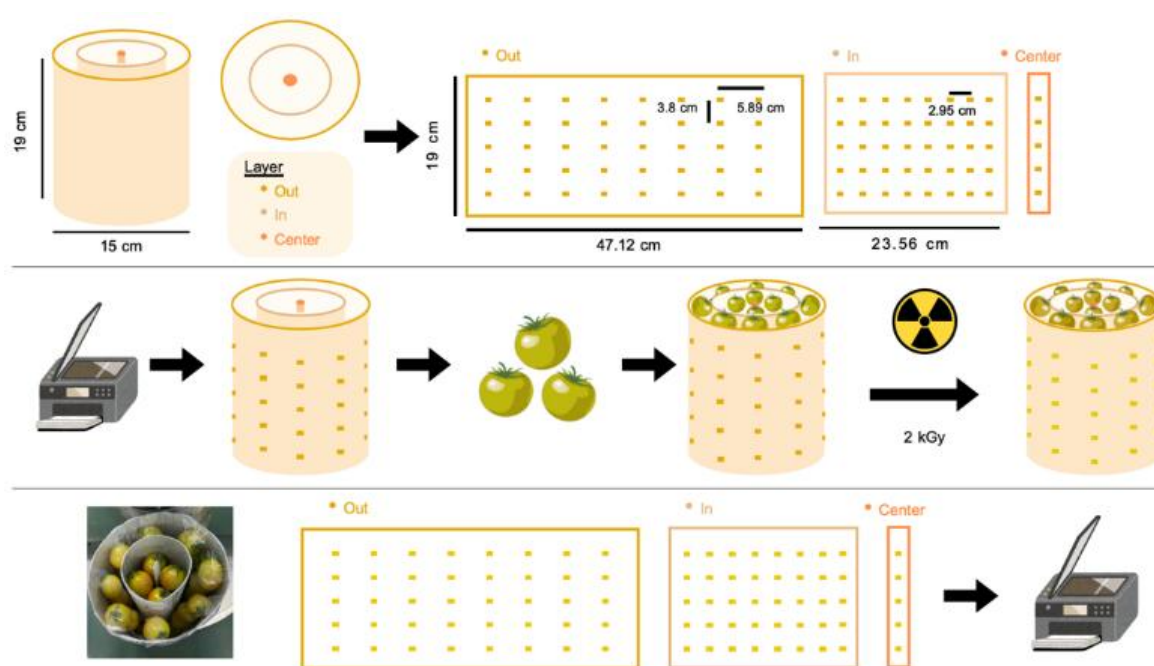


Figure 2 Experimental setup for gamma irradiation using the Gamma cell-220 , showing the film placement within the canister

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การเปลี่ยนสีของฟิล์มในกลุ่มฉายรังสี

จากผลการทดลองใน Figure 3 พบว่า ฟิล์ม PVA-MR ที่ความเข้มข้นต่างกันและได้รับการฉายรังสีแกมมา ได้แก่ 0 10 20 30 40 และ 100 กิโลเกรย์ พบว่า ความเข้มของสีฟิล์มมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเมทิลเรด คือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อม

สีของฟิล์มมีความเข้มมากขึ้นตาม และเมื่อปริมาณรังสีที่ได้รับเพิ่มขึ้น พบว่า สีของฟิล์มมีแนวโน้มจางลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจาก MR เป็นสีย้อมกลุ่ม Azo dye ที่มีความไวต่อปฏิกิริยารีดักชันของหมู่ Azo ($-N=N-$) เมื่อทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดจากพอลิเมอร์ (Akhtar (a) *et al.*, 2013; Akhtar *et al.*, 2016; Bhat *et al.*, 2007; Putri *et al.*, 2024)

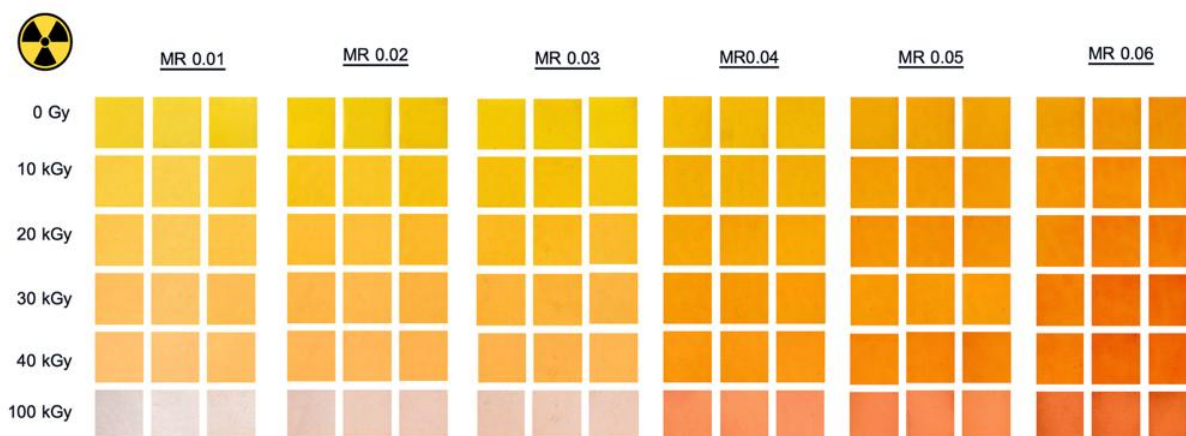


Figure 3 Visual observation of PVA-MR films at different MR concentrations (0.01 - 0.06 %wt) and gamma ray doses (0 - 100 kGy)

การดูดกลืนแสง

จาก Figure 4 แสดงการดูดกลืนแสงของฟิล์ม PVA-MR ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ฉายรังสีแกมมาในช่วง 0 - 100 กิโลเกรย์ พบว่า ฟิล์มมีการดูดกลืนแสงสูงสุด

อยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 430 นาโนเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณรังสีจาก 0 เป็น 100 กิโลเกรย์ ค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง

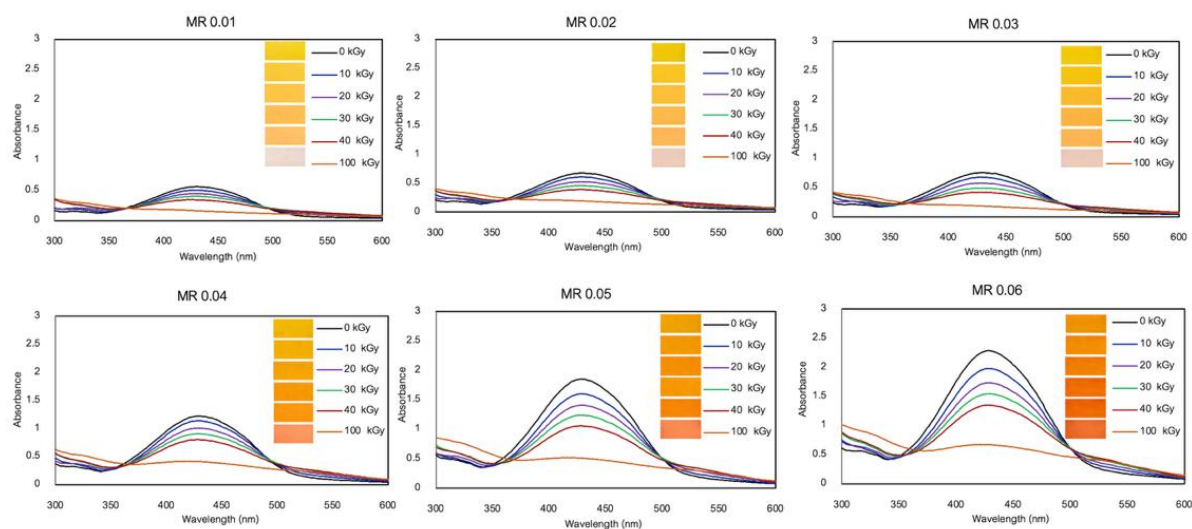


Figure 4 UV-Vis spectra of varied concentration of PVA-MR films

จากค่าการดูดกลืนสูงสุดที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร พบว่า ทุกความเข้มข้น แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดีระหว่างค่าการดูดกลืนและปริมาณรังสี โดยค่าการดูดกลืนลดลงตามโดสอย่างสม่ำเสมอ สะท้อนถึงพฤติกรรมของการตอบสนองต่อรังสีแบบขึ้นกับปริมาณรังสี ค่า R^2 ของสมการเชิงเส้นอยู่ในช่วง 0.9233 - 0.969 แสดงถึงความสอดคล้องของข้อมูลในระดับสูง โดย

ความเข้มข้น 0.04 ร้อยละโดยน้ำหนัก ให้ความเป็นเชิงเส้นดีที่สุด ($R^2 = 0.969$) และทุกความเข้มข้นมีค่า R^2 มากกว่า 0.92 ค่าความชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเชิงลบเมื่อความเข้มข้น MR สูงขึ้น แสดงถึงความไวต่อรังสีที่เพิ่มขึ้น และความสัมพันธ์ระหว่างความชันกับความเข้มข้นยังคงมีความเป็นเชิงเส้นที่ดี ($R^2 = 0.9472$) (Figure 5) (Soliman *et al.*, 2021)

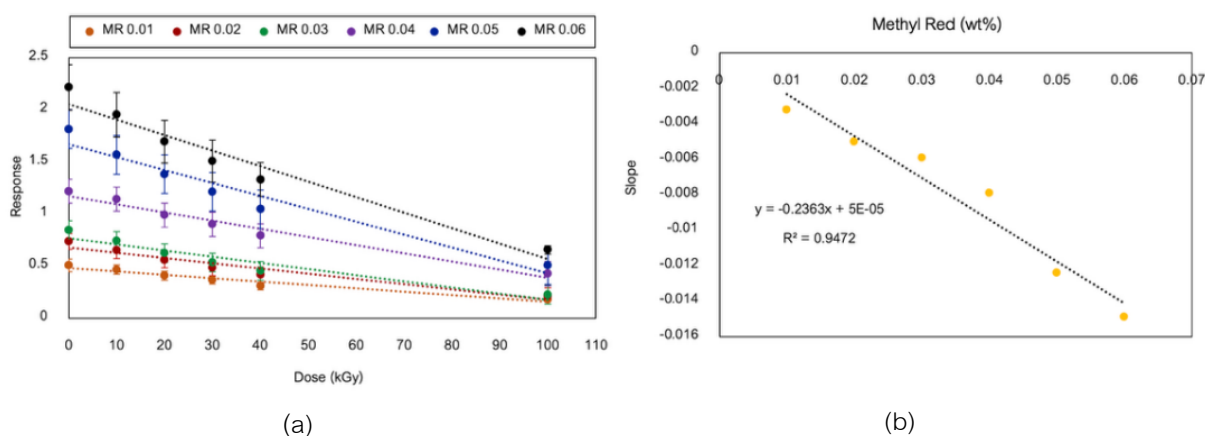


Figure 5 (a) UV-Vis absorbance peak of PVA-MR with different MR concentrations (b) gamma radiation dose response trend varies by MR dose concentrations

Table 1 PVA-MR film absorbance and RGB dose response parameters with different dye concentrations

Concentrations (wt%)	Absorbance			RGB		
	Dose response (kGy ⁻¹)	Intercept	R ²	Dose response (kGy ⁻¹)	Intercept	R ²
0.01	-0.0032	0.4796	0.9518	-0.0025	0.3236	0.9964
0.02	-0.0050	0.6767	0.9336	-0.0025	0.3236	0.9964
0.03	-0.0059	0.7686	0.9233	-0.0026	0.3442	0.9921
0.04	-0.0079	1.1738	0.9690	-0.0011	0.3954	0.6585
0.05	-0.0124	1.6695	0.9490	-0.0010	0.4287	0.6252
0.06	-0.0149	2.0574	0.9546	-0.0002	0.4452	0.0422

การเปลี่ยนแปลงค่าสี R G และ B

จากตารางที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสี R G และ B ของฟิล์ม PVA-MR ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อได้รับรังสีในช่วง 0 - 100 กิโลเกรย์ พบว่า เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ค่าสีฟ้า (B) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนที่สุด รองลงมาคือ ค่าสีแดง (R) ขณะที่ค่าสีเขียว (G) เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าสีน้ำเงินเป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มที่ไวและเด่นชัดที่สุด การวิเคราะห์สมการเชิงเส้นของแต่ละช่องสีให้ค่า R^2 อยู่ในระดับสูง ดังตารางที่ 2 สะท้อนถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นที่กระหว่างค่า RGB กับปริมาณรังสี โดยเฉพาะสีฟ้า ซึ่งให้ความสอดคล้องกับสมการเชิงเส้นมากที่สุด จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นพารามิเตอร์สำหรับการประเมินปริมาณรังสี นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชันกับความเข้มข้นพบแนวโน้มเชิงเส้น ($R^2 = 0.8454$) แสดงว่าความเข้มข้น

ของสารสีมีอิทธิพลต่อความไวในการตอบสนองของสัญญาณสีอย่างเป็นระบบ การวิเคราะห์เชิงเส้น พบว่าความเข้มข้น 0.01 - 0.03 ร้อยละโดยน้ำหนัก ให้ค่า R^2 สูง (0.9921 - 0.9964) แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น ขณะที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.04 - 0.06 โดยน้ำหนัก ให้ค่า R^2 สูง (0.6585 - 0.0422) มีค่า R^2 ต่ำ แสดงถึงลักษณะการตอบสนองที่ไม่เป็นเชิงเส้น ค่าความชันมีแนวโน้มลดลงในเชิงลบ สะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของความเข้มสีตั้งต้นและผลของการดูดกลืนอิมิตัวที่อาจเกิดขึ้น จากผลการวิเคราะห์โดยรวม ฟิล์ม PVA-MR ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.03 โดยน้ำหนัก ให้ค่า R^2 สูง (0.9964) แสดงทั้งความเป็นเชิงเส้นดี ความเสถียรของสัญญาณ และความแตกต่างของสีที่สังเกตได้ชัดเจน จึงถูกเลือกสำหรับการศึกษามูลของการฉายรังสีต่อคุณภาพมะเขือเทศในขั้นตอนถัดไป

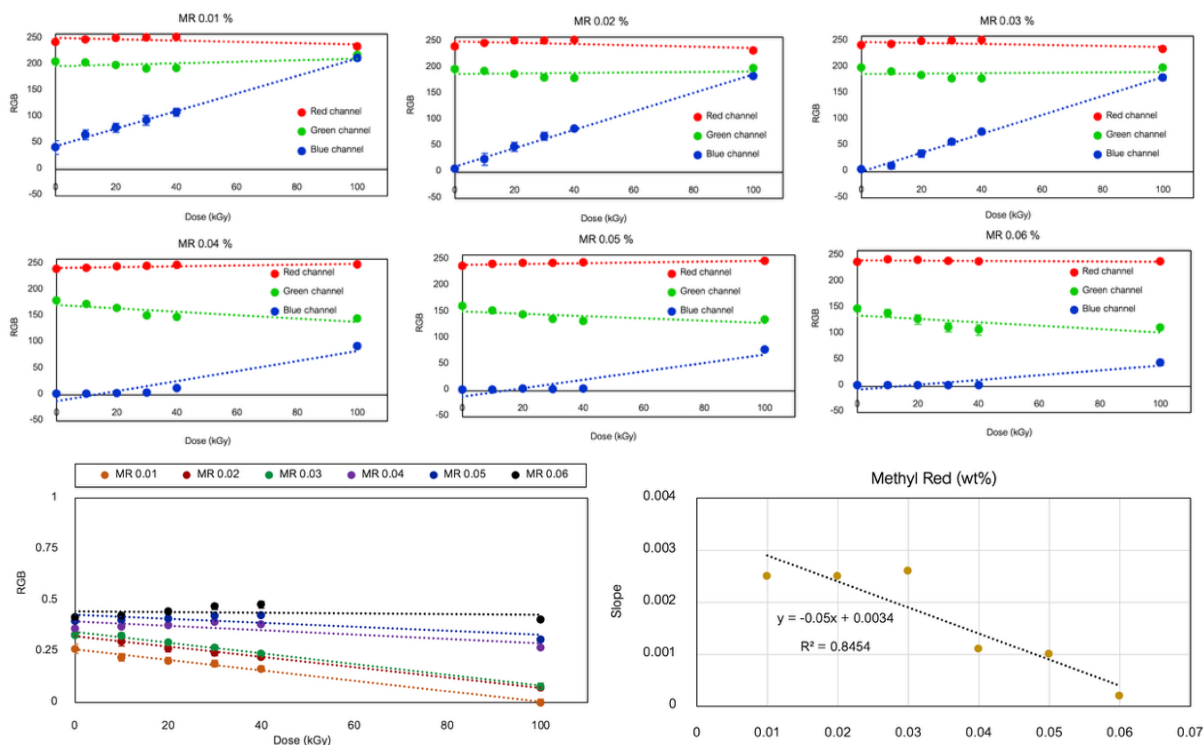


Figure 6 RGB channel response and sensitivity analysis plots the color intensity values across red, green, and blue channels

เมื่อประเมินจากการตอบสนองของค่าการดูดกลืนแสงและค่าสี RGB การเปลี่ยนแปลงของสีฟิล์มและค่าการดูดกลืนแสงที่เกิดขึ้นภายหลังการฉายรังสีสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสีย้อมเมื่อได้รับรังสี (Akhtar (a) *et al.*, 2013; Bhat *et al.*, 2007; Putri *et al.*, 2024) โดยรังสีแกมมาที่ตกกระทบฟิล์มสามารถถ่ายทอดพลังงานให้กับโครงสร้างพอลิเมอร์และโมเลกุลของสีย้อม ทำให้เกิดกระบวนการแตกตัวของโมเลกุลและการเกิดอนุมูลอิสระภายในฟิล์ม ส่งผลให้โครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมเกิดการเปลี่ยนแปลง และนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของสมบัติการดูดกลืนแสงของฟิล์ม การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่ได้รับ โดยพบว่า ค่าการดูดกลืนแสงและความหนาแน่นเชิงแสงของฟิล์มมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับการตอบสนองของฟิล์มในช่วงปริมาณรังสีที่ศึกษา อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มสูงขึ้นมาก การตอบสนองของฟิล์มอาจมีแนวโน้มลดความไวลงเนื่องจากการเข้าสู่ช่วงอิ่มตัวของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสีย้อม นอกจากนี้ การวิเคราะห์ค่าสีในระบบ RGB ยังแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบสีที่สอดคล้องกับค่าการดูดกลืนแสง โดยค่า RGB เป็นค่าที่สามารถวัดได้อย่างรวดเร็วจากภาพดิจิทัลและสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของสีฟิล์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเปลี่ยนแปลงของค่า RGB สะท้อนถึงการลดลงของความเข้มสีของฟิล์มตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ ความสม่ำเสมอของสีในฟิล์มแต่ละตัวอย่างมีความสำคัญต่อความแม่นยำของการวัด

เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของเนื้อฟิล์มหรือการกระจายตัวของสีย้อมอาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประเมินค่าการตอบสนองต่อรังสี และในการทดลองได้นำฟิล์มดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการทดลองฉายรังสีแกมมาเพื่อชะลอการสุกของมะเขือเทศ สามารถประเมินปริมาณรังสีที่มะเขือเทศได้รับจากสีที่เปลี่ยนของฟิล์มได้ทันทีหลังจากได้รับรังสี ต่างจากงานวิจัยอื่นๆ ที่ใช้ เม็ด Alanine ฉายรังสีจากนั้น อ่านค่าปริมาณรังสีที่ดูดกลืนจริงด้วยเครื่องวิเคราะห์เฉพาะทาง Brunker EMS 104 EPR analyzer (Yoon *et al.*, 2023; Yoon *et al.*, 2024)

ผลการประเมินปริมาณรังสีแกมมาต่อการสุกของมะเขือเทศ

จากการใช้ฟิล์มวัดรังสีในการประเมินปริมาณรังสีแกมมา ดังแสดงใน Figure 7 พบว่า ฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนภายหลังการฉายรังสี โดยค่าความเข้มสีในระบบ RGB มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งการวางฟิล์ม พบว่าฟิล์มที่อยู่ด้านนอกมีค่าการเปลี่ยนแปลงของ RGB มากกว่าฟิล์มด้านใน แสดงว่า ด้านนอกได้รับปริมาณรังสีสูงกว่า ขณะที่ฟิล์มด้านในมีการเปลี่ยนแปลงสีต่ำกว่า ความแตกต่างนี้เกิดจากการดูดกลืนและการลดทอนของรังสีเมื่อผ่านชั้นวัสดุหรือชั้นตัวอย่าง ทำให้ปริมาณรังสีที่เข้าสู่บริเวณชั้นในลดลง ดังนั้น ผลจากฟิล์มวัดรังสีสามารถยืนยันได้ว่าการกระจายปริมาณรังสีภายในระบบมีความไม่สม่ำเสมอ โดยตำแหน่งด้านนอกได้รับรังสีมากกว่าด้านในอย่างชัดเจน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีความสำคัญต่อการประเมินปริมาณรังสีและการออกแบบการจัดวางตัวอย่างในการฉายรังสีต่อไป

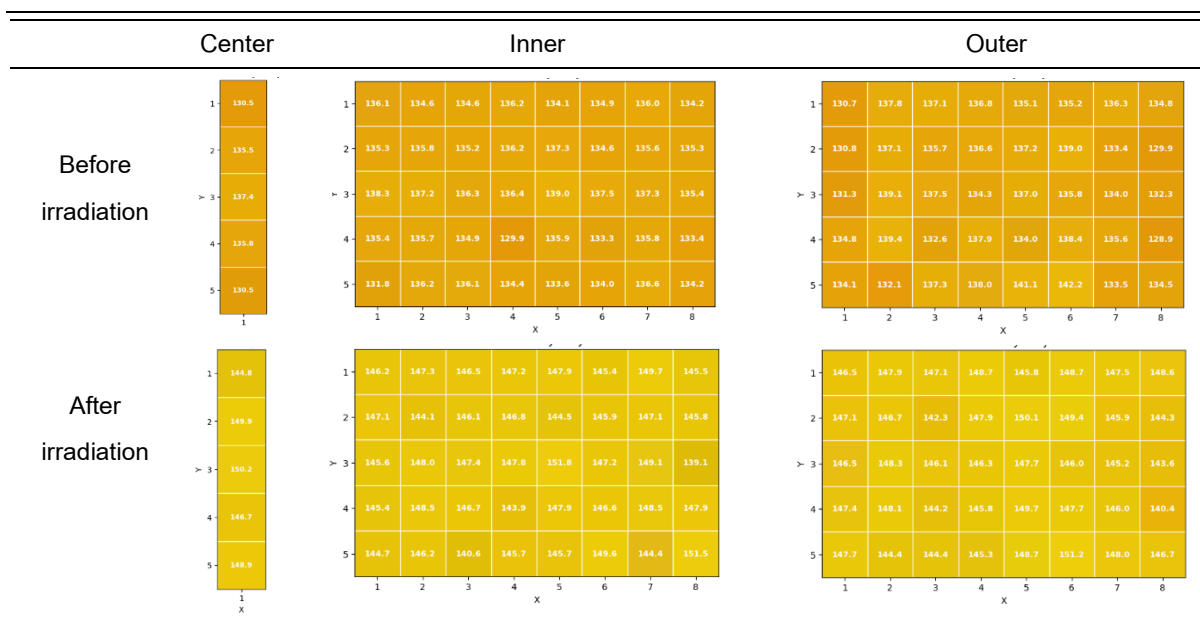


Figure 7 Scanned film intensity of (top) before irradiated (bottom) after irradiated with different positions in radiation chamber, out, inner and center

Table 2 Photograph of tomato with storage time from 0 - 120 hours compared to group of control (un-irradiated), inner and outer position in radiation chamber

Storage time (hours)	Treatment		
	Control	Inner	Outer
0			
10			
24			
48			
72			
96			
120			

ผลการทดลองหรือผลการศึกษาในตารางที่ 3 และ Figure 8 แสดงการสูญเสียน้ำหนักของมะเขือเทศ ภายหลังการฉายรังสี พบว่า เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาเก็บรักษา ในทุกตำแหน่งการจัดวางและทุกระดับความสูง สะท้อน ถึงการสูญเสียผ่านกระบวนการคายน้ำและการหายใจ ที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บรักษา และพบว่า ตัวอย่าง ที่อยู่ชั้นด้านใน มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่า ชั้นด้านนอก

แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานการศึกษาก่อน หน้าที่ระบุว่า การสูญเสียน้ำหนักของผลผลิตหลังการ เก็บเกี่ยวมักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บรักษา เนื่องจาก การคายน้ำผ่านผิวผลและการใช้สารสำรองใน กระบวนการหายใจของเนื้อเยื่อพืช ซึ่งเป็นกระบวนการ ทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะในผลไม้ประเภท climacteric เช่น มะเขือเทศ ที่ยังคงมีอัตราการหายใจและกระบวนการเมแทบอลิซึม สูงระหว่างการเก็บรักษา ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำและ น้ำหนักของผลผลิตเพิ่มขึ้นตามเวลา (Choi and Park, 2023; Yoon *et al.*, 2023; Yoon *et al.*, 2024)

Table 3 Weight and weight loss with storage time from 0 - 120 hours compared between group of control (un-irradiated), inner and outer position in radiation chamber

Weight (g)	Storage time (hours)						
	0	10	24	48	72	96	120
Control	22.16 ± 2.85a	21.98 ± 2.82a	21.72 ± 2.76a	21.54 ± 2.72a	21.29 ± 2.66a	21.2 ± 2.65a	21.0 ± 2.62a
	18.64 ± 1.42b	18.57 ± 1.41b	18.14 ± 1.39b	18.14 ± 1.39b	17.89 ± 1.38b	17.72 ± 1.37b	17.58 ± 1.37b
Inner	17.85 ± 2.88b	17.76 ± 2.87b	17.55 ± 2.85b	17.43 ± 2.86b	17.17 ± 2.77b	17.04 ± 2.80b	16.87 ± 2.79b
F-test	*	*	*	*	*	*	*
CV(%)	12.41	12.43	12.42	12.43	12.59	12.66	9.69

Weight loss (%)	Storage time (hours)						
	0	10	24	48	72	96	120
Control	-	0.18 ± 0.07a	0.43 ± 0.17a	0.62 ± 0.25a	0.87 ± 0.37a	0.96 ± 0.42a	1.16 ± 0.50a
Inner	-	0.07 ± 0.03b	0.28 ± 0.06b	0.50 ± 0.24b	0.75 ± 0.29ab	0.92 ± 0.29ab	1.07 ± 0.31b
Outer	-	0.09 ± 0.02b	0.30 ± 0.07b	0.44 ± 0.13b	0.65 ± 0.25b	0.80 ± 0.27b	0.97 ± 0.30b
F-test	-	*	*	*	*	*	*
CV(%)	-	38.94	32.32	19.04	13.79	11.77	19.12

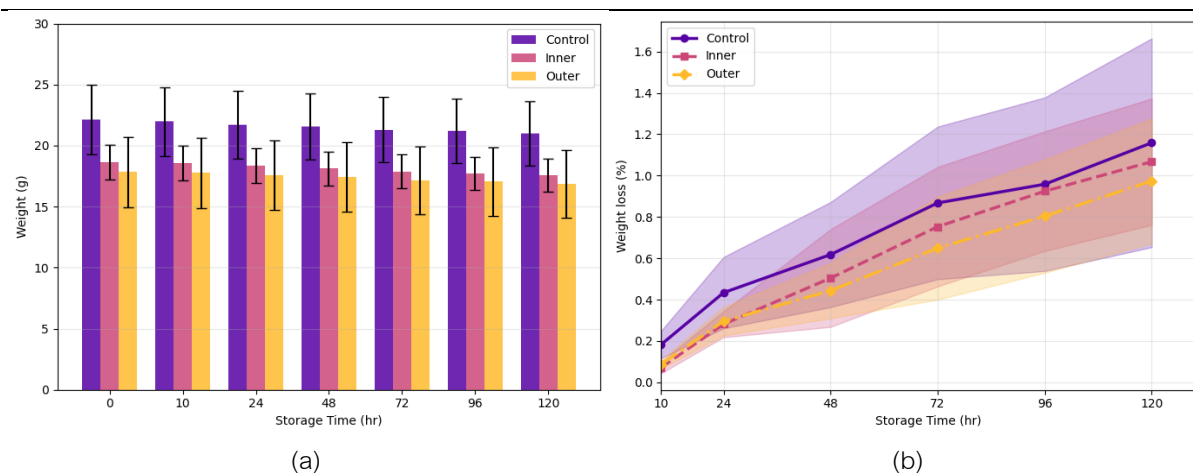


Figure 8 Changes in tomato weight and weight loss during storage at different irradiation positions, (a) bar plot of weight in gram and (b) line plot of weight loss (%) with the shaded areas indicating the standard deviation

Table 4 Color parameters of tomato during storage from 0 - 120 hours, (a) L* values, (b) a* values, and (c) b* values, compared among control (un-irradiated), inner-position, and outer-position groups in the radiation chamber

(a) L* values

L*	Storage time (hours)						
	0	10	24	48	72	96	120
Control	44.87 ± 3.11	42.55 ± 2.05	39.72 ± 3.05b	38.03 ± 2.90	36.82 ± 2.69ab	33.15 ± 1.91b	33.0 ± 0.71b
	43.46 ± 3.65	42.52 ± 3.36	39.98 ± 3.64ab	37.42 ± 2.96	34.57 ± 3.42b	35.39 ± 3.38a	32.9 ± 1.76b
Inner	43.24 ± 3.31	43.08 ± 2.99	41.37 ± 3.23a	38.73 ± 3.12	36.18 ± 3.47a	36.2 ± 3.27a	34.04 ± 2.10a
F-test	ns	ns	*	ns	*	*	*
CV(%)	7.58	6.58	4.51	6.57	7.13	7.30	4.20

(b) a* values

a*	Storage time (hours)						
	0	10	24	48	72	96	120
Control	4.73 ± 1.30b	9.55 ± 2.51a	16.92 ± 2.32a	19.38 ± 2.25a	20.9 ± 2.53a	21.8 ± 1.23a	22.0 ± 1.82
Inner	6.34 ± 2.39a	9.86 ± 2.33a	14.88 ± 2.24b	17.74 ± 2.51b	19.24 ± 2.72b	21.62 ± 2.38ab	21.42 ± 1.77
Outer	4.33 ± 1.19b	7.32 ± 1.97b	12.19 ± 2.71c	15.43 ± 2.71c	17.97 ± 2.58c	20.79 ± 2.80b	21.26 ± 2.00
F-test	*	*	*	*	*	*	ns
CV(%)	33.01	25.17	16.45	14.01	12.27	11.35	7.27

(c) b* values

b*	Storage time (hours)						
	0	10	24	48	72	96	120
Control	29.86 ± 3.29b	29.5 ± 2.43b	29.48 ± 3.23	27.85 ± 3.83	27.58 ± 3.99a	22.67 ± 2.50b	21.18 ± 1.36b
Inner	32.61 ± 3.98a	31.6 ± 4.52a	30.25 ± 4.24	26.12 ± 6.12	24.47 ± 5.99b	25.57 ± 2.50a	22.18 ± 2.52b
Outer	28.99 ± 3.57b	29.79 ± 4.10b	30.38 ± 3.88	27.99 ± 3.77	25.77 ± 4.51ab	26.7 ± 4.20a	23.84 ± 3.06a
F-test	*	*	ns	ns	*	*	*
CV(%)	11.72	12.40	4.99	6.43	6.68	7	6.57

จากผลการทดลองในตารางที่ 4 และ Figure 9 แสดงค่า L* a* และ b* ของผลมะเขือเทศ โดยที่ ค่า L* (Table 4a และ Figure 9) แสดงถึงความสว่างของสี มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น แสดงถึงการลดลงของความสว่างและการเข้มข้นของสีเนื้อผล เป็นผลมาจากกระบวนการสุก เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง ชั้นในและชั้นนอก พบว่า ชั้นนอกมีค่า L* สูงกว่าชั้นในเล็กน้อย แต่จากกราฟจะเห็นว่าความแตกต่างของค่า L* ระหว่างกลุ่มฉายรังสีกับไม่ฉายรังสี ค่อนข้างใกล้เคียงกันและช่วงค่าทับซ้อนกัน จึงมองความแตกต่างได้

ไม่ชัดเจน นอกจากนี้ยังพบว่า ผลมะเขือเทศมีค่า a* (Table 4b และ Figure 9) ซึ่งเป็นตัวแทนของความแดงของผลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สะท้อนถึงกระบวนการสุกของมะเขือเทศที่สัมพันธ์กับการสะสมของสารสี ไลโคปีน (Lycopene) ซึ่งเป็นรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการสุกของผลไม้ประเภท Climacteric นอกจากนี้การลดลงของน้ำหนักผลที่พบระหว่างการเก็บรักษามีความสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำจากกระบวนการคายน้ำ (transpiration) และการใช้สารอาหารสำรองผ่านกระบวนการหายใจ

(respiration) ของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง พบว่า มะเขือเทศที่ไม่ได้รับการฉายรังสีมีการเพิ่มขึ้นของค่า a^* และการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นในอัตราที่สูงที่สุด แสดงให้เห็นถึงการดำเนินไปของกระบวนการสุกตามธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของการสร้าง Ethylene และการกระตุ้นกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ภายในผล ในทางตรงกันข้าม มะเขือเทศที่ได้รับการฉายรังสีแกมมา มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า a^* และการสูญเสียน้ำหนักที่ช้าลง ซึ่งบ่งชี้ว่าการฉายรังสีสามารถชะลอกระบวนการสุกของมะเขือเทศได้ ผลดังกล่าวอาจอธิบายได้จากผลของรังสีแกมมาต่อการยับยั้งการสร้าง Ethylene และการลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุก รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของเมแทบอลิซึมภายในผล ทำให้กระบวนการสะสมรงควัตถุ การสลายผนังเซลล์ และการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นช้าลง ส่งผลให้มะเขือเทศสามารถคงคุณภาพและชะลอการสุกในระหว่างการเก็บรักษาได้ดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการฉายรังสี ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ (Choi and Park, 2023; Yoon *et al.*, 2023; Yoon *et al.*, 2024)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มฉายรังสีและไม่ฉายรังสี พบว่า กลุ่มไม่ฉายรังสี มีค่า a^* เพิ่มขึ้นสูงสุดในทุกช่วงเวลา แสดงถึงการสุกที่รวดเร็วกว่า ขณะที่กลุ่มฉายรังสีมีค่า a^* โดยชั้นในมีแนวโน้มค่าที่

สูงกว่าเล็กน้อย สะท้อนว่าบริเวณผิวหนังด้านนอกอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงสีได้เร็วกว่า ชั้นนอกที่ได้รับรังสีมากกว่า มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า a^* ต่ำกว่ากลุ่มอื่น ในส่วนของค่า b^* (Table 4c และ Figure 9) พบว่า ค่ามีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น บ่งชี้ถึงการลดความเป็นสีเขียว และการเปลี่ยนผ่านไปสู่โทนสีแดงมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุภายในผล จากกราฟจะเห็นว่าค่าระหว่างกลุ่มฉายรังสีกับไม่ฉายรังสี รวมถึงชั้นในและชั้นนอก อยู่ใกล้เคียงกันและช่วงค่าทับซ้อนกันมาก จึงมองความแตกต่างได้ไม่ชัดเจน (Yoon *et al.*, 2024)

ดังนั้น ความแตกต่างของอัตราการสุกระหว่างตัวอย่างที่อยู่ตำแหน่งชั้นในและชั้นนอกของภาชนะฉายรังสี โดยตัวอย่างที่อยู่ตำแหน่งชั้นนอกมีแนวโน้มสุกช้ากว่า ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสีฟิล์มวัดรังสีที่สะท้อนถึงความแตกต่างของปริมาณรังสีที่ได้รับในแต่ละตำแหน่งของภาชนะฉายรังสี ดังนั้น ฟิล์มวัดรังสีที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จึงสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินและติดตามการกระจายตัวของปริมาณรังสีระหว่างกระบวนการฉายรังสีได้ และการประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการฉายรังสีอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมกระบวนการฉายรังสีเพื่อยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของมะเขือเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

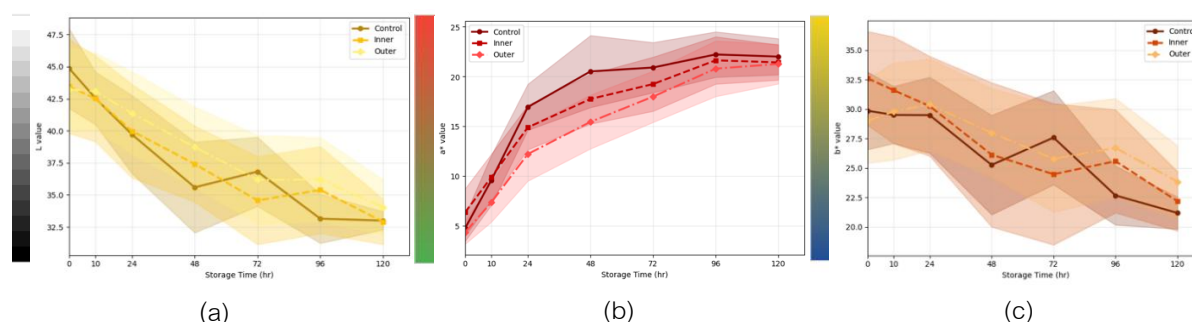


Figure 9 Color parameters, (a) L^* , (b) a^* and (c) b^* , with different storage time from 0 - 72 hours compared between group of control (un-irradiated), inner and outer position in radiation chamber. The shaded of line plot indicates the standard deviation of data

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า พิล์มวัดรังสี PVA-Methyl Red สามารถตอบสนองต่อรังสีแกมมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความเข้มข้นของเมทิลเรด ร้อยละ 0.03 ให้ความไวและความเป็นเชิงเส้นดีที่สุด พิล์มสามารถใช้ตรวจสอบการกระจายตัวของรังสีภายในเครื่องฉายได้อย่างชัดเจน ซึ่งพบว่า ปริมาณรังสีมีความไม่สม่ำเสมอในแต่ละตำแหน่ง โดยการประยุกต์ใช้กับมะเขือเทศ พบว่า การฉายรังสีช่วยชะลอการสุก โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักและค่าสี โดยเฉพาะค่า a^* ที่สะท้อนการพัฒนามีสีแดง ดังนั้น พิล์ม PVA-MR มีศักยภาพในการเป็นเครื่องมือวัดรังสี และสามารถนำไปใช้สนับสนุนเทคโนโลยีการฉายรังสีเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ภายใต้กองทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ 2568

เอกสารอ้างอิง

Akhtar (a), S., T. Hussain, A. Shahzad and Q. U. Islam. 2013. The feasibility of reactive dye in PVA films as high dosimeter. *Journal of Basic & Applied Sciences* (9): 420-423.

Akhtar (b), S., T. Hussain, A. Shahzad, Q. U. Islam, M. Y. Hussain and N. Akhtar. 2013. Radiation induced decoloration of reactive dye in PVA films for film dosimetry. *Journal of Basic & Applied Sciences* 9(1): 416-419.

Akhtar, S., A. Shahzad, S. Bashir, M. Y. Hussain and N. Akhtar. 2016. Improved performance of radiochromic films for high-dose dosimetry. *Radioprotection* 51(2): 129-133. Available: <https://doi.org/10.1051/radiopro/2016001>.

Bhat, N. V., M. M. Nate, R. M. Bhat and B. C. Bhatt. 2007. Effect of γ -irradiation on polyvinyl alcohol films doped with some dyes and their use in dosimetric studies. *Indian Journal of Pure & Applied Physics* 45(6): 545-548.

Choi, H. G. and K. S. Park. 2023. Ripening process of tomato fruits postharvest: Impact of environmental conditions on quality and chlorophyll a fluorescence characteristics. *Horticulturae* 9(7): 812. Available: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070812>.

Das, I. J. 2017. Radiochromic film: Role and applications in radiation dosimetry. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.

Mittal, A., G. Natanasabapathi, A. Verma and P. Kumar. 2021. Development and dosimetric characterization of novel amide substituted diacetylene based radiochromic films for medical radiation dosimetry. *Radiation Physics and Chemistry* 182: 109391. Available: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109391>.

- Putri, M. A. E., R. Rahmawati, A. M. Roja'i, R. Fitriana, M. Y. Yunus, M. Suhartini, N. H. Anggarini, A. Rachmanto, G. T. Rekso, D. G. Syarif and D. H. Prajitno. 2024. Polyvinyl alcohol dyed with methyl red as a radiochromic film dosimeter for gamma radiation. Journal of Physics: Conference Series 2828: 012023. Available: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2828/1/012023>.
- Soliman, Y. S., A. A. Abdel-Fattah and S. G. Dutremez. 2021. 1,10-Bis(diphenylamino)-4,6-decadiyne as an active component of a radiochromic film dosimeter. Radiation Physics and Chemistry 189: 109714. Available: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109714>.
- Yoon, K. N., Y. S. Yoon, H. J. Hong, J. H. Park, B. S. Song, J. B. Eun and J. K. Kim. 2023. Gamma irradiation delays tomato (*Solanum lycopersicum*) ripening by inducing transcriptional changes. Journal of the Science of Food and Agriculture. Available: <https://doi.org/10.1002/jsfa.12760>.
- Yoon, K. N., Y. S. Yoon, H. J. Hong, S. J. Yeom, J. H. Park, B. S. Song, J. B. Eun and J. K. Kim. 2024. Extending shelf life and analyzing dosimetric and detection techniques in postharvest tomatoes (*Solanum lycopersicum*) via X-ray irradiation. LWT-Food Science and Technology 201: 116230. Available: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116230>.