วารสารผลิตกรรมการเกษตร
JOURNAL OF AGRICULTURAL PRODUCTION
MJU

ผลของรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโต ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และปริมาณสารเคอร์คิวมินของขมิ้นชัน

The Effect of Gamma Irradiation on Growth, Morphological Characteristics and Curcumin Content of Turmeric (*Curcuma longa* L.)

เทิดศักดิ์ โทณลักษณ์[1*] ปัทมา หาญนอก[2] และ กิตติคุณ พระกระจ่าง[3]

Therdsak Thonnalak[1] Pattama Hannok[2] and Kittikhun Prakrajang[3]

[1] สาขาวิชาวิทยาการสมุนไพร คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

[1] Medicinal Plant Science Program, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50200

[2] สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

[2] Agronomy Program, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50200

[3] สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

[3] Applied Physics Program, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50200

* Corresponding author: th.thonnalak@gmail.com

(Received: 30 November 2022; Revised: 21 December 2022; Accepted: 6 January 2023)

Abstract

The study investigates the effect of gamma irradiation on germination and survival percentage of rhizome shoot after 8 weeks of exposure. The gamma ray at 0 to 200 Gray doses was emitted from the Cobalt-60 source at Applied Physics Program, Faculty of Science, Maejo University, Chiangmai, Thailand. The results showed that dosages of gamma radiation to obtain lethal dose 50 (LD_{50}), base on survival percentage was 50.24 Gray. After that, the effect of gamma rays on growth, morphological characteristics and curcumin content of *Curcuma longa* rhizomes treated with gamma rays at eleven different dosages (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 and 50 Gray) were studies at Maejo University Farm, Chiangmai, Thailand, during the period from 2018 to 2019. The results showed that the

gamma more than 10 Gray dose decreased the pseudostem height and number of shoots, more than 35 Gray doses decreased leaf length. The highest average number of leaves obtained by 0, 20 and 30 Gray doses. The rhizome harvested after 32 weeks of exposure showed the rays more than 40 Gray doses decreased rhizome fresh weight, more than 50 Gray doses decreased the dry weight and more than 30 Gray doses decreased curcumin content. In addition, the results showed that all doses caused some morphological variations such as dwarfism character, leaf chlorosis, twisted leaf margin, wrinkled leaves, abnormal storage roots and small size of rhizome.

Keywords: Turmeric, gamma ray, growth, morphology

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของรังสีแกมมาต่อเปอร์เซ็นต์การงอกและการรอดชีวิตของขมิ้นชัน หลังจากได้รับรังสีเป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยนำเหง้าขมิ้นชันไปฉายรังสีแบบเฉียบพลันด้วยเครื่องฉายรังสีแกมมาที่มีโคบอลต์-60 เป็นต้นกำเนิดรังสี ที่ระดับ 0 ถึง 200 เกรย์ ณ สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าระดับรังสีแกมมาที่ทำให้เหง้าขมิ้นชันมีอัตราการงอกและการรอดชีวิต 50 เปอร์เซ็นต์ (Lethal Dose 50; LD_{50}) เท่ากับ 50.24 เกรย์ จากนั้นศึกษาผลของรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโต ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และปริมาณสารเคอร์คิวมินของขมิ้นชันที่ได้รับรังสีแกมมาแตกต่างกัน 11 ระดับ (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 เกรย์) โดยปลูกทดสอบ ณ สำนักฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างปี พ.ศ. 2561 ถึงปี พ.ศ. 2562 พบว่าการได้รับรังสีแกมมาตั้งแต่ระดับ 10 เกรย์ ส่งผลให้ความสูงของลำต้นเทียมและจำนวนหน่อของลดลง รังสีตั้งแต่ระดับ 35 เกรย์ ทำให้ความยาวใบลดลง แต่รังสีแกมมาทุกระดับของการทดลองไม่มีผลต่อความกว้างของใบ ในขณะที่รังสีแกมมาระดับ 0, 20 และ 30 เกรย์ ส่งผลให้ขมิ้นชันมีจำนวนใบสูงที่สุด และเมื่อเก็บเกี่ยวขมิ้นชันหลังได้รับรังสี 32 สัปดาห์ การได้รับรังสีแกมมาตั้งแต่ระดับ 40 เกรย์ ส่งผลให้ผลผลิตเหง้าสดของขมิ้นชันลดลง ส่วนน้ำหนักเหง้าแห้งลดลงต่ำที่สุดเมื่อได้รับรังสีระดับ 50 เกรย์ และปริมาณสารเคอร์คิวมินลดลงเมื่อได้รับรังสีแกมมาตั้งแต่ 30 เกรย์ นอกจากนี้ยังพบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของขมิ้นชันที่ได้รับรังสีแกมมา ได้แก่ ลำต้นเทียมแคระแกร็น กาบใบและลำต้นเทียมมีลักษณะผิดปกติ ขอบใบม้วนงอ ผิวใบย่นไม่เรียบ ลักษณะใบด่าง เหง้ามีขนาดเล็ก และพบรากสะสมอาหารขนาดใหญ่

คำสำคัญ: ขมิ้นชัน รังสีแกมมา การเจริญเติบโต สัณฐานวิทยา

คำนำ

ขมิ้นชัน (turmeric) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Curcuma longa* L. เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในวงศ์ Zingiberaceae มีลำต้นแท้อยู่ใต้ดินเรียกว่าเหง้า (rhizome) เนื้อภายในเหง้ามีสีเหลืองถึงสีส้ม นำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมสีผสมอาหาร เครื่องเทศ เภสัชกรรม และเครื่องสำอาง (Li *et al*., 2011 and Ayer, 2017) จึงเป็นหนึ่งในพืชสมุนไพรและเครื่องเทศที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ มีการผลิตและใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในประเทศอินเดีย และประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Mirjanaik and Vishwanath, 2020) สำหรับประเทศไทย กระทรวงสาธารณสุขได้คัดเลือกขมิ้นชันเข้าอยู่ในบัญชียาหลักแห่งชาติเพื่อรักษาอาการแน่นจุกเสียด เนื่องจากอาหารไม่ย่อย และมีรายงานว่าขมิ้นชันสามารถช่วยขับน้ำดี ฆ่าเชื้อรา และแบคทีเรีย แก้อักเสบและต่อต้านเชื้อไข้หวัดใหญ่ (กระทรวงสาธารณสุข, 2555) ทำให้เป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่งที่ได้รับการยอมรับและมีศักยภาพในการต่อยอดเชิงพาณิชย์ ในส่วนของภาครัฐมีการส่งเสริมและสนับสนุนให้โรงพยาบาลต่าง ๆ ใช้ยาที่มาจากสมุนไพรเพิ่มมากขึ้น ซึ่งยาขมิ้นชันถูกเบิกใช้มากที่สุด ในกลุ่มยาสมุนไพรจากบัญชียาหลักแห่งชาติประมาณ 590,000 ครั้งต่อปี (Sungkajorn *et al*., 2021) ข้อมูลของกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ในปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกขมิ้นชัน 2,992.51 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 1,700 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตรวม 5,085 ตัน มีปริมาณการส่งออก 1,231.9 ตัน รวมมูลค่ากว่า 87.3 ล้านบาท โดยแหล่งผลิตขมิ้นชันที่สำคัญ ได้แก่ กาญจนบุรี (1,482.95 ไร่) ตาก (716.00 ไร่) สุราษฎร์ธานี (70.16 ไร่) ปราจีนบุรี (68.50 ไร่) แม่ฮ่องสอน (60.45 ไร่) ลพบุรี (52.12 ไร่)

ปัจจุบันการปรับปรุงพันธุ์ขมิ้นชัน มีความมุ่งหวังให้ได้ขมิ้นชันพันธุ์ใหม่ที่มีผลผลิตสูง รวมทั้งมีปริมาณสารเคอร์คิวมินและน้ำมันหอมระเหยสูงร่วมด้วย การปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีผสมพันธุ์นั้นทำได้ยาก เนื่องจากความผิดปกติทางด้านพันธุกรรมของขมิ้นชันซึ่งเป็นพืชทริพพลอยด์ (triploid) มีจำนวนโครโมโซม 2n=3X=63 โดยโครโมโซมพื้นฐานของพืชในสกุล *Curcuma* มีจำนวน X=21 (Bhadra and Bandyopadhyay, 2015; Bonna *et al*., 2021) ทำให้เกิดความผิดปกติระหว่างการเข้าคู่และแยกชุดโครโมโซมในระหว่างการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (Nair *et al*., 2010) เกิดลักษณะเป็นหมัน โอกาสได้ขมิ้นชันพันธุ์ใหม่จากการผสมเกสรเป็นไปได้น้อย (Ma and Gang, 2006; Pistellia *et al*., 2012) การปรับปรุงพันธุ์ขมิ้นชันส่วนใหญ่ถูกจำกัดอยู่เพียงการคัดเลือกต้นที่เกิดจากการผันแปรตามธรรมชาติ (Ayer, 2017) การปรับปรุงพันธุ์พืชโดยวิธีก่อการกลายพันธุ์ (mutation breeding) จึงถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้พืชพันธุ์ใหม่ที่มีลักษณะดี เช่น ผลผลิตสูง เก็บเกี่ยวเร็วขึ้น ไม่ไวต่อช่วงแสง ทนทานต่อสภาวะเครียดจากสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต เป็นต้น (Chusreeaeom and Khamsuk, 2019) การชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์โดยใช้รังสีแกมมาเป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อเพิ่มความผันแปรทางพันธุกรรมอย่างกว้างขวาง รังสีแกมมาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมและจีโนม ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของพืช (Abdullah *et al*., 2018) มีการศึกษาในขมิ้นชัน พบว่ารังสีแกมมาระดับ 20 เกรย์ ส่งผลให้เกิดการกลายพันธุ์ให้มีลักษณะแตกต่างไปจากเดิม ได้แก่ โครงสร้างของต้น จำนวนหน่อ อายุการเก็บเกี่ยว ผลผลิต ปริมาณเคอร์คิวมินและโอลีโอเรซิน (Nandhini *et al*., 2007) และยังพบอีกว่าการเจริญเติบโตด้าน

ความสูงและปริมาณน้ำมันหอมระเหยลดลงเมื่อได้รับระดับรังสีเกินกว่า 50 เกรย์ (Ilyas and Naz, 2014) ในขณะที่เมื่อนำชิ้นส่วนตาที่เพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อไปฉายรังสีแกมมาเกินกว่าระดับ 5 เกรย์ ส่งผลให้ชิ้นส่วนตามีการพัฒนายอดลดลงตลอดจนมีการสร้างคลอโรฟิลล์ลดลงด้วยเช่นกัน (Priya *et al*., 2014)

การวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาระดับรังสีแกมมาที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารเคอร์คิวมินของขมิ้นชัน ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เกิดจากการได้รับรังสีแกมมา ทั้งนี้สำหรับใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาด้านการปรับปรุงพันธุ์ขมิ้นชันให้มีลักษณะทางการเกษตรที่ดี และมีปริมาณสารสำคัญสูงต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ระดับรังสีที่เหมาะสำหรับใช้ก่อการกลายพันธุ์

นำเหง้าขมิ้นชันจากแหล่งปลูกอำเภอฝางจังหวัดเชียงใหม่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ยาว 5.0 เซนติเมตร ล้างทำความสะอาดและผึ่งลมให้แห้ง นำไปฉายรังสีแบบเฉียบพลัน (acute irradiation) โดยใช้เครื่องฉายรังสีแกมมาที่มีโคบอลต์-60 เป็นต้นกำเนิดรังสี ที่ระดับต่าง ๆ กัน คือ 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 และ 200 เกรย์ นำเหง้าขมิ้นชันที่ได้รับรังสีแล้ว ปลูกลงในกระถางพลาสติกสีดำขนาด 12 นิ้ว โดยใช้วัสดุปลูกผสมดิน : แกลบดิบ : มูลวัว ในอัตราส่วน 2 : 1 : 1 จากนั้นรดน้ำให้ชุ่ม บันทึกการงอก และการรอดชีวิตหลังจากได้รับรังสี 8 สัปดาห์ นำมาคำนวณหาค่า Lethal Dose 50 (LD_{50})

2. ผลของรังสีแกมมาต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของขมิ้นชัน

นำเหง้าขมิ้นชันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ยาว 5.0 เซนติเมตร ล้างทำความสะอาดและผึ่งลมให้แห้ง นำไปฉายรังสีแกมมาที่ระดับ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 เกรย์ นำเหง้าขมิ้นชันที่ได้รับรังสีแล้ว ปลูกลงในกระถางพลาสติกสีดำขนาด 12 นิ้ว โดยใช้วัสดุปลูกผสมดิน : แกลบดิบ : มูลวัว ในอัตราส่วน 2 : 1 : 1 จากนั้นรดน้ำให้ชุ่ม ดูแลรักษาต้นขมิ้นชันตลอดระยะเวลาการปลูกทดลอง โดยระหว่างการปลูกกำจัดวัชพืชด้วยการถอนทิ้ง ให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ และให้ปุ๋ยอินทรีย์ครั้งละ 5 กรัมต่อต้น เดือนละ 1 ครั้ง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) จำนวน 11 สิ่งทดลอง สิ่งทดลองละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น บันทึกความสูงลำต้นเทียม (เซนติเมตร) เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเทียม (เซนติเมตร) จำนวนใบ (ใบ) ความกว้างและยาวของใบ (เซนติเมตร) จำนวนหน่อ (หน่อ) น้ำหนักเหง้าสดและแห้ง (กรัม) และลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา และตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistics 17.0

3. ผลของรังสีแกมมาต่อปริมาณเคอร์คิวมิน

วิเคราะห์เคอร์คิวมินโดยหั่นตัวอย่างเหง้าขมิ้นชันเป็นชิ้น นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บดให้ละเอียดเป็นผง ชั่งผงขมิ้นชันหนัก 0.3 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 10.0 มิลลิลิตร เติมเอทิลแอลกอฮอล์ (99.9 เปอร์เซ็นต์) 10.0 มิลลิลิตร เขย่าหลอดทดลองทุก 30 นาที เป็นเวลา 120 นาที นำสารละลายกรอง

ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ปรับปริมาตรด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ (99.9 เปอร์เซ็นต์) ให้เป็น 50.0 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายมา 1.0 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ (99.9 เปอร์เซ็นต์) เป็น 10.0 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร เทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐานเคอร์คิวมิน (curcumin standard) ความเข้มข้น 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 และ 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (Suthon, 2019) คำนวณปริมาณสารเคอร์คิวมินของสารละลายขมิ้นชันตัวอย่างจากสูตรต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณเคอร์คิวมิน (มิลลิกรัมต่อกรัม)} = \frac{C \times V_3 \times V_1}{1{,}000 \times W \times V_2}$$

โดยที่ V_1 = ปริมาตรเริ่มต้นของสารละลายตัวอย่าง (50.0 มิลลิลิตร)
V_2 = ปริมาตรที่ทำการปิเปต (1.0 มิลลิลิตร)
V_3 = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่นำมาปรับปริมาตร ก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (10.0 มิลลิลิตร)
W = น้ำหนักของขมิ้นชันที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)
C = ความเข้มข้นของเคอร์คิวมินที่เทียบได้จากกราฟมาตรฐาน

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. ระดับรังสีที่เหมาะสำหรับใช้ก่อการกลายพันธุ์

เมื่อนำเหง้าขมิ้นชันไปฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันที่ระดับ 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 และ 200 เกรย์ พบว่าขมิ้นชันงอก เจริญเติบโตและการรอดชีวิตหลังจากได้รับรังสี 8 สัปดาห์ เท่ากับ 100, 55, 45, 30, 10, 5, 5, 0 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 1) มีการรอดชีวิตลดลงเมื่อได้รับรังสีระดับที่สูงขึ้น เกิดจากการฉายรังสีแบบเฉียบพลัน ซึ่งเป็นการให้รังสีปริมาณสูงในระยะเวลาสั้น ทำให้พืชไม่มีโอกาสซ่อมแซมความเสียหายในช่วงที่ได้รับรังสี เกิดความผิดปกติของโครโมโซม ทำให้มีความเสียหายทางสรีรวิทยากับพืชค่อนข้างมาก รวมทั้งส่งผลให้ลดความสมบูรณ์เพศลดลง แต่อย่างไรก็ตามการได้รับรังสีรูปแบบนี้ก็มีข้อดีคือพืชมีอัตราการกลายพันธุ์ค่อนข้างสูง ส่วนที่กลายพันธุ์มีขนาดกว้าง ซึ่งง่ายต่อการคัดเลือกเอาลักษณะนั้น ๆ ออกมา (Devi and Chezhiyan, 2006 and Riviello-Flores *et al*., 2022) และเมื่อคำนวณหาค่า LD_{50} พบว่าระดับรังสีแกมมาที่ส่งผลให้ขมิ้นชันงอก เจริญเติบโต และมีการรอดชีวิตอยู่ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ หลังจากได้รับรังสี 8 สัปดาห์ คือ 50.24 เกรย์ (Figure 1) ซึ่งการทราบค่า LD_{50} ดังกล่าว มีความสำคัญอย่างมากกับงานปรับปรุงพันธุ์พืชโดยวิธีการใช้สารเคมีหรือรังสีก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ (Roslim *et al*., 2015; Riviello-Flores *et al*., 2022) พืชแต่ละชนิดมีความไวต่อรังสีแกมมาแตกต่างกัน (Ma'Arup *et al*., 2022) เช่น LD_{50} ของต้นอ่อนกล้วยอยู่ที่ระดับ 20 เกรย์ (Due *et al*., 2019) ในขณะที่หน่อกล้วยไม้อยู่ที่ระดับ 30 เกรย์ (Billore *et al*., 2019)

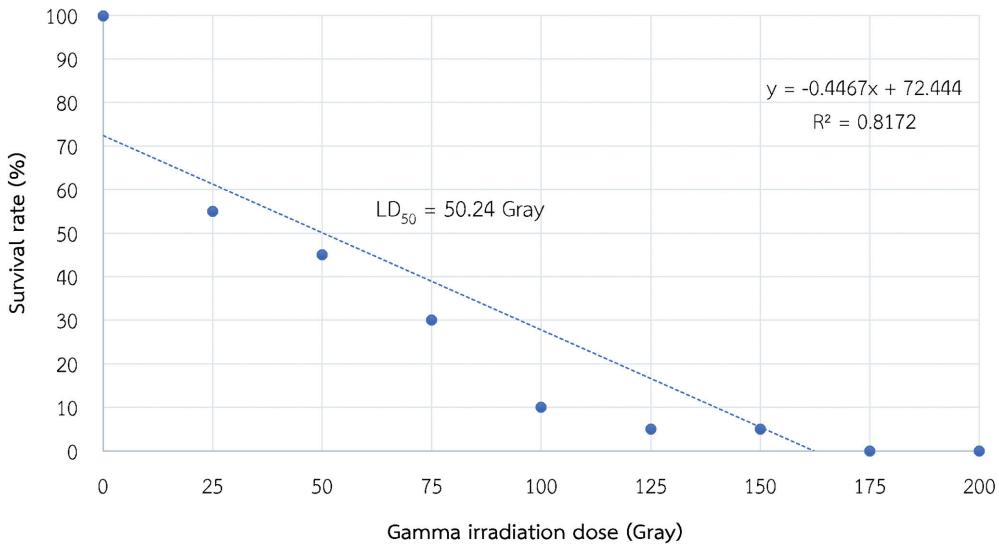

Figure 1 Radiosensitive test curve demonstrating the effect of different dose of gamma rays on survival rate of rhizome shoot after 8 weeks of exposure

2. ผลของรังสีแกมมาต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของขมิ้นชัน

จากการศึกษาผลของรังสีแกมมาระดับ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 เกรย์ ที่มีต่อการเจริญเติบโตหลังได้รับรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันและมีการรอดชีวิตเป็นเวลา 20 สัปดาห์ พบว่าเมื่อได้รับรังสีแกมมาตั้งแต่ระดับ 10 ถึง 50 เกรย์ ส่งผลให้ความสูงของลำต้นเทียม 38.32 ถึง 41.00 เซนติเมตร และจำนวนหน่อ 1.22 ถึง 3.92 หน่อ ซึ่งลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการไม่ได้รับรังสีแกมมาที่ให้ความสูงของลำต้นเทียม 43.27 เซนติเมตร และจำนวนหน่อ 4.54 หน่อ ในขณะที่การไม่ได้รับรังสีแกมมา และการได้รับรังสีแกมมาระดับ 0, 20 และ 30 เกรย์ ส่งผลให้มีจำนวนใบสูงที่สุด 12.10, 12.23 และ 11.87 ใบ ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการได้รับรังสีแกมมาที่ระดับอื่น ๆ ของการทดลอง ที่ให้จำนวนใบ 10.45 ถึง 11.21 ใบ แต่อย่างไรก็ตามการไม่ได้รับรังสีแกมมาหรือการได้รับรังสีที่ระดับ 5 ถึง 50 เกรย์ ไม่มีผลต่อความกว้างของใบขมิ้นชัน (Table 1) และการได้รับรังสีแกมมาระดับ 45 และ 50 เกรย์ ให้ผลผลิตเหง้าสดต่ำที่สุด 228.5 และ 230.25 กรัม ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการไม่ได้รับรังสีหรือได้รับรังสีระดับ 5 ถึง 40 เกรย์ ที่ให้น้ำหนักเหง้าสด 252.50 ถึง 287.25 กรัม ในขณะที่น้ำหนักเหง้าแห้งต่ำที่สุด 41.50 กรัม เมื่อได้รับรังสีแกมมา 50 เกรย์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการไม่ได้รับรังสีหรือได้รับรังสีระดับอื่น ๆ (Table 2) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางด้านการเจริญเติบโตที่เกิดขึ้นดังกล่าว เป็นผลมาจากการที่รังสีแกมมาเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับเซลล์ ซึ่งเกิดได้ทั้งด้านบวกและด้านลบ โดยปกติแล้วการได้รับรังสีระดับต่ำไม่ส่งผลให้เกิดอันตราย แต่เมื่อได้รับรังสีในระดับสูงขึ้น มักส่งผลไปในด้านลบ (Majeed *et al*., 2017) โดยมีรายงานการวิจัยว่ารังสีแกมมาตั้งแต่ระดับ 20 เกรย์ ส่งผลให้ขมิ้นชันมีจำนวนหน่อลดลง (Nandhini *et al*., 2007) ระดับรังสีมากกว่า

50 เกรย์ ทำให้การเจริญเติบโตด้านความสูงลดลง (Ilyas and Naz, 2014) ในขณะที่รังสีเกินกว่าระดับ 60 เกรย์ ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตลดลง (Devi and Chezhiyan, 2006)

เมื่อวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของขมิ้นชันที่ได้รับรังสีแกมมา พบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำต้นเทียมและใบของขมิ้นชัน เมื่อเปรียบเทียบกับต้นปกติที่ไม่ได้รับรังสี (Figure 2A) โดยเมื่อได้รับรังสีแกมมาตั้งแต่ระดับ 10 เกรย์ขึ้นไป มีผลให้ลำต้นเทียมแคระแกร็นและใบมีรูปร่างผิดปกติ (Figure 2B) พบลักษณะใบด่างเมื่อได้รับรังสีแกมมาตั้งแต่ระดับ 25 เกรย์ขึ้นไป (Figure 2C) และเมื่อได้รับรังสีแกมมาระดับ 30 เกรย์ขึ้นไป พบลักษณะขอบใบม้วนงอ (Figure 2D) ผิวใบย่นไม่เรียบ (Figure 2E) กาบใบและลำต้นเทียมมีลักษณะผิดปกติ (Figure 2F) นอกจากความผิดปกติของลำต้นเทียมและใบดังกล่าว ยังพบลักษณะผิดปกติของเหง้าเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะปกติ (Figure 2G) โดยเมื่อได้รับรังสีแกมมาเกินกว่าระดับ 5 เกรย์ พบลักษณะเหง้ามีขนาดเล็ก (Figure 2H) และพบรากสะสมอาหารขนาดใหญ่ (Figure 2I) เมื่อได้รับรังสีแกมมาตั้งแต่ระดับ 10 เกรย์ขึ้นไป

การเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตและลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เกิดขึ้นนั้น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม เอนไซม์ หรือฮอร์โมน ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการทางชีวเคมีและสรีรวิทยาของพืช (Majeed *et al*., 2017) มีการศึกษาการชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์โดยใช้รังสีแกมมากับส่วนขยายพันธุ์อื่นของขมิ้นชันเช่นกัน โดยศึกษากับต้นอ่อนขมิ้นชันที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ พบว่าต้นอ่อนที่ได้รับรังสีแกมมาสูงกว่าระดับ 5 เกรย์ มีผลให้การเจริญเติบโตและการพัฒนายอดลดลง อีกทั้งยังทำให้การสร้างคลอโรฟิลล์ลดลง ต้นอ่อนที่พัฒนาขึ้นมีสีเขียวอมเหลืองหรือสีซีดลง (Priya *et al*., 2014) การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาและการเจริญเติบโตที่เกิดขึ้นจากการได้รับรังสีแกมมานั้น ไม่ได้พบว่าเกิดขึ้นกับเพียงขมิ้นชันแต่ยังเกิดกับพืชในสกุล *Curcuma* ชนิดอื่นด้วย เช่น เมื่อได้รับรังสีแกมมาในระดับที่สูงขึ้น ขนาดใบ จำนวนดอก ความยาวก้านดอก และขนาดเหง้าของปทุมมา (*Curcuma alismatifolia*) ลดลง (Taheri *et al*., 2014) และใน *Curcuma heyneana* เมื่อได้รับรังสีแกมมาระดับ 40 ถึง 50 เกรย์ ทำให้การเจริญเติบโตของยอดหยุดชะงัก และใบมีรูปร่างผิดปกติ (Hapsari *et al*., 2021)

3. ผลของรังสีแกมมาต่อปริมาณเคอร์คิวมิน

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารเคอร์คิวมินจากผลผลิตขมิ้นชันที่เก็บเมื่อมีอายุปลูก 32 สัปดาห์ พบว่าหัวพันธุ์ขมิ้นชันที่ได้รับรังสีแกมมาความเข้มข้น 0 ถึง 25 เกรย์ ให้ปริมาณสารเคอร์คิวมินสูงที่สุด 2.15 ถึง 2.47 มิลลิกรัมต่อกรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับขมิ้นชันที่ได้รับรังสีแกมมาความเข้มข้น 30 ถึง 50 เกรย์ ที่ให้ปริมาณสารเคอร์คิวมินต่ำกว่า โดยมีปริมาณสารเคอร์คิวมิน 1.57 ถึง 1.70 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Table 2) ซึ่งมีรายงานการวิจัยพบว่าความเข้มข้นของรังสีแกมมามีผลต่อปริมาณสารเคอร์คิวมิน โดยเมื่อได้รับรังสีแกมมาระดับที่สูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณสารเคอร์คิวมินและน้ำมันหอมระเหยลดลง (Nandhini *et al*., 2007) โดยรังสีแกมมาเป็นสิ่งกระตุ้นให้พืชเกิดความเครียดจากสิ่งไม่มีชีวิต (abiotic stress) (Katiyar *et al*., 2022) ทำให้พืชเปลี่ยนแปลงกระบวนการเมแทบอลิซึมภายใน และส่งผลต่อปริมาณสารทุติยภูมิของพืช (Kapare *et al*., 2017)

Table 1 The effects of different doses of gamma irradiation on the pseudostem height, pseudostem diameter, leaf size, leaf number and shoot number of *Curcuma longa* after 20 weeks of exposure

Gamma irradiation dose (Gray)	Pseudostem height (cm)	Pseudostem diameter (cm)	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)	Number of leaves	Number of shoots
0	43.27±0.76^{a}	2.65±0.025^{a}	17.89±0.34	58.46±0.59^{a}	12.10±0.14^{a}	4.54±0.044^{a}
5	45.50±0.64^{a}	2.41±0.023^{a}	17.50±0.23	58.21±0.76^{a}	11.12±0.13^{b}	4.12±0.045^{a}
10	40.03±0.61^{bc}	2.58±0.027^{a}	17.03±0.32	51.09±0.87^{b}	11.04±0.13^{b}	3.92±0.041^{b}
15	41.00±0.55^{b}	2.57±0.020^{a}	17.20±0.29	58.07±0.84^{a}	11.21±0.09^{b}	2.48±0.041^{c}
20	40.21±0.43^{b}	2.41±0.020^{a}	17.34±0.16	55.26±0.75^{a}	12.23±0.1^{a}	2.95±0.046^{c}
25	39.37±0.35^{c}	2.51±0.028^{a}	17.02±0.15	57.47±0.64^{a}	11.01±0.18^{b}	2.58±0.036^{c}
30	39.41±0.59^{c}	2.39±0.026^{a}	17.12±0.23	56.87±0.67^{a}	11.87±0.19^{a}	2.31±0.030^{cd}
35	39.56±0.83^{bc}	2.31±0.028^{ab}	16.48±0.26	49.64±0.79^{b}	10.96±0.20^{bc}	2.12±0.027^{d}
40	38.45±0.87^{d}	2.18±0.029^{b}	16.12±0.28	49.08±0.79^{b}	10.45±0.19^{c}	1.47±0.017^{e}
45	39.01±0.79^{cd}	2.41±0.027^{a}	17.01±0.32	48.02±0.85^{b}	11.13±0.21^{b}	1.62±0.020^{e}
50	38.32±0.99^{d}	2.24±0.033^{ab}	16.76±0.30	45.75±0.98^{c}	10.64±0.22^{c}	1.22±0.014^{e}
F-test$_{0.05}$	*	*	ns	*	*	*

Remarks: *; Significant difference ($p \leq 0.05$), ns; No significant difference ($p \leq 0.05$), Mean values followed by the same letters within a column are not significantly different according to DMRT.

Table 2 The effects of different doses of gamma irradiation on rhizome yields and curcumin content of *Curcuma longa* harvested after 32 weeks of exposure

Gamma irradiation dose (Gray)	Rhizome fresh weight (g)	Rhizome dry weight (g)	Curcumin content (mg g^{-1})
0	274.25±4.50^{a}	61.50±0.76^{a}	2.32±0.023^{a}
5	253.25±4.31^{ab}	58.25±0.45^{a}	2.22±0.016^{a}
10	276.50±4.83^{a}	63.50±0.79^{a}	2.15±0.018^{a}
15	264.50±4.55^{a}	60.75±0.67^{a}	2.39±0.028^{a}
20	256.75±4.01^{ab}	61.75±0.54^{a}	2.47±0.030^{a}
25	279.75±5.06^{a}	64.75±0.88^{a}	2.19±0.021^{a}
30	271.25±4.23^{a}	61.00±0.68^{a}	1.70±0.015^{b}
35	287.25±6.32^{a}	62.00±1.05^{a}	1.66±0.019^{b}
40	252.50±4.42^{ab}	59.50±1.02^{a}	1.57±0.014^{b}
45	228.50±4.56^{b}	58.25±0.91^{a}	1.64±0.012^{b}
50	230.25±6.78^{b}	41.50±0.79^{b}	1.65±0.015^{b}
F-test$_{0.05}$	*	*	*

Remarks: *; Significant difference ($p \leq 0.05$), Mean values followed by the same letters within a column are not significantly different according to DMRT.

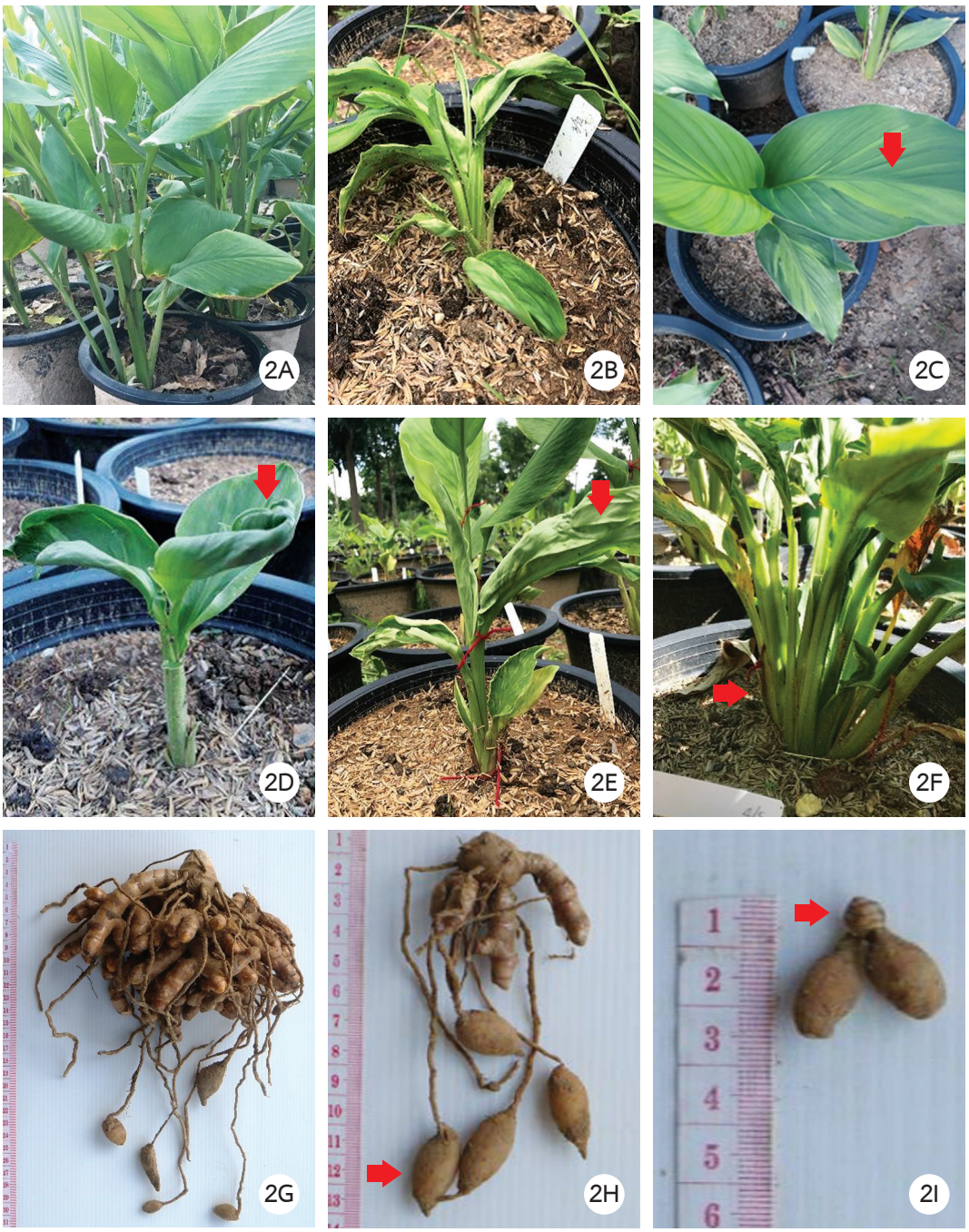

Figure 2 Morphological variation on pseudostem, leaves and rhizome induced by gamma irradiation of *Curcuma longa*; (A) normal pseudostem and leaves, (B) dwarfism character, (C) leaf chlorosis with yellow lines (arrow), (D) twisted leaf margin (arrow), (E) wrinkled leaves (arrow) (F) pseudostem and leaf sheaths deformation (arrow), (G) normal rhizome, (H) small size rhizome and large storage roots (arrow), (I) small size rhizome (arrow)

สรุปผลการวิจัย

ระดับรังสีแกมมาที่ส่งผลให้เหง้าขมิ้นชันงอกและมีการรอดชีวิต 50 เปอร์เซ็นต์ (LD_{50}) หลังจากได้รับรังสีเป็นเวลา 8 สัปดาห์ คือ 50.24 เกรย์ และเมื่อศึกษาผลของรังสีแกมมาต่อการเจริญโตของขมิ้นชันหลังได้รับรังสีแกมมา 20 สัปดาห์ พบว่าการได้รับรังสีตั้งแต่ระดับ 10 ถึง 50 เกรย์ ส่งผลให้ความสูงของลำต้นเทียมและจำนวนหน่อของขมิ้นชันลดลง รังสีตั้งแต่ระดับ 35 ถึง 50 เกรย์ ทำให้ความยาวใบลดลง แต่รังสีแกมมาทุกระดับของการทดลอง (0 ถึง 50 เกรย์) ไม่มีผลต่อความกว้างของใบ ในขณะที่การได้รับรังสีระดับ 0, 20 และ 30 เกรย์ ส่งผลให้ขมิ้นชันมีจำนวนใบสูงที่สุด 11.87 ถึง 12.23 ใบ และเมื่อเก็บเกี่ยวขมิ้นชันหลังได้รับรังสีแกมมา 32 สัปดาห์ พบว่าการได้รับรังสีตั้งแต่ระดับ 45 เกรย์ ส่งผลให้ผลผลิตเหง้าสดของขมิ้นชันลดลง ส่วนรังสีแกมมาระดับ 50 เกรย์ ทำให้น้ำหนักเหง้าแห้งลดลงต่ำที่สุด และเมื่อได้รับรังสีระดับ 0 ถึง 25 เกรย์ ส่งผลให้มีปริมาณสารเคอร์คิวมินสูงที่สุด 2.15 ถึง 2.47 มิลลิกรัมต่อกรัม และลดลงเมื่อได้รับรังสีระดับ 30 ถึง 50 เกรย์

การได้รับรังสีแกมมาส่งผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยเมื่อได้รับรังสีเกินกว่าระดับ 5 เกรย์ ส่งผลให้เหง้ามีขนาดเล็ก ระดับรังสีเกินกว่า 10 เกรย์ ส่งผลให้ลำต้นเทียมและใบมีรูปร่างผิดปกติ และพบรากสะสมอาหารขนาดใหญ่ รังสีตั้งแต่ระดับ 25 เกรย์ ขึ้นไป ปรากฏลักษณะใบด่าง ใบบิดม้วนงอ และผิวใบย่นไม่เรียบ และพบกาบใบและลำต้นเทียมมีลักษณะผิดปกติเมื่อได้รับรังสีแกมมาตั้งแต่ระดับ 30 เกรย์ ขึ้นไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย (มจ.1-61-024) ขอขอบคุณสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนการฉายรังสีแกมมา และขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาการสมุนไพร คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่สำหรับการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. 2555. บัญชียาหลักแห่งชาติ. สำนักยา, กลุ่มงานพัฒนาระบบ, งานระบบยาแห่งชาติและสารสนเทศ, กระทรวงสาธารณสุข, นนทบุรี. 98 หน้า.

Abdullah, S., N.Y. Kamaruddin and A.R. Harun. 2018. The effect of gamma radiation on plant morphological characteristics of *Zingiber officinale* Roscoe. Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol. 8(5): 2085-2091.

Ayer, D.K. 2017. Breeding for quality improvement in turmeric (*Curcuma longa* L.): a review. Adv. Plants Agric. Res. 6(6): 201-204.

Bhadra, S. and M. Bandyopadhyay. 2015. Karyomorphological investigations on some economically important members of Zingiberaceae from Eastern India. Caryologia 68(3): 184-192.

Billore, V., S.J. Mirajkar, P. Suprasanna and M. Jain. 2019. Gamma irradiation induced effects on *in vitro* shoot

cultures and influence of monochromatic light regimes on irradiated shoot cultures of *Dendrobium sonia* orchid. Biotechnol. Rep. 24: e00343.

Bonna, I.J., S. Akter and S.S. Sultana. 2021. Somatic chromosome number and ploidy level in three *Curcuma* spp. from Bangladesh. Dhaka Univ. J. Biol. Sci. 30(2): 133-140.

Chusreeaeom, K. and O. Khamsuk. 2019. Effects of gamma irradiation on lipid peroxidation, survival and growth of turmeric *in vitro* culture. J. Phys. Conf. Ser. 1285.

Devi, H.U.N., and N. Chezhiyan. 2006. Impact of gamma rays on turmeric crop (*Curcuma longa* L.). J. Hortic. Sci. 1(2): 124-128.

Due, M.S., A. Susilowati, A. Yunus. 2019. The effect of gamma rays irradiation on diversity of *Musa paradisiaca* var. *Sapientum* as revealed by ISSR molecular marker. Biodiversitas 20: 1416-1422.

Hapsari, L., T. Trimanto, Y. Isnaini and S. Widiarsih. 2021. Morphological characterization and gamma irradiation effect on plant growth of *Curcuma heyneana* Val & Zijp. AIP Conference Proceedings 2353, 030012 (2021); New York. pp. 1-10.

Ilyas S. and S. Naz. 2014. Effect of gamma irradiation on morphological characteristics and isolation of curcuminoids and oleoresins of *Curcuma longa* L. J. Anim. Plant Sci. 24(5): 1396-1404.

Kapare, V., R. Satdive, D.P. Fulzele and N. Malpathak. 2017. Impact of gamma irradiation induced variation in cell growth and phytoecdysteroid production in *Sesuvium portulacastrum*. J. Plant Growth Regul. 36(4): 919-930.

Katiyar, P., N. Pandey and S. Keshavkant. 2022. Gamma radiation: A potential tool for abiotic stress mitigation and management of agroecosystem. Plant Stress 5: 100089.

Li, S., W. Yuan, G. Deng, P. Wang, P. Yang and B. Aggarwal. 2011. Chemical composition and product quality control of turmeric (*Curcuma longa* L.). Pharm. Crop. 2: 28-54.

Ma, X. and D.R. Gang. 2006. Metabolic profiling of turmeric (*Curcuma longa* L.) plants derived from in vitro micropropagation and conventional greenhouse cultivation. J. Agric. Food Chem. 54: 9573-9583.

Ma'Arup, R., N.S. Ali, F. Ahmad, Z. Ahmad, M.F.M. Norawi and H.F. Moinuddin. 2022. Effects of gamma irradiation on morphology and protein differential in M_1V_1 population of *Vanilla planifolia* Andrews. Int. J. Radiat. Biol. doi: 10.1080/09553002.2022.2087932.

Majeed, A., Z. Muhammad, R. Ullah, Z. Ullah, R. Ullah, Z. Chaudhry and S. Siyar. 2017. Effect of gamma irradiation on growth and post-harvest storage of vegetables. PSM Biol. Res. 2(1): 30-35.

Mirjanaik, R.H. and Y.C. Vishwanath. 2020. Advances in production technology of turmeric. J. Pharmacogn. Phytochem. 9(4): 1198-1203.

Nair, R., K.N. Shiva and J. Zachariah. 2010. Characterization of open-pollinated seedling progenies of turmeric (*Curcuma longa* L.) based on chromosome number, plant morphology, rhizome yield and rhizome quality. Cytologia 75(4): 443-449.

Nandhini, D., H. Usha and N. Chezhiyan. 2007. Influence of gamma rays induced mutagenesis on the frequency of viable mutants in turmeric. Asian J. Hort. 2(1): 54-57.

Pistellia, L., A. Bertolib, F. Gellib, L. Bedinia, B. Ruffonic and L. Pistelli. 2012. Production of curcuminoids in different *in vitro* organs of *Curcuma longa*. Nat. Prod. Commun. 7(8): 1037-1042.

Priya I.N., V. Devappa, M.S. Kulkarni and G. Prabhulinga. 2014. Effect of gamma radiation on growth of turmeric (*Curcuma longa* L.) cv. *Salem* explants. Karnataka Journal of Agricultural Sciences 27(2): 152-155.

Riviello-Flores, M. de la L., J. Cadena-Iñiguez, L. del M. Ruiz-Posadas, M. de L. Arévalo-Galarza, I. Castillo-Juárez, M.S. Hernández and C.R. Castillo-Martínez. 2022. Use of gamma radiation for the genetic improvement of underutilized plant varieties. Plants 11(9): 1161.

Roslim D.I., H. Herman and I. Fiatin. 2015. Lethal dose 50 (LD_{50}) of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) cultivar Kampar. Sabrao J. Breed. Genet. 47(4): 510-516.

Sungkajorn, M., P. Treewannakul and P. Sukprasert. 2021. Possibility of turmeric production with good agricultural practice of farmers in Paphayom district, Phatthalung province. Thai J. Agric. Sci. 52(2): 107-117.

Suthon, W. 2019. Effect of shading on growth, yield and curcumin content of *Zingiber montanum* (Koenig) Link ex Dietr. Srinakharinwirot University Journal of Science and Technology 11(22): 146-156.

Taheri, S., T.L. Abdullah, Z. Ahmad and N.A.P. Abdullah. 2014. Effect of acute gamma irradiation on *Curcuma alismatifolia* varieties and detection of DNA polymorphism through SSR marker. Biomed Res. Int. 2014: 631813.