

ผลของการฉายรังสีแกมมาต่อการยืดอายุการเก็บรักษา และคุณภาพของกล้วยหอมทอง

ธีรารัตน์ แซ่มชัยพร^{1*} และปรกรณ์ ตั้งปอง²

¹สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม 73000;

²ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

*E-mail: teerarat@webmail.npru.ac.th

รับบทความ: 20 พฤษภาคม 2565 แก้ไขบทความ: 1 พฤศจิกายน 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 22 พฤศจิกายน 2565

บทคัดย่อ

กล้วยหอมทอง (*Musa acuminata* AAA group) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย ที่ส่งขายทั้งในประเทศและต่างประเทศ แต่มีปัญหาในการขนส่งโดยเฉพาะการขนส่งไปต่างประเทศที่ต้องใช้เวลานานอาจทำให้กล้วยหอมทองสุกก่อนไปถึงประเทศปลายทาง และการสุกของผลกล้วยในหรีเดียวกันอาจเกิดไม่สม่ำเสมอ จึงได้มีความสนใจศึกษาเกี่ยวกับการใช้รังสีแกมมาในการยืดอายุการเก็บรักษาและการใช้สารกลุ่มเอทิลีนกระตุ้นการสุกของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา รวมทั้งผลที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลกล้วยหอมทองด้วย โดยใช้ผลกล้วยหอมทองอายุ 60 วันหลังการตัดหัวปลี พบว่า การใช้รังสีแกมมาปริมาณ 0.5, 1, 1.5 และ 2 กิโลเกรย์ (kGy) สามารถยืดอายุการสุกของกล้วยหอมทองได้ถึง 14 วัน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง ผลกล้วยหอมทองที่ได้รับรังสีแกมมา 0.5 และ 1 กิโลเกรย์เมื่อสุกผลมีสีเหลืองตามปกติ แต่ที่ 1.5 และ 2 กิโลเกรย์ ผลกล้วยหอมทองจะมีรอยดำและสีคล้ำปรากฏที่เปลือกภายหลัง 6–9 วันหลังการฉายรังสี การฉายรังสีโดยเฉพาะที่อัตราสูงทำให้ค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นแต่ความหวานและปริมาณกรดมาลิกลดลง (รังสีที่อัตราต่ำทำให้ปริมาณแทนนินเพิ่มขึ้นแต่อัตราสูงปริมาณแทนนินกลับต่ำลง) การบ่มผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา 1 กิโลเกรย์และทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วันด้วยอีทีฟอน 600 ppm (ทั้งจุ่มและพ่น) และแคลเซียมคาร์ไบด์ 3 g/0.0189 cm³ ทำให้ผลกล้วยหอมทองสุกในเวลา 3 วัน ผลกล้วยหอมทองมีสีเหลืองและมีความสว่างของสีเปลือกเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะการบ่มด้วยการจุ่มด้วยอีทีฟอนทำให้ค่าความสว่างของสีเปลือกเพิ่มขึ้นมากที่สุด แต่ค่าสีเขียวของทุกระบบวิธีกลับลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม การบ่มทั้ง 3 กรรมวิธียังทำให้ความแน่นเนื้อและปริมาณแทนนินของผลกล้วยหอมทองลดลง แต่ทำให้ความหวานและปริมาณกรดมาลิกเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม เช่นเดียวกับการบ่มกล้วยหอมทองที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสี ดังนั้นการฉายรังสีแกมมาที่อัตราต่ำแก่ผลกล้วยหอมทองสามารถยืดอายุการสุกของกล้วยหอมทองได้โดยที่คุณภาพของผลไม่ได้รับผลกระทบสามารถนำมาพัฒนาเพื่อใช้ในการขนส่งกล้วยหอมทองได้

คำสำคัญ: กล้วยหอมทอง อีทีฟอน แคลเซียมคาร์ไบด์ รังสีแกมมา การสุก

Effect of Gamma Irradiation on Shelf Life Extension and Quality of Gros Michel Banana (*Musa acuminata*) (AAA group)

Teerarat Chaemchaiyaporn^{1*} and Pakorn Tangpong^{2*}

¹Program Study of Biology, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University,

Nakhon Pathom 73000, Thailand; ²Department of Applied Radiation and Isotopes,

Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok, 10900, Thailand

*E-mail: teerarat@webmail.npru.ac.th

Received: 20 May 2022 Revised: 1 November 2022 Accepted: 22 November 2022

Abstract

The Gros Michel banana (*Musa acuminata*) (AAA group) is one of Thailand's critical economic fruits for export and domestic consumption. However, the major problem with banana exportation is that the fruit is frequently ripe before reaching the consumer during a long transportation. Moreover, the ripening of each fruit in the same hand is usually uneven. These pushed the researchers interested in studying the use of gamma-ray to delay fruit ripening and ethylene group hormones to activate banana ripening, including influences on physical and chemical change. The studies were performed using Gros Michel banana 60 days after cutting the male flower bud from the bunch. It was found that applying gamma-ray at 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 kilogray (kGy) to the Gros Michel banana at ambient temperature delayed the ripening of the fruit to 14 days. Furthermore, banana fruits treated with the lower dose of gamma-ray (0.5 and 1.0 kGy) showed standard yellow color after ripening. In contrast, those who received the higher dose (1.5 and 2.0 kGy) developed dark brown flecks on peels 6–9 days after irradiation. Gamma-ray, in this study, raised firmness value but diminished the sweetness and malic acid content of the banana fruits, particularly at high doses. To ripen banana fruits after irradiated with 1 kGy and left for 7 days at room temperature, it was encountered that both ethephon at 600 ppm (by dipping or spraying) and calcium carbide at 3 g/0.0189 m³ induced ripening of the fruits in 3 days afterward. In addition, the fruits had more elevated values of brightness and yellowness of peel color, especially the ethephon treatment without irradiation, while reduced in green compared to the control. Furthermore, the two ripening chemicals also rendered higher sweetness and malic acid content values. Never-

theless, bananas decreased firmness and tannin content in the fruit pulp of irradiated bananas, similar to those unirradiated in the former experiment. These indicated that ethephon and calcium carbide, at reasonable rates, could be employed to induce banana ripening. On the other hand, irradiation at 1 kGy could slow the ripening of Gros Michel banana for about 14 days without any effect on the fruit's qualities after ripening.

Keywords: Gros Michel banana, Ethephon, Calcium carbide, Gamma-ray, Ripening

บทนำ

กล้วยหอมทอง (*Musa acuminata* AAA group) เป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมรับประทานทั้งในประเทศและต่างประเทศ ลักษณะของผลกล้วยหอมทองมีผลเป็นรูปยาว เมื่อสุกเปลือกจะเป็นสีเหลืองทอง เนื้อมีรสหวาน มีกลิ่นหอม และไม่มีเมล็ด เป็นผลไม้ที่ให้พลังงานสูง อีกทั้งยังมีสรรพคุณช่วยลดอาการเครียด บรรเทาอาการนอนไม่หลับ ลดอาการท้องผูก ลดความเสี่ยงโรคหัวใจ เป็นต้น (Boontem and Artsanthia, 2020) อย่างไรก็ตามการขนส่งกล้วยหอมทองไปยังต่างประเทศนั้นจะต้องมีข้อกำหนด อาทิ กล้วยหอมทองที่ส่งออกจะต้องไม่พบสารตกค้าง ไม่มีโรคและเชื้อรา สีผิวเปลือกกล้วยต้องไม่คล้ำ และต้องไม่สุกก่อนถึงประเทศปลายทาง (Tobaramseekul, 2019) ดังนั้นหากต้องการส่งออกกล้วยหอมทองจำเป็นต้องหาวิธีการที่เหมาะสมในการขนส่งและวิธีการหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานสินค้าส่งออก เช่น การทำความสะอาดและควบคุมโรค (cleaning and disease control) การใช้อุณหภูมิระหว่าง 13–14 องศาเซลเซียสในการขนส่ง การใช้สารเคลือบผิวเปลือกกล้วย (coating) หรือการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ (modified atmospheric packaging) และการฉายรังสี (irradiation) (Mohapatra et al., 2010) โดยวิธีการฉายรังสีผลไม้เพื่อชะลอการสุก เป็นวิธีที่ได้รับการ

ยอมรับในระดับสากล ซึ่งในกระบวนการฉายรังสีนั้นผลิตภัณฑ์ไม่มีการสัมผัสกับสารเคมีแต่อย่างใด อีกทั้งการฉายรังสีแกมมาแก่อาหารที่ระดับปริมาณรังสีไม่เกิน 10 กิโลเกรย์ (kGy) นั้นไม่สามารถทำให้เกิดสารกัมมันตรังสี หรือรังสีในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ฉายรังสีไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดสามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย ตามรายงานของ Strydom and Whitehead (1990) พบว่า การฉายรังสีแกมมาปริมาณต่ำ (0.2 kGy) จะช่วยชะลอการสุกและการเปลี่ยนสีเปลือกกล้วยหอมได้ โดยรังสีจะไปลดการสร้างเอทิลีน (ethylene) ของผลไม้ ด้วยเหตุนี้การนำรังสีแกมมามาใช้จึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจที่จะสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมให้นานขึ้นได้

นอกจากนี้ปัญหาที่พบอีกอย่างหนึ่งในการขนส่งกล้วยหอมทองไปยังต่างประเทศปลายทางคือ กล้วยหอมทองแต่ละผลจะสุกไม่พร้อมกัน เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชชนิดเดียวที่ถูกนำมาใช้ในการบ่มผลไม้ โดยการใช้สารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืชในกลุ่มเอทิลีน ซึ่งมีทั้งสถานะเป็นแก๊ส (gaseous ethylene) และเป็นสารละลาย (liquid ethylene) ช่วยเร่งการสุกของผลไม้ให้สามารถสุกพร้อมกันได้ (Ketsa, 2006) ดังนั้นการใช้สารเคมีในกลุ่มเอทิลีนในการบ่มกล้วยหอมทองเพื่อทำให้การสุกของผลกล้วยให้สุกเท่า ๆ กัน จะช่วยแก้ปัญหาการสุกของกล้วยในหวีที่สุกไม่พร้อมกัน

เมื่อกล้วยถูกส่งไปยังปลายทาง ซึ่งทำให้สามารถกำหนดระยะเวลาในการสุกของกล้วยหอมทองได้

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำจุดเด่นของการฉายรังสีแกมมาเพื่อชะลอการสุก ร่วมกับการใช้เอทิลีน ในการกำหนดระยะเวลาและความสม่ำเสมอในการสุกของกล้วยหอมทอง ทำให้สามารถขนส่งกล้วยหอมทองไปยังต่างประเทศโดยไม่ต้องกังวลถึงเรื่องการสุกก่อนถึงปลายทาง ทำให้ทางเลือกในการขนส่งมากขึ้น เช่น การขนส่งทางเรือ ซึ่งมีค่าธรรมเนียมขนส่งถูกกว่าการขนส่งทางเครื่องบินเป็นอย่างมาก จึงเป็นการลดต้นทุนการผลิตทำให้สามารถแข่งขันในตลาดการค้าสากลได้ จะเห็นได้ว่าการรวมวิธีดังกล่าวจะเป็นแนวทางในการพัฒนาหาเทคโนโลยีทางเลือกใหม่เพื่อเพิ่มศักยภาพการส่งออกของผลไม้ที่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

ใช้กล้วยหอมทองอายุ 60 วันหลังการตัดหัวปลีจากสวนเกษตรกรในเขตตำบลบางเลน อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม โดยคัดเลือกกล้วยหอมทองที่มีขนาดความกว้างของผลประมาณ 3–4 cm ยาวประมาณ 16–18 cm และมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อผลประมาณ 100–120 g และสีของเปลือกกล้วยหอมทองมีความสม่ำเสมอภายในหวี แบ่งกล้วยหอมทองออกเป็นผลเดี่ยว ๆ ทั้งไว้จนน้ำยางหยุดไหล นำผลกล้วยหอมทองมาทำการทดลอง โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

1. ผลของการฉายรังสีแกมมาต่อการยืดอายุการสุกของกล้วยหอมทอง

นำผลกล้วยหอมทองที่เตรียมไว้ไปฉายรังสีแกมมา โดยใช้เครื่องฉายรังสี Gammator โดยมีต้นกำเนิดรังสีแกมมาเป็นโคบอลต์-60 ที่มี

อัตรารังสี 0.048 kGy/min ปริมาณ 0.5, 1, 1.5 และ 2 kGy แล้วนำไปวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30–32°C) และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลกล้วยหอมทอง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบริบูรณ์ (completely randomized design: CRD) ทำการทดลองความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ตัวอย่าง และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลกล้วยหอมทอง โดยใช้การวิเคราะห์ค่าสีเปลือกด้วยการใช้เครื่องวัดสี (วัดค่า CIE L*a*b*) วิเคราะห์ความแน่นเนื้อ ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) วิเคราะห์ความหวานด้วยเครื่องวัดความหวาน (hand refractometer) วิเคราะห์ปริมาณกรดมาลิกโดยวิธีการไทเทรต และวิเคราะห์ปริมาณแทนนิน (ดัดแปลงจากวิธีของ Hou *et al.*, 2003)

2. ศึกษาผลของการยืดอายุกล้วยหอมทองด้วยการฉายรังสี และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลกล้วยหอมภายหลังการบ่มด้วยสารกลุ่มเอทิลีน

นำกล้วยหอมทองมาฉายรังสีโดยกำหนดปริมาณรังสีตามผลที่ได้จากการทดลองที่ 1 โดยเลือกปริมาณรังสีที่สามารถยืดอายุการสุกของกล้วยหอมทองได้ดีและมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลกล้วยหอมทองที่ดีที่สุด จากนั้นนำไปวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30–32°C) เป็นเวลา 7 วัน แล้วนำมาบ่มด้วยสารกลุ่มเอทิลีน ตามกรรมวิธีดังนี้

1) นำกล้วยหอมทองจุ่มสารละลายอีทิลโฟนที่ความเข้มข้น 600 ppm แล้วผึ่งให้แห้ง จากนั้นนำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง

2) เตรียมสารละลายอีทีฟอนที่ความเข้มข้น 600 ppm ใส่ลงในกระบอกฉีดน้ำปริมาตร 50 mL ฉีดพ่นสารละลายอีทีฟอนลงบนผลกล้วยหอมทองให้ทั่ว ผึ่งให้แห้ง และนำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง

3) เตรียมถ่านแก๊สแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC₂) ปริมาณ 3 g ห่อด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ จากนั้นนำผลกล้วยหอมทองและแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เตรียมไว้ใส่ลงในลังกระดาษขนาด 23.50×32.07×25.08 cm ปิดลังให้สนิท และบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลกล้วยหอมทอง ภายหลังจากการบ่มผลกล้วยหอมทองด้วยสารกลุ่มเอทีลินเมื่อผลกล้วยมีสีผิวของเปลือกเป็นสีเหลืองทั้งหมด โดยการวิเคราะห์ค่าสีเปลือก วิเคราะห์ความแน่นเนื้อ วิเคราะห์ความหวาน วิเคราะห์ปริมาณกรดมาลิก และวิเคราะห์ปริมาณแทนนิน

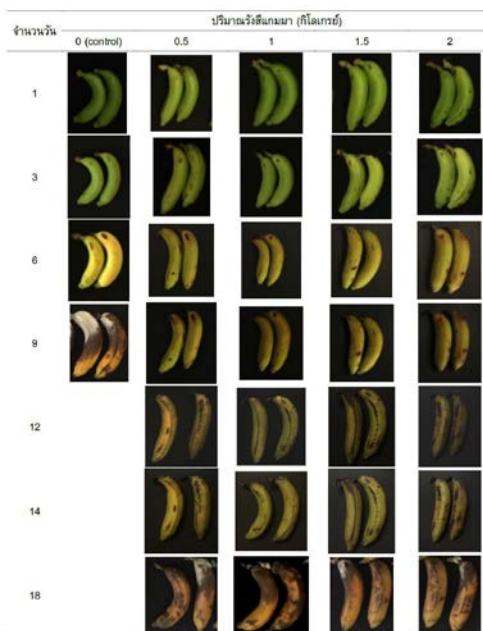
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลของการฉายรังสีแกมมาต่อการยืดอายุการสุกของกล้วยหอมทอง

จากการศึกษาพบว่า กล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการฉายรังสีแกมมา (control) เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30–32°C) จะสุกภายในวันที่ 6 ส่วนกล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 0.5, 1, 1.5 และ 2 kGy สุกภายในวันที่ 14 พร้อมกันรังสีแกมมา 0.5 และ 1 kGy ทำให้ผลกล้วยมีสีเหลืองและไม่มียอยสีน้ำตาลคล้ำ (เมื่อสุก) แต่ที่ 1.5 และ 2 kGy พบรอยสีน้ำตาลคล้ำเมื่อทิ้งไว้ระยะหนึ่งหลังการฉายรังสี (6–9 วัน) (ตาราง 1)

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลกล้วยหอมทองทุกปริมาณ

ตาราง 1 ผลของกล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ



ความเข้มข้นของรังสีในวันที่ 6 หลังการฉายรังสี (ตาราง 2) พบว่า การฉายรังสีทำให้ผลกล้วย (เมื่อสุก) มีค่าความสว่าง (L*) ของสีผลลดลงเมื่อเทียบกับ control ค่าสีเขียว (a*) ตีตกในกลุ่ม control แสดงว่าผลยังมีสีเขียว แต่การฉายรังสีจะทำให้ผลมีค่า a* สูงมาก แสดงว่าสีผลออกไปในโทนสีแดง เป็นไปได้ว่าอาจเกิดจากรอยคล้ำที่เกิดจากการฉายรังสี ส่วนผลกล้วยที่ผ่านการฉายรังสี (เมื่อสุก) จะมีค่าสีเหลืองใกล้เคียงกับ control โดยการฉายรังสีที่ 0.5 และ 1 kGy จะทำให้ค่าสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ที่ 1.5 และ 2 kGy ค่าสีเหลืองของผลกล้วยลดต่ำลง ซึ่งค่าที่ลดต่ำแสดงถึงโทนสีไปทางสีน้ำเงิน แสดงว่า การฉายรังสีที่อัตราต่ำจะทำให้สีผลมีสีเหลืองมากขึ้น แต่การฉายรังสีที่อัตราสูงสีผลจะออกไปทางสีคล้ำ (สีน้ำเงิน) มากขึ้น สำหรับความแน่นของเนื้อผล พบว่า การฉายรังสีทำให้ผล (เมื่อสุก) มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่ม

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา โดยวิเคราะห์หลังจากมีการฉายรังสีผ่านไปแล้ว 6 วัน

ปริมาณรังสี (kGy)	สี			ความแน่นเนื้อ (Force 1 g)	ความหวาน (°Brix)	ปริมาณกรด มาลิก (mg)	ปริมาณสาร แทนนิน (mg/mL)
	L*	a*	b*				
0	58.27±1.36 ^a	0.55±2.12 ^b	36.93±1.02 ^b	43.21±2.75 ^d	12.77±0.76 ^a	16.75±0.39 ^a	33.31±1.36 ^b
0.5	52.29±1.32 ^b	6.64±0.57 ^a	38.00±0.40 ^b	52.42±2.10 ^d	12.17±0.12 ^{ab}	13.96±0.78 ^b	41.26±1.13 ^a
1.0	56.03±1.85 ^{ab}	5.93±0.05 ^a	42.45±0.08 ^a	79.41±6.24 ^c	12.20±0.20 ^{ab}	12.95±0.40 ^{bc}	41.42±0.32 ^a
1.5	38.80±1.14 ^c	9.07±0.14 ^a	34.75±0.68 ^c	124.69±5.31 ^b	11.70±0.28 ^{ab}	12.17±0.45 ^{cd}	30.87±1.54 ^{bc}
2.0	29.24±2.36 ^d	8.05±0.32 ^a	30.81±0.81 ^d	151.56±2.29 ^a	11.00±0.20 ^b	10.94±0.11 ^d	28.25±1.00 ^c

L* คือ ค่าความสว่าง a* คือ ค่า + สีเป็นไปในทิศทางสีแดง ค่า - สีเป็นไปในทิศทางสีเขียว และ b* คือ ค่า + สีเป็นไปในทิศทางสีเหลือง ค่า - สีเป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันโดยวิเคราะห์ด้วย DMRT ($p \leq 0.05$)

มากขึ้นเมื่อเทียบกับ control ยิ่งเมื่อฉายรังสีในอัตราสูงค่าความแน่นก็ยิ่งมากขึ้น ที่อัตรา 1, 1.5 และ 2 kGy ของรังสี ค่าความแน่นเนื้อของผลมีค่าสูงกว่า control ประมาณ 1.8, 2.9 และ 3.5 เท่าตามลำดับ ในส่วนความหวานของผล พบว่า การฉายรังสีทำให้ค่าความหวานของผลลดลง โดยเฉพาะผลที่ฉายด้วยรังสีแกมมาที่อัตรา 1.5 และ 2 kGy และการฉายรังสีทำให้ปริมาณกรดมาลิกของผลกล้วย (เมื่อสุก) ลดลง โดยเฉพาะที่อัตราของรังสีสูง ๆ สำหรับรังสีแกมมาที่ปริมาณ 0.5 และ 1 kGy ทำให้ปริมาณแทนนินในผลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ที่ 1.5 และ 2 kGy กลับทำให้ปริมาณแทนนินลดต่ำกว่า control โดยเฉพาะที่ 2 kGy ปริมาณแทนนินลดต่ำกว่า control อย่างมีนัยสำคัญ ในการทดลองต่อไปจึงเลือกการฉายรังสีแกมมาที่ 1 kGy เพื่อทดสอบการยืดอายุกล้วยหอมทองและทดสอบการบ่มด้วยสารกลุ่มเอทิลีนต่อไป เนื่องจากรังสีแกมมา 1 kGy ไม่ทำให้ผลกล้วยมีรอยสีน้ำตาลคล้ำและมีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าการใช้รังสีแกมมาที่ 0.5 kGy

จากการศึกษาผลของการฉายรังสีแกมมาต่อการยืดอายุการสุกของกล้วยหอมทอง พบว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาสามารถ

ยืดอายุการสุกของกล้วยหอมทองได้เป็นเวลา 14 วันซึ่งต่างกับ Zaman *et al.* (2007) ที่รายงานว่าการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 0.3, 0.4 และ 0.5 kGy สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอม (*Musa sapientum*) ได้นานถึง 20 วัน โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25°C การที่กล้วยหอมทองในการทดลองนี้มีระยะเวลาการยืดอายุการสุกของกล้วยหอมน้อยกว่ารายงานของ Zaman *et al.* (2007) อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิห้องที่ใช้ในการเก็บกล้วยหอมภายหลังการฉายรังสี อยู่ระหว่างอุณหภูมิ 30–32°C อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า ดังนั้นอุณหภูมิภายนอกที่สูงจะเป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลทำให้เกิดการกระตุ้นการสร้างเอทิลีนมากขึ้น กล้วยหอมทองจึงสุกเร็วขึ้น จากการทดลองจะพบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 0.5 และ 1 kGy เท่านั้น ที่มีสีผิวเปลือกที่เหลืองและสภาพผิวเปลือกจะไม่มีรอยสีน้ำตาลคล้ำ เมื่อเทียบกับกล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1.5 และ 2 kGy ที่มีรอยสีน้ำตาลคล้ำและมีความแน่นเนื้อสูง ซึ่ง Mohapatra *et al.* (2010) พบว่าการฉายรังสีในปริมาณที่สูงกว่า 1 kGy อาจทำให้สีของเปลือกผลกล้วยเปลี่ยนแปลง เช่น เกิดรอยดำ เนื้อเยื่อเกิดการเสียหาย มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการ

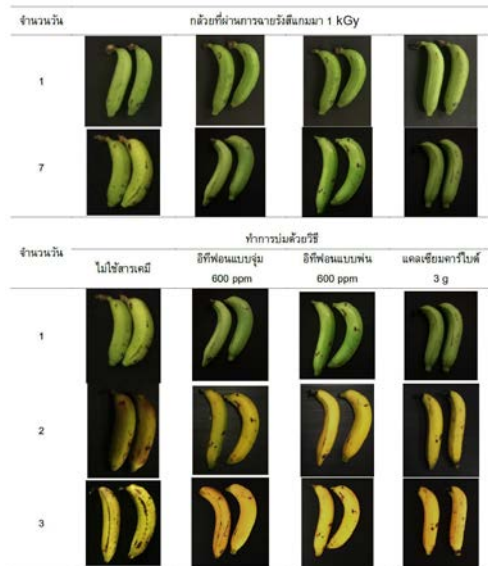
หายใจภายในผล และลดความไวต่อการทำปฏิกิริยากับเอทิลีนได้ นอกจากนี้ยังพบอีกว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1.5 และ 2 kGy มีปริมาณแทนนินต่ำกว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณอื่น ๆ ซึ่ง Coto *et al.* (2011) รายงานว่าแทนนินที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณ 5 kGy ขึ้นไป มีปริมาณแทนนินลดลง ทั้งนี้เนื่องจากรังสีแกมมาส่งผลให้หมู่ OH ของสารฟีนอลหลุดไปรวมกับพันธะ C–O–C ของแทนนิน จึงส่งผลให้โครงสร้างของแทนนินเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากโครงสร้างเดิม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลกล้วยหอมทองระหว่างกล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 0.5 และ 1 kGy จะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณ 1 kGy มีค่าสีเปลือกในส่วนสีเหลือง (b^*) สูงกว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณ 0.5 kGy นอกจากนี้ยังมีค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณความหวาน ปริมาณกรดมาลิกและปริมาณแทนนิน อยู่ในระดับที่ดีกว่า จึงคัดเลือกผลของกล้วยหอมที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1 kGy เพื่อไปศึกษาผลของการยืดอายุกล้วยหอมทองด้วยการฉายรังสี และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลกล้วยหอมภายหลังการบ่มด้วยสารกลุ่มเอทิลีนต่อไป

ผลของการยืดอายุกล้วยหอมทองด้วยการฉายรังสีแกมมา และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลกล้วยหอมภายหลังการบ่มด้วยสารกลุ่มเอทิลีน

ภายหลังการนำกล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1 kGy มาวางไว้ในห้องที่อุณหภูมิ (30–32°C) เป็นเวลา 7 วัน แล้วนำไปบ่มด้วยกรรมวิธีทั้ง 3 แบบ คือ การจุ่มผลกล้วย

ในสารละลายอีทีฟอนความเข้มข้น 600 ppm การพ่นสารละลายอีทีฟอนความเข้มข้น 600 ppm บนผลกล้วย และการบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ปริมาณ 3 g ซึ่งทั้ง 3 กรรมวิธีนี้จะทำให้ผลกล้วยสุกพร้อมกันภายหลังจากบ่มแล้ว 3 วัน (ตาราง 3)

ตาราง 3 กล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1 kGy และบ่มด้วยสารกลุ่มเอทิลีน



จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลกล้วยหอมทองหลังการบ่ม 3 วัน (ตาราง 4) พบว่า ผลกล้วยที่ฉายรังสี เมื่อนำมาบ่มทุกกรรมวิธี จะมีค่าความสว่างของผล (L^*) ค่าสีเขียว (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับ control โดยเฉพาะการบ่มด้วยการจุ่มด้วยอีทีฟอนความเข้มข้น 600 ppm จะทำให้ค่าความสว่างของสีเปลือกเพิ่มขึ้นมากที่สุด ในส่วนของค่าความแน่นเนื้อ พบว่า ผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีและไม่บ่มด้วยสารกลุ่มเอทิลีน มีความแน่นเนื้อสูงกว่าผลที่ฉายรังสีและผ่านการบ่มทุกกรรมวิธี สำหรับความ

หวาน พบว่า การบ่มด้วยสารกลุ่มเอทิลีนทำให้ความหวานของผลกล้วยเพิ่มมากขึ้นในทุกกรรมวิธี เช่นเดียวกับปริมาณกรดมาลิก พบว่าการบ่มกล้วยที่ผ่านการฉายรังสีและบ่มด้วยสารกลุ่มเอทิลีนในกรรมวิธีต่าง ๆ จะให้ปริมาณกรดมาลิกในผลกล้วย

เพิ่มขึ้นกว่าการไม่บ่ม ตรงกันข้ามกับผลของปริมาณแทนนิน กลับพบว่า การบ่มกล้วยที่ผ่านการฉายรังสีและบ่มด้วยสารกลุ่มเอทิลีนในทุกกรรมวิธีมีปริมาณแทนนินในผลกล้วยลดต่ำลงเมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารกลุ่มเอทิลีน

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1 kGy โดยวิเคราะห์หลังจากมีการฉายรังสีผ่านไปแล้ว 7 วัน และบ่มด้วยสารกลุ่มเอทิลีน จำนวน 3 วัน

ฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1 kGy แล้วบ่มด้วยสารกลุ่มเอทิลีน	สี			ความแน่นเนื้อ (Force 1 g)	ความหวาน (°Brix)	ปริมาณกรดมาลิก (mg)	ปริมาณสารแทนนิน (mg/mL)
	L*	a*	b*				
ไม่ใช้สารกลุ่มเอทิลีน	50.27±	7.98±	27.83±	700.17±	3.17±	9.16±	57.54±
	0.92 ^b	0.50 ^a	1.04 ^c	29.08 ^a	0.18 ^b	0.59 ^b	1.01 ^a
จุ่มสารละลายอีทีฟอน 600 ppm	55.79±	5.51±	51.77±	57.03±	12.53±	18.20±	40.90±
	0.69 ^a	0.84 ^b	3.00 ^a	2.29 ^b	0.19 ^a	0.95 ^a	2.65 ^b
พ่นสารละลายอีทีฟอน 600 ppm	55.53±	5.15±	39.69±	60.24±	12.70±	19.32±	37.90±
	1.77 ^a	0.82 ^b	0.80 ^b	1.87 ^b	0.10 ^a	0.40 ^a	2.78 ^b
แคลเซียมคาร์ไบด์ 3 g	57.42±	3.81±	39.67±	63.59±	12.70±	18.20±	40.25±
	0.62 ^a	0.89 ^b	4.03 ^b	3.67 ^b	0.00 ^a	0.56 ^a	5.24 ^b

L* คือ ค่าความสว่าง a* คือ ค่า + สีเป็นไปในทิศทางสีแดง ค่า - สีเป็นไปในทิศทางสีเขียว และ b* คือ ค่า + สีเป็นไปในทิศทางสีเหลือง ค่า - สีเป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันตามด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันโดยวิเคราะห์ด้วย DMRT ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลอง พบว่ากล้วยหอมทองสามารถกลับมาสุกได้ในระยะเวลา 3 วันและเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพได้ปกติ ซึ่งสอดคล้องกับการฉายรังสีที่ 20–40 กิโลแรด (krad) (100 แรด = 1 เกรย์) ในกล้วย 5 สายพันธุ์ ในอินเดียได้แก่ สายพันธุ์ Dwarf Cavendish, Giant Cavendish, Fill Basket, Red และ French Plantain พบว่า การฉายรังสีสามารถยับยั้งการสุกของกล้วยได้โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลกล้วย แต่หากฉายรังสีปริมาณสูงเกินกว่า 50 กิโลแรดทำให้ผลกล้วยได้รับอันตรายและผิวเปลือกมีสีคล้ำ อย่างไรก็ตามการเก็บรักษากล้วยภายหลังการฉายรังสีในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยืดอายุกล้วยให้ยาวนาน

ขึ้นด้วย (Thomas *et al.*, 1971) นอกจากนี้ยังพบว่า การฉายรังสีช่วยลดการเกิดเอทิลีนในกล้วยได้ ส่งผลให้ชะลอการสุกและยังช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้นได้ (Jung *et al.*, 2014; Mohapatra *et al.*, 2010)

หากนำการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1 kGy ไปใช้ฉายรังสีให้แก่กล้วยหอมทองเพื่อยืดอายุการสุกในระหว่างการขนส่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อไปได้ เนื่องจากตามมาตรฐานของ Codex General Standard กำหนดให้ปริมาณรังสีดูดกลืนสำหรับอาหารที่ผ่านการฉายรังสีต้องไม่เกิน 10 kGy เพราะปริมาณรังสีดังกล่าวได้รับการรับรองว่าปลอดภัยต่อผู้บริโภค และไม่ก่อปัญหาด้านโภชนาการและจุลชีววิทยา ซึ่งได้รับการยอมรับ

รับจากสมาชิกขององค์การอาหารและเกษตร (FAO) และองค์การอนามัยโลก (WHO) (Codex, 2003) ซึ่งในหลาย ๆ ประเทศการฉายรังสีในผักผลไม้ต่าง ๆ ได้นำมาใช้เพื่อชะลอการสุกและเพื่อลดความเสียหายขณะขนส่ง นอกจากนี้การฉายรังสียังสามารถใช้ในการควบคุมโรคและแมลงได้ (Prakash, 2016) อย่างไรก็ตามการนำการฉายรังสีแกมมาไปใช้ในการยืดอายุของกล้วยหอมทองก็ยังมีข้อจำกัดอีกหลายด้าน เช่น การลงทุนที่สูงสำหรับการสร้างโรงงานฉายรังสี และผู้บริโภคยังไม่ยอมรับการบริโภคอาหารที่ผ่านการฉายรังสี ดังนั้นหากในอนาคตสามารถแก้ปัญหาในเรื่องข้อจำกัดของการฉายรังสีดังกล่าวได้ การฉายรังสีเป็นกรรมวิธีหนึ่งที่น่าสนใจและสามารถนำมาช่วยยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองอีกวิธีหนึ่งได้

สรุปผลการวิจัย

ผลของการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 0.5, 1, 1.5 และ 2 kGy สามารถยืดอายุการสุกของกล้วยหอมทองได้นาน 14 วัน ที่อุณหภูมิห้อง กล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1.5 และ 2 kGy มีความแน่นเนื้อที่สูงที่สุด แต่สีเปลือกของกล้วยหอมทองมีรอยดำและสีคล้ำปรากฏขึ้น ส่วนกล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1 kGy มีค่าสีเปลือกในส่วนสีเหลือง (b*) สูงกว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณ 0.5 kGy และค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณความหวาน ปริมาณกรดมาลิก และปริมาณแทนนินอยู่ในระดับที่ดีกว่า จึงมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการฉายรังสีแกมมาต่อไป

เมื่อนำกล้วยหอมทองผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1 kGy วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็น

เวลา 7 วัน หลังจากนั้นนำมดด้วยสารกลุ่มเอทิลีนพบว่า การบ่มกล้วยหอมทองด้วยสารละลายอีทีฟอนทั้งแบบจุ่มและแบบพ่น และการบ่มโดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ สามารถทำให้กล้วยหอมทองกลับมาสุกพร้อมกันภายหลังจากการฉายรังสีโดยใช้ระยะเวลา 3 วัน และกล้วยสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพได้ปกติ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทางมหาลัราชภัฏนครปฐม ที่ได้ให้ทุนโครงการวิจัยเพื่อขอรับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยสู่ความเป็นเลิศเพื่อพัฒนาศักยภาพอาจารย์เข้าสู่ตำแหน่งทางวิชาการ และขอขอบคุณสำนักงานปรมาณเพื่อสันติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องฉายรังสีแกมมา

เอกสารอ้างอิง

- Boontem, P., and Artsanthia, J. (2020). Banana health benefits: Thai wisdom perspective. **APHEIT Journal of Nursing and Health**. 2(1): 20–29. (in Thai)
- Codex (2003). **General Standard for Irradiated Foods**. Codex standard 106–1983. Retrieved from http://Siweb.dss.go.th/standard/Fulltext/codex/CXS_106E.pdf, May 5, 2020.
- Coto, H. I., Barroso, S. S., Martínez, L. F., Guzmán, M. F., Díaz, R. O., Baeza, F. A., Arado López, J. O., Rapado P. M., and García F. (2011). Study of the gamma radiation effect on tannins samples. **Proceedings of VII International Symposium on Nuclear and Related Techniques. XIII Workshop on Nuclear Physics**.

- WONP–NURT. 217–221.
- Hou, W. C., Lin, R. D., Cheng, K. T., Hung, Y. T., Cho, C. H., Chen, C. H., Hwang, S. Y., and Lee, M.H. (2003). Freeradical–scavenging activity of Taiwanese native plant. **Phytomedicine** 10(2–3): 170–175.
- Jung, K., Yoon, M., Park, H. J., Lee, K. Y., Jeong, R. D., Song, B. S., and Lee, J. W. (2014). Application of combined treatment for control of *Botrytis cinerea* in phyto-sanitary irradiation processing. **Radiation Physics and Chemistry** 99: 12–17.
- Ketsa, S. (2006). Stimulation of fruit ripening. **The Journal of the Royal Institute of Thailand** 31(4): 1177–1186. (in Thai)
- Mohapatra, D., Mishra, S., and Sutar, N. (2010). Banana postharvest practices: Current status future prospects – A review. **Agricultural Review** 31(1): 56–62.
- Prakash, A. (2016). Particular applications of food irradiation fresh produce. **Radiation Physics and Chemistry** 129: 50–52.
- Strydom, G. J., and Whitehead, C. S. (1990). The effect of ionizing radiation on ethylene sensitivity and postharvest ripening of banana fruit. **Scientia Horticulturae** 41(4): 293–304.
- Thomas, R.; Dharkar, S. D., and Sreenivasan, A. (1971). Effect of gamma irradiation on the postharvest physiology of five banana varieties grown in India. **Journal of Food Science** 36: 243–247.
- Tobaramseekul, A. (2019). **Factors Affecting the Export Demand for Hom Thong Banana from Thailand to Japan**. Master of Economics (Business Economics), Major Field: Business Economics, Department of Applied Economics. (in Thai)
- Zaman, W., Paul, D., Alam, K., Ibrahim, M. and Hassan, P. (2007). Shelf life extension of banana (*Musa sapientum*) by gamma radiation. **Journal of Bio–Science** 15: 47–53.