

ผลของการฉายรังสีแกมมาในปริมาณต่ำต่อคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพื่อการส่งออก

Effect of Low-dose Gamma Irradiation on Quality of Mango cv. Nam Dok Mai Si Thong for export

พุฒิพงษ์ เพ็งฤกษ์^{1*}, พงษ์ศักดิ์ จินฤทธิ์¹, มลนิภา ศรีมาตรภิรมย์¹, ศิรภานต์ ศรีธัญรัตน์¹ และ สุกัญญา อินทร์สวัสดิ์²
Phuttipong Phangrerk^{1*}, Pongsak Jinarite¹, Monnipa Srimartpirom¹, Siragan Srithanyarat¹ and Sukanya Insawat²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพื่อการส่งออกและใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาด้านการกำจัดแมลงศัตรูพืชอีกด้วยวิธีการฉายรังสีต่อไป การศึกษาในครั้งนี้ใช้มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองจากสวนเกษตรกร ที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน GAP บรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูก เช่นเดียวกับการส่งออก จากนั้นนำมาฉายรังสีแกมมาที่ระดับปริมาณรังสี 200 300 และ 400 เกรย์ เปรียบเทียบกับมะม่วง ที่ ไม่ผ่านการฉายรังสี และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 14 วัน ผลการศึกษา พบว่าการฉายรังสีแกมมา ที่ระดับปริมาณรังสีที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงเพิ่มมากขึ้น โดยการฉายรังสีที่ระดับ 200 และ 300 เกรย์ มีผลต่อคุณภาพของมะม่วงไม่แตกต่างกับมะม่วงที่ไม่ผ่านการฉายรังสี มะม่วงมีลักษณะปรากฏภายนอกที่ดีและมีการสุกที่สม่ำเสมอ สามารถเก็บรักษาได้นาน 14 วัน การฉายรังสีที่ระดับ 400 เกรย์ ทำให้ ผลมะม่วงมีความแน่นเนื้อต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นภายหลังการฉายรังสี และเมื่อเก็บรักษาพบว่าเปลือกของผลมะม่วงมีจุดสีดำกระจายทั่วผลและมีการสุกที่ไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังพบการเกิดเนื้อเยื่อสีน้ำตาลภายในส่วนเนื้อผล มีลักษณะคล้ายเจล และมีรสชาติไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

คำสำคัญ: มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง, รังสีแกมมา, คุณภาพผล

Abstract

The objective of this research was to find the proper dose of gamma irradiation for quality preservation of mango fruit cv. Nam Dok Mai Si Thong for export to be used as basic information to further study for irradiation for disinfestation of quarantine pest. Mango (*Mangifera indica* L.) fruits cv. Nam Dok Mai Si Thong harvested from a commercial orchard certified by the Good Agriculture Practices (GAP), were packed in corrugated boxes as for export. Fruits were irradiated with 200, 300 and 400 Gy gamma irradiation compared with un-irradiated control mangoes and stored at 13±2°C, with 90-95 % relative humidity for 14 days. Results indicated that gamma irradiation at 400 Gy affected qualities of mangoes, while irradiation at 200 and 300 Gy did not cause any negative symptoms of mango fruits. No differences found between irradiated mangoes at low doses (200 and 300 Gy) and un-irradiated control. Irradiated mangoes and un-irradiated mangoes could be stored for 14 days. At 400 Gy, irradiated mango fruits had lowest firmness, after irradiation compared to other treatments. Moreover, irradiated mangoes at 400 Gy, resulted in black spots development on the peel of mangoes, causing uneven ripening. The internal tissue browning of the flesh was observed characterized by gel-like structure and tissue softening, leading to unacceptable taste by the consumers.

Keywords: Nam Dok Mai Si-Thong mangoes, gamma ray irradiation, fruit quality

คำนำ

นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 จนถึงปัจจุบัน สหรัฐอเมริกาได้อนุญาตนำเข้าผลไม้จากไทย 7 ชนิด ได้แก่ มะม่วง มังคุด เงาะ ลำไย ลิ้นจี่ สับปะรด และแก้วมังกร โดยกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA-APHIS) ได้กำหนดให้ฉายรังสีในปริมาณรังสีต่ำสุดที่ 400 เกรย์ ซึ่งเป็นระดับที่ครอบคลุมที่สุดเพื่อให้สามารถควบคุมการแพร่พันธุ์ของแมลงศัตรูพืชที่กักกันในระดับต่ำสุดที่สหรัฐอเมริกายอมรับ แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าผลการฉายรังสีผลไม้ทั้ง 7 ชนิด ในระดับ 400 เกรย์ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพ

¹ กรมวิชาการเกษตร 50 ถนน พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

¹ Department of Agriculture, 50 Paholayothin Road, Lad Yao district, Chatuchak, Bangkok 10900

² สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) สำนักงานสาขา ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง ปทุมธานี 12120

² Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization), Khlong ha, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

* Corresponding author: Phangrerk@hotmail.com

ของผลไม้บางชนิดโดยเฉพาะมะม่วง Frylinck *et al.* (1987) รายงานว่า รังสีแกมมามีผลต่อการเกิดอาการสีน้ำตาลของเนื้อมะม่วงพันธุ์ Kent และ Mahto, R. and Das, M. (2013) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และการมองเห็นของมะม่วงพันธุ์ Dushehri และ Fazli เมื่อได้รับปริมาณรังสีแกมมา ที่ระดับ 300-1,000 เกรย์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่า มะม่วงที่ได้รับปริมาณรังสีมีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลที่ช้าลงกว่าชุดควบคุม และมะม่วงอ่อนตัวทันทีหลังจากได้รับปริมาณรังสีแกมมาที่ 1,000 เกรย์ ในประเทศไทย ผ่องเพ็ญและคณะ (2554) ทำการฉายรังสีแกมมากับผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 โดยใช้ปริมาณรังสีที่ระดับมากกว่า 400 ± 600 เกรย์ พบว่า การฉายรังสีแกมมามีผลทำให้เลนติเซลได้รับความเสียหาย และสีเปลือกของมะม่วงมีการเปลี่ยนแปลงไปในระดับที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยความเสียหายจะมากขึ้นเมื่อมะม่วงได้รับรังสีแกมมาในปริมาณที่สูงขึ้น

จากปัญหาเรื่องคุณภาพดังกล่าวจึงทำให้ ประเทศไทยไม่มีการส่งออกมะม่วงฉายรังสีไปสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ปี 2551 จนถึงปัจจุบัน การฉายรังสีแกมมาในระดับการค้านั้น ปริมาณรังสีแกมมาที่มะม่วงได้รับในขณะฉายอยู่ระหว่าง 430-652 เกรย์ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของมะม่วงบนแท่นรองรับ สินค้าทำไหมมะม่วงที่อยู่ในแต่ละตำแหน่งได้รับปริมาณรังสีที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาผลของปริมาณรังสีแกมมาที่ระดับต่างๆ ต่อคุณภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองส่งออกในระหว่างการเก็บรักษา และวางจำหน่าย เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจัดการมะม่วงฉายรังสีแกมมา และใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการศึกษาด้านการกำจัดแมลงศัตรูพืชอีกด้วยด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมาประกอบการพิจารณาขอลดระดับปริมาณรังสีกับ USDA-APHIS เพื่อการส่งออกมะม่วงฉายรังสีจากประเทศไทยต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

เก็บเกี่ยวผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง จากสวนที่ปลูกเป็นการค้าและผ่านการรับรองมาตรฐาน GAP จากกรมวิชาการเกษตร ของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ส่งออกอำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก ระหว่างเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม 2562 เก็บเกี่ยวที่ความสุกแก่ 75-80 เปอร์เซ็นต์ คัดผลที่มีขนาด 300-500 กรัม นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดและแช่ในสารละลายไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลา 10 นาที เพื่อฆ่าเชื้อราที่ติดมากับผิวมะม่วง แล้วผึ่งให้แห้ง จากนั้นนำผลมะม่วงบรรจุใส่กล่องกระดาษลูกฟูกขนาด $28.5 \times 59.0 \times 14.0$ เซนติเมตร และมีรูระบายอากาศโดยรอบกล่อง กล่องละ 10-14 ผล (5 กิโลกรัม/กล่อง) วางแผนการทดลองแบบ split plot จัด main plot ในรูปแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) โดย main plot คือ ปริมาณรังสีที่ทำการศึกษ ได้แก่ 0 (control) 200 300 และ 400 เกรย์ sup plot คือ อายุการเก็บรักษาที่ 0 7 และ 14 วัน จำนวน 4 ซ้ำ ติดโดซิมิเตอร์บนกล่องที่บรรจุมะม่วง เพื่ออ่านค่าการกระจายของรังสีการวางตำแหน่งกล่องมะม่วงสำหรับทดลองจะวางในตำแหน่งที่ได้รับปริมาณรังสีสูงสุด (maximum dose) เท่ากับ 652 เกรย์ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ได้จากการทำ dose mapping test แต่ละ carrier ของตู้ฉายรังสีโดยจัดวาง treatment carrier ละ 1 กล่อง filler carrier ละ 15 กล่อง รวม 16 กล่องต่อ carrier จากนั้นนำไปฉายรังสีด้วยเครื่องฉายรังสีแกมมาขนาดใหญ่อำนาจสูงสำหรับทางการค้า

หลังฉายรังสีนำไปเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิ $13 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงหลังจากได้รับปริมาณรังสีนาน 0 7 และ 14 วัน โดยบันทึกข้อมูลจากการสุ่มมะม่วงครั้งละ 5 ผล ดังนี้ การสูญเสียน้ำหนักโดยคำนวณจากปริมาณน้ำหนักก่อนและหลังการฉายรังสี ความแน่นเนื้อวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer ทำการวัดทั้ง 2 ด้านของผลมะม่วง สีผิวผลมะม่วงทำการวัดด้วยเครื่อง Komica Minol TA รุ่น CR-10 Plusert ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ วัดด้วยเครื่อง Refractometer Atago PAL-BX ACID 1 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ วัดด้วยเครื่อง Titrator mettler toledo DL53 Titrator การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏภายนอกและภายในพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ผิวผลมะม่วง การประเมินความชอบโดยรวมของมะม่วงประเมินจากการชิมโดยให้คะแนนตามเกณฑ์ 9-point hedonic scale ของ Peryam, D.R. and Pilgrim, F.J. (1957)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาระดับปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง พบว่า **เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก** ไม่พบความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักจากทุกกรรมวิธีที่ทำการศึกษ แต่พบว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยวันที่ 7 ของการเก็บรักษา มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ย เท่ากับ 7.54 เปอร์เซ็นต์ และวันที่ 14 ของการเก็บรักษา เท่ากับ 13.89 เปอร์เซ็นต์ (Table 1) เป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก เมื่อผลไม้มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวมากขึ้นจะทำให้ผลไม้มีน้ำหนักที่ลดลงเนื่องจากเกิดการหายใจและการคายน้ำของผลไม้ (Kader, 1985)

ความแน่นเนื้อ หลังจากการฉายรังสีแล้วพบว่า ความแน่นเนื้อมีความแตกต่างกันในทุกกรรมวิธี โดยที่ระดับปริมาณรังสีที่ 400 เกรย์ มีค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุด เท่ากับ 8.81 นิวตัน แสดงให้เห็นว่าในระดับ 400 เกรย์ ผลมะม่วงมีความนิ่มมากที่สุด ในขณะที่มะม่วงที่ผ่านการฉายรังสีที่ระดับ 200 และ 300 เกรย์ มีค่าความแน่นเนื้อ 21.47 และ 14.14 นิวตันตามลำดับ ส่วนมะม่วงที่ไม่ผ่านการฉายรังสีมีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด 31.57 นิวตัน แต่เมื่อวัดค่าความแน่นเนื้อในระยะ

การเก็บรักษาที่ 7 และ 14 วัน ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (Table 2) เนื่องจากผลมะม่วงมีการสุกเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่ใกล้เคียงกันในแต่ละกรรมวิธี ซึ่งค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงลดลงตามจำนวนวันหลังการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มมากขึ้น เป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของผลไม้ เมื่อผลไม้มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวมากขึ้นจะทำให้ผลไม้มีรส (คักยะ และคณะ, 2555)

การเปลี่ยนแปลงค่าสี การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมะม่วงพบว่า มะม่วงมีการพัฒนาสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อระดับปริมาณรังสีที่สูงขึ้นและอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยสอดคล้องกับการลดลงของค่าความสว่าง (L^*) การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) โดยพบว่า ค่าความสว่างของผลมะม่วงที่ไม่ได้รับปริมาณรังสีมีค่าเฉลี่ยความสว่างมากที่สุดเท่ากับ 71.62 แตกต่างกับมะม่วงที่ได้รับปริมาณรังสี เนื่องจากสีผิวของมะม่วงที่ไม่ได้ฉายรังสีจะเข้มขึ้น (Table 3) การเปลี่ยนแปลงค่า a^* พบความแตกต่างเมื่อระดับปริมาณรังสีเพิ่มสูงขึ้นและระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นค่า a^* จะเพิ่มขึ้นโดยมะม่วงที่ได้รับปริมาณรังสีที่ 400 เกรย์ มีค่าเฉลี่ย a^* สูงสุดเท่ากับ 15.52 ซึ่งหมายความว่า มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองหลังฉายรังสีเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นสีผิวมีสีไปทางแดงสีแดงมากขึ้น (Table 4) เนื่องจากเลนติเซล (lenticel) ได้รับความร้อนจากรังสีก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นจุดสีดำเพิ่มมากขึ้น ความสว่างลดลง ทำให้การพัฒนาสีแดงหรือสีเหลืองมีความโดดเด่นเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏที่เห็นได้ด้วยตา (ปรางค์ทิพย์ และพินิต, 2551) การเปลี่ยนแปลงค่า b^* เพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับปริมาณรังสีสูงขึ้นและระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยมะม่วงที่ได้รับปริมาณรังสีที่ 400 เกรย์ มีค่าเฉลี่ย b^* สูงสุดเท่ากับ 39.75 ซึ่งหมายความว่าผลมะม่วงมีการเปลี่ยนแปลงสีผิวเป็นสีเหลืองมากกว่ากรรมวิธีอื่น หรือมีการสุกมากกว่ากรรมวิธีอื่น (Table 5) Tucker (1993) ได้รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อของผลจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้นเมื่อมะม่วงมีอายุของผลเพิ่มขึ้น เป็นเพราะว่าในระหว่างการสุกของผลมะม่วงมีการสังเคราะห์ เบต้าแคโรทีนมากขึ้น และเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์มากขึ้นเช่นกัน โดยจะเห็นได้จากสีเนื้อของผล มะม่วงที่มีการเปลี่ยนสีจากสีเขียวครีมเป็นสีเหลืองและสีเหลืองเข้ม ซึ่งให้ผลการศึกษาคล้ายคลึงกับมะม่วงหลายสายพันธุ์ เช่น Carabao และ Tommy Atkins (Lizada, 1991)

การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏภายนอก มะม่วงที่ผ่านการฉายรังสีที่ระดับ 400 เกรย์ เมื่อเก็บรักษานาน 14 วันพบว่า มีจุดสีดำของเลนติเซลเกิดขึ้นที่ผิวมะม่วงประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ผลมะม่วง ในขณะที่ไม่พบอาการดังกล่าวในมะม่วงกรรมวิธีอื่น (Figure 1) ซึ่งสอดคล้องกับ อภิรติ และคณะ (2552) รายงานว่าเมื่อฉายรังสีแกมมาที่มะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่ระดับปริมาณรังสีสูงและระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ทำให้เลนติเซลบริเวณผิวเปลือกมะม่วงได้รับความเสียหายและเกิดปื้นสีน้ำตาล (brown stain) เข้มมากขึ้น ในการทดลองครั้งนี้ พบการเกิดโรคแอนแทรคโนส เพียง 1 ผลที่ได้รับปริมาณรังสีที่ระดับ 300 เกรย์ หลังได้รับปริมาณรังสีนาน 14 วัน ซึ่งไม่ใช่ผลกระทบจากการฉายรังสีซึ่ง ผ่องเพ็ญ และคณะ (2553) ได้ทำการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 400 ± 10 เกรย์ กับมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 พบว่า สามารถช่วยชะลอการเกิดโรคแอนแทรคโนสและโรคช้ำผลเน่าได้

การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏภายใน มะม่วงที่ผ่านการฉายรังสีที่ระดับ 400 เกรย์ เมื่อเก็บรักษานาน 14 วันพบว่า มะม่วงมีความสุกที่ไม่สม่ำเสมอ และพบการเกิดสีน้ำตาลขอบเนื้อเยื่อประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่เนื้อผลมะม่วง เนื้อมะม่วงมีลักษณะคล้ายเจล และนิ่ม ส่วนมะม่วงที่ไม่ได้รับปริมาณรังสีและรับปริมาณรังสีที่ 200 และ 300 เกรย์ เมื่อเก็บรักษานาน 14 วัน พบการเกิดสีน้ำตาลเพียงเล็กน้อยซึ่งไม่มีผลต่อการบริโภค (Figure 2)

ค่าคะแนนความชอบโดยรวมของผู้บริโภค จากผู้ทดสอบจำนวน 10 คน โดยประเมินจากการชิม ให้คะแนนตามเกณฑ์ 9-point hedonic scale พบว่า ค่าคะแนนความชอบโดยรวมจะลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น โดยมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ไม่ได้รับปริมาณรังสี และที่รับปริมาณรังสี 200 เกรย์ เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเมื่อเก็บรักษานานไม่เกิน 14 วัน โดยที่เนื้อมะม่วงมีความสุกที่สม่ำเสมอ สีของเนื้อมะม่วงไม่มีความแตกต่างกัน มะม่วงที่รับปริมาณรังสี 300 เกรย์ เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเมื่อเก็บรักษานานไม่เกิน 7 วัน หากเก็บรักษานานเกินไปมะม่วงจะสุกและเนื้อนิ่มมากขึ้น ส่วนมะม่วงที่รับปริมาณรังสี 400 เกรย์ เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเมื่อเก็บรักษานานไม่เกิน 7 วัน หากเก็บรักษานานขึ้นเนื้อมะม่วงจะมีลักษณะคล้ายเจล เนื้อนิ่ม และมีรสชาติจืด เช่นเดียวกับ ทรงศิลป์ และคณะ (2553) ระดับปริมาณรังสีที่ 300 และ 400 เกรย์ เมื่อเก็บรักษาที่ 14 วัน ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเนื่องจากลักษณะ เนื้อผลมะม่วงมีลักษณะคล้ายเจล รสชาติจืด มีความสุกที่ไม่สม่ำเสมอ

คุณภาพทางเคมี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ในทุกกรรมวิธีที่ทำการศึกษาแต่พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นจะมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะสูงขึ้น โดยหลังจากการฉายรังสีและเก็บรักษานาน 7 และ 14 วัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เฉลี่ย (Table 6) คักยะ และคณะ (2555) รายงานว่า ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมะม่วงมีความสุกเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ มะม่วงที่ผ่านการฉายรังสีที่ระดับ 400 เกรย์ มีค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ต่ำกว่า control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกับ 200 และ 300 เกรย์ ในวันที่ 0 และ 7 วัน ในทุกระดับปริมาณรังสีไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 14 วัน และพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นมีค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลง (Table 7) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลไม้ที่เก็บรักษานานขึ้น ของแข็งที่ละลายน้ำได้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลงเล็กน้อย เนื่องจากผลไม้ได้นำเอากรดอินทรีย์และน้ำตาลที่เก็บสะสมอยู่ไปใช้ในกระบวนการหายใจเพื่อใช้ใน

การดำรงชีวิตขณะที่อยู่ในช่วงการเก็บรักษา จึงทำให้กรดมีปริมาณลดลง ประกอบกับผลไม้มีการสูญเสียน้ำไปบางส่วน ส่งผลให้ผลไม้มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีความเข้มข้นมากขึ้น (สายชล, 2528)

Table 1 Weight loss of Nam Dok Mai Si Thong mango fruit after gamma irradiation at 0 (control) 200 300 and 400 Gy and stored at 13 ± 2 °C with 90-95% RH for 7 and 14 days.

Radiation levels (Gy)	Storage Time*		M-Mean
	7	14	
0 (Control)	6.85	13.85	10.35 ^a
200	7.53	14.10	10.82 ^a
300	7.08	14.35	10.72 ^a
400	8.70	13.24	10.97 ^a
S-Mean**	7.54 ^A	13.89 ^B	10.71
CV (treatment) = 14.4 % CV (storage time) = 12.7 %			

*Means within the same column with the same lowercase letters are not significantly different at 95% confidence level as determined by DMRT.

**Means within the same row with the same capital letter are not significantly different at 95% confidence level as determined by LSD.

Table 2 Firmness of Nam Dok Mai Si Thong mango fruit after gamma irradiation at 0 (control) 200 300 and 400 Gy and stored at 13 ± 2 °C with 90-95% RH for 7 and 14 days.

Radiation levels (Gy)	Storage Time*			M-Mean
	0	7	14	
0 (Control)	31.57 ^a	4.99 ^a	1.75 ^a	12.77
200	21.47 ^b	6.34 ^a	2.48 ^a	10.10
300	14.14 ^{bc}	8.32 ^a	1.74 ^a	8.07
400	8.81 ^c	7.37 ^a	1.82 ^a	6.03
S-Mean**	19.01 ^C	6.75 ^B	1.95 ^A	9.24
CV (treatment) = 45.3 % CV (storage time) = 53.1 %				

*Means within the same column with the same lowercase letters are not significantly different at 95% confidence level as determined by DMRT.

**Means within the same row with the same capital letter are not significantly different at 95% confidence level as determined by LSD.

Table 3 Color lightness: L* Nam Dok Mai Si Thong mango fruit after gamma irradiation at 0 (control) 200 300 and 400 Gy and stored at 13 ± 2 °C with 90-95% RH for 7 and 14 days.

Radiation levels (Gy)	Storage Time*			M-Mean
	0	7	14	
0 (Control)	74.37	71.99	68.51	71.62 ^a
200	73.48	70.81	67.67	70.65 ^b
300	73.68	70.71	67.54	70.64 ^b
400	73.32	70.52	67.27	70.37 ^b
S-Mean**	73.72 ^A	71.01 ^B	67.73 ^C	70.82
CV (treatment) = 1.7% CV (storage time) = 1.2%				

*Means within the same column with the same lowercase letters are not significantly different at 95% confidence level as determined by DMRT.

**Means within the same row with the same capital letter are not significantly different at 95% confidence level as determined by LSD.

Table 4 The color a* of Nam Dok Mai Si Thong mango fruit after gamma irradiation at 0 (control) 200 300 and 400 Gy and stored at 13±2 °C with 90-95% RH for 7 and 14 days.

Radiation levels (Gy)	Storage Time*			M-Mean
	0	7	14	
0 (Control)	13.53	14.47	16.15	14.72 ^b
200	13.11	14.63	16.85	14.86 ^b
300	13.05	14.92	17.23	15.07 ^a
400	13.53	15.20	17.83	15.52 ^a
S-Mean**	13.31 ^C	14.81 ^B	17.02 ^A	15.04

CV (treatment) = 7.7% CV (storage time) = 6.5%

*Means within the same column with the same lowercase letters are not significantly different at 95% confidence level as determined by DMRT.

**Means within the same row with the same capital letter are not significantly different at 95% confidence level as determined by LSD.

Table 5 The color b* of Nam Dok Mai Si Thong mango fruit after gamma irradiation at 0 (control) 200 300 and 400 Gy and stored at 13±2 °C with 90-95% RH for 7 and 14 days.

Radiation levels (Gy)	Storage Time*			M-Mean
	0	7	14	
Control	36.11	38.79	39.86	38.25 ^b
200	35.36	38.85	40.94	38.38 ^b
300	35.08	39.58	41.95	38.87 ^b
400	35.87	40.22	43.15	39.75 ^a
S-Mean**	35.61 ^C	39.36 ^B	41.48 ^A	38.81

CV (treatment) = 3.4% CV (time for keep) = 3.7%

*Means within the same column with the same lowercase letters are not significantly different at 95% confidence level as determined by DMRT.

**Means within the same row with the same capital letter are not significantly different at 95% confidence level as determined by LSD.

Table 6 Total soluble solids (TSS) of Nam Dok Mai Si Thong mango fruit after gamma irradiation at 0 (control) 200 300 and 400 Gy and stored at 13±2 °C with 90-95% RH for 7 and 14 days.

Radiation levels (Gy)	Storage Time*			M-Mean
	0	7	14	
Control	15.56	15.95	16.06	15.86 ^a
200	15.02	15.75	16.48	15.75 ^a
300	14.25	15.54	15.95	15.25 ^a
400	14.87	16.13	16.55	15.85 ^a
S-Mean**	14.93 ^B	15.84 ^A	16.26 ^A	15.68

CV (treatment) = 4.9% CV (time for keep) = 4.6%

*Means within the same column with the same lowercase letters are not significantly different at 95% confidence level as determined by DMRT.

**Means within the same row with the same capital letter are not significantly different at 95% confidence level as determined by LSD.

Table 7 Titratable acidity (TA) of Nam Dok Mai Si Thong mango fruit after gamma irradiation at 0 (control) 200 300 and 400 Gy and stored at $13\pm 2^{\circ}\text{C}$ with 90-95% RH for 7 and 14 days.

Radiation levels (Gy)	Storage Time*			M-Mean
	0	7	14	
Control	1.73 ^a	1.27 ^a	0.55 ^a	1.18
200	1.47 ^{ab}	1.11 ^{ab}	0.41 ^a	1.00
300	1.40 ^{ab}	1.08 ^{ab}	0.35 ^a	0.94
400	1.24 ^b	0.83 ^b	0.24 ^a	0.77
S-Mean**	1.46	1.07	0.39	0.96

CV (treatment) = 18.5% CV (time for keep) = 26.4%

*Means within the same column with the same lowercase letters are not significantly different at 95% confidence level as determined by DMRT.

**Means within the same row with the same capital letter are not significantly different at 95% confidence level as determined by LSD.

**Figure 1** The external appearance of unirradiated and irradiated Nam Dok Mai Si Thong mango fruit with different dose of gamma ray after storage at $13\pm 2^{\circ}\text{C}$ with 90-95% RH for 14 days.**Figure 2** The external appearance of unirradiated and irradiated Nam Dok Mai Si Thong mango fruit with different dose of gamma ray after storage at $13\pm 2^{\circ}\text{C}$ with 90-95% RH for 14 days.

สรุป

ระดับปริมาณรังสีที่ทำการทดสอบมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วง พบว่าเมื่อระดับปริมาณรังสีที่เพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพโดยการฉายรังสีที่ระดับ 200 และ 300 เกรย์ มีผลต่อคุณภาพของมะม่วง ไม่แตกต่างกับมะม่วงที่ไม่ฉายรังสี และสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $13\pm 2^{\circ}\text{C}$ ได้นาน 14 วัน โดยที่มะม่วงมีลักษณะปรากฏที่ดีและมีการสุกสม่ำเสมอ ส่วนที่ระดับปริมาณรังสีที่ 400 เกรย์ พบจุดสีดำของเลนติเซลกระจายทั่วผล สีเปลือกมีสีเหลืองอ่อนไม่เข้ม เมื่อผลสุกมะม่วงสุกไม่สม่ำเสมอ และพบการเกิดสีน้ำตาลภายในผล เนื้อมะม่วงมีลักษณะคล้ายเจล เนื้อนุ่ม รสชาติจืด และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นระดับปริมาณรังสีที่ 200 และ 300 เกรย์ จึงเป็นระดับปริมาณรังสีที่มีความเหมาะสมสำหรับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองส่งออก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กรมวิชาการเกษตร ที่สนับสนุนงบประมาณจากเงินรายได้จากการดำเนินงานวิจัยด้านการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ dosimeter และเครื่องฉายรังสีแกมมาขนาดใหญ่สำหรับทางการค้า ตลอดจนเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

เอกสารอ้างอิง

- ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย, ผ่องเพ็ญ จิตอารีรัตน์, อภิรติ อุทัยรัตนกิจ, วาริช ศรีละออง, อรพิน เกิดชูชื่น และ ญัฏฐา เล่าหลุยจัตต์. 2553. การศึกษาการใช้น้ำร้อนและการใช้รังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4. วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร 40 (3/1) (พิเศษ): 561-564.
- ปรารค์ทิพย์ ไชยสรณะ และ พินิตร์ พันธุ์สุวรรณ. 2551. ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของ เปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงฟ้าลั่น. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ผ่องเพ็ญ จิตอารีรัตน์ และ อภิรติ อุทัยรัตนกิจ. 2554. ผลของรังสีแกมมาที่ปริมาณสูงต่อคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4. วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร 42 (1) (พิเศษ): 251-254.
- ศักยะ สมบัติไพรวัน, เทวรัตน์ ตรีอำรรค และ กระวี ตรีอำรรค. 2555. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยว. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 18 (1): 52-58.
- สายชล เกตุษา. 2528. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะเกษตร ภาควิชาพืชสวน, นครปฐม.
- อภิรติ อุทัยรัตนกิจ, ผ่องเพ็ญ จิตอารีรัตน์, ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย, วาริช ศรีละออง, อรพิน เกิดชูชื่น และ ญัฏฐา เล่าหลุยจัตต์. 2552. การลดความเสียหายของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ลำไยพันธุ์ดอ และมังคุดฉายรังสีแกมมาสำหรับตลาดสหรัฐอเมริกา (รายงานฉบับสมบูรณ์). สายวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ม.กรุงเทพฯ. 226 หน้า.
- Frylinck, L., I. A. Dubery and J. C. Schabert. 1987. Biochemical changes involved in stress response and ripening behavior of gamma-irradiated mango fruit. *Phytochemistry* 26: 681-686.
- Kader, A.A. 1985. Modified Atmospheres and Low-pressure Systems during Transport and Storage. pp. 58-64. In A.A. Kader, R.F. Kasmire, F.G. Mitchell, M.S. Reid, N.F. Sommer and J.F. Thompson. ,eds. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Cooperative Extension, Special Publication 3311, University of California, Davis, California.
- Lizada, M.C.C. 1991. Postharvest physiology of the mango. A Review. *Acta Horticulturae* 291: 411-412.
- Mahto, R. and M. Das. 2013. Effect of gamma irradiation on the physico-chemical and visual properties of mango (*Mangifera indica* L.), cv. 'Dushehri' and 'Fazli' stored at 20 °C. *Postharvest Biology and Technology* 86: 447-455.
- Peryam, D.R. and F.J. Pilgrim. 1957. Hedonic scale method of measuring food preferences. *Food Technology* 11: 9-14.
- Tucker, G. A. 1993. *Biochemistry of fruit ripening*. Chapman & Hall, London.