

ปริมาณรังสีแกมมาที่เหมาะสมสำหรับชักนำโกลนีมาให้เปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยา The Optimum Gamma Irradiation Dose for Inducing Changes in *Aglaonema* Morphology

วุฒิพงษ์ แบ่งใจ^{1*} และพัฒนา ศรีฟ้า ฮุนเนอร์²Wuthipong Pangjai^{1*} and Pattana Srifah Huenhe²

Received date: 10 มี.ค. 66 Revised date: 17 ก.ค. 66 Accepted date: 25 ส.ค. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.11.22.005>

บทคัดย่อ

การสร้างความแปรปรวนของลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยการฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลัน ช่วยให้การพัฒนาพันธุ์โกลนีมาตรงตามความต้องการของตลาดได้ เพื่อให้เกิดความแปรปรวนสูงสุดจึงหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมโดยฉายรังสีแกมมาปริมาณ 1-7 Gy แก่ลำต้นโกลนีมา ผลการทดลองพบการเจริญเติบโตของโกลนีมาลดลงร้อยละ 50 (GR₅₀) เมื่อได้รับรังสี 3.25 Gy และมีอัตราการตายร้อยละ 50 (LD₅₀) เมื่อได้รับรังสี 4.5 Gy ซึ่งการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรุ่น M₁V₂ สูงที่สุดร้อยละ 35 เมื่อได้รับรังสี 3 Gy โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่พบจากมากไปน้อยคือ สี ขนาด และรูปร่างของใบ จากนั้นทดสอบอิทธิพลของพันธุ์โกลนีมาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยฉายรังสีแกมมา 3 Gy แก่โกลนีมาพันธุ์ อัญมณีแดง หลักทรัพย์ และกวักทอง พบอัตราการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาในแต่ละพันธุ์แตกต่างกันและมีค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 60 เมื่อพิจารณาความผิดปกติของรูปร่างและสีใบในรุ่น M₁V₂ พบเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยารุนแรงในใบที่ 1 แต่เริ่มคงตัวในใบที่ 3 โดยมีค่าประสิทธิภาพการกลายพันธุ์เฉลี่ยจาก 3 พันธุ์ร้อยละ 14 เมื่อคัดเลือกลักษณะที่พบการเปลี่ยนแปลงขนาดใบและสีใบไปตรวจลักษณะผิวใบ พบบางต้นมีการเปลี่ยนแปลงขนาดปากใบและขนาดเซลล์คุม แต่ความหนาแน่นของปากใบเปลี่ยนไปทุกต้น ดังนั้นปริมาณรังสี 3 Gy จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับชักนำให้โกลนีมาเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาได้ในอัตราสูงสุด

คำสำคัญ: การฉายรังสีแบบเฉียบพลัน การปรับปรุงพันธุ์ ความแปรปรวน ปากใบ

Abstract

Increased morphological variability by acute gamma irradiation can facilitate the development of *Aglaonema* characteristics to meet the market's demand. To maximize the variability of *Aglaonema* traits, the optimal dose of gamma irradiation was examined. First, the stems of *Aglaonema* were irradiated with gamma ray using doses ranged from 1 to 7 Gy. The results revealed that the median growth rate reduction (GR₅₀) was 3.25 Gy and the median lethal dose (LD₅₀) was 4.5 Gy. Morphological changes in the M₁V₂ generation gave the highest percentage rate at 35% when the *Aglaonema* was exposed to 3 Gy. The leaf morphological characteristics that changed from most to least were color, size, and shape, respectively. In addition, the effect of *Aglaonema* cultivars on morphological changes was examined by acute irradiation at 3 Gy to *Aglaonema* 'Anyamanidaeng', 'Kwakthong', and 'Laksap'. Rates of morphological change in each cultivar were varied but the average rate was 60%. When considering the irregularities in shape and color in M₁V₂ generation, severe changes were observed in the 1st leaf but the altered morphology was stable in the 3rd leaf. The mutagenic effectiveness was found at an average rate of 14%. Then the plants with changes in leaf size and leaf color were used for leaf surface analysis. Some of the selected plants were altered in size of stomata and size of guard cells; however, the density of the stomata changed in all of them. Therefore, 3 Gy was the optimum dose to induce the *Aglaonema* morphological changes at the highest rate.

Keywords: acute irradiation, plant breeding, variation, stomata

¹ สาขาเทคโนโลยีการเกษตรสมัยใหม่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา 13000

² ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ กรุงเทพฯ 10210

¹ Program in Modern Agriculture, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya, 13000

² Laboratory of Biotechnology, Chulabhorn Research Institute, Bangkok, 10210

* Corresponding author, Email: pangjai@aru.ac.th

คำนำ

อโกลนีมา (*Aglaonema*) มีต้นกำเนิดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สีสันและลวดลายสวยงาม สามารถเจริญเติบโตและปรับตัวให้เข้ากับสภาพความชื้นแสงต่ำได้ดี (Di Benedetto et al., 1990) จึงนิยมใช้ประดับในอาคาร การเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของอโกลนีมาด้วยการเพิ่มความหลากหลายของลักษณะทางสัณฐานวิทยา สามารถทำได้ด้วยการผสมข้าม ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญและเทคนิคหลายประการ เช่น การกระตุ้นให้ออกดอกในระยะเวลาที่ต้องการ (Henny et al., 2004) การเลือกระยะเวลาที่ดอกเจริญเติบโตเต็มที่เพื่อให้ได้ละอองเรณูที่พร้อมสำหรับการถ่ายเรณู และต้องมีพ่อแม่พันธุ์จำนวนมากเพื่อเลือกคู่ผสมให้ตรงตามความต้องการ เนื่องจากอโกลนีมาแต่ละพันธุ์มีจำนวนโครโมโซมแตกต่างกันตั้งแต่ $2n = 42$ ถึง 60 หรือ 120 (Nicolson, 1969)

การปรับปรุงพันธุ์โดยการเหนี่ยวนำให้เกิดความแปรปรวนของลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยรังสีแกมมาเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากรังสีแกมมาสามารถส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนของสารพันธุกรรม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเปลี่ยนแปลงจากลักษณะเด่น (dominant) เป็นลักษณะด้อย (recessive) โดยพลังงานจากรังสีแกมมาสามารถส่งผลกระทบต่อสารพันธุกรรม แล้วทำให้เกิดความเสียหายในระดับเบสหรือโครโมโซม (Du et al., 2022) ซึ่งก่อให้เกิดความผิดปกติและการตายของพืช นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อทางอ้อม โดยรังสีแกมมาทำปฏิกิริยา water radiolysis กับโมเลกุลน้ำได้อนุมูลอิสระออกซิเจน (reactive oxygen species: ROS) หลายชนิด เช่น hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$), hydrogen peroxide (H_2O_2) และ superoxide anion ($\text{O}_2^{\cdot-}$) ที่ส่งผลให้เกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) นอกจากนี้อนุมูลอิสระออกซิเจนที่เกิดขึ้นยังมีความไวกับสารประกอบขนาดใหญ่ (macromolecules) ภายในเซลล์ จึงส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของลิพิด (lipid peroxidation) การเสียหายของโครงสร้างและหน้าที่ของโปรตีนเนื่องจากสูญเสียอิเล็กตรอน (protein oxidation) และเกิดความเสียหายของดีเอ็นเอ (Choi et al., 2021) ดังนั้นรังสีแกมมาจึงเหมาะสำหรับชักนำให้พืชเกิดความแปรปรวนและทำให้เกิดความหลากหลายของสี รูปร่าง และขนาด (Anne & Lim, 2020) เพื่อให้ได้อโกลนีมาที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยารูปแบบใหม่สำหรับใช้เป็นเชื้อพันธุกรรมในการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

การฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ พบใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ไม้ดอกและไม้ประดับหลายชนิด เช่น *Chrysanthemum* sp., *Begonia* sp., *Dhalia* sp. (Dwivedi & Banerji, 2008) และ *Zephyranthes* spp. (Pangjai & Huehne, 2021) รวมทั้ง *Aglaonema* sp. (Ritonga Sukma, 2017) เป็นต้น วิธีการนี้เหมาะสมสำหรับการชักนำให้เกิดการกลายของส่วนเจริญที่ยังพักตัวอยู่หรือเนื้อเยื่อเจริญส่วนปลาย (apical meristem) ที่มีเซลล์จำนวนน้อย จึงใช้ได้กับส่วนต้นตอที่กำลังจะแตกหน่อ หรือกำลังจะแตกตาข้าง โดยปริมาณรังสีที่เหมาะสมนั้นสามารถประมาณได้จากค่า GR_{50} (median growth reduction dose) และค่า LD_{50} (median lethal dose) ซึ่งมีความแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิดหรือเนื้อเยื่อของพืชที่ใช้ โดยในอโกลนีมามีการรายงานค่า LD_{50} ประมาณ 17 Gy เมื่อใช้ต้นกล้าที่มีใบจำนวน 3 - 4 ใบ (Ritonga & Sukma, 2017)

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับสร้างความแปรปรวนของลักษณะทางสัณฐานวิทยาในท่อนพันธุ์อโกลนีมาด้วยรังสีแกมมาแบบเฉียบพลัน และศึกษาอิทธิพลของพันธุ์อโกลนีมาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาเมื่อได้รับปริมาณรังสีแกมมาในระดับที่เหมาะสม รวมทั้งคัดเลือกลักษณะเด่นเพื่อเป็นประโยชน์ทางการค้า

วิธีการศึกษา

การเตรียมตัวอย่างพืชและการฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลัน (Acute irradiation)

นำต้นอโกลนีมารุ่น M_1V_1 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ไปฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลัน ด้วยวิธีการทดลองของ Pangjai & Huehne (2021) จากนั้นนำต้นที่ผ่านการฉายรังสีไปปลูกในโรงเรือนระบบเปิดที่มีอุณหภูมิภายในโรงเรือนอยู่ระหว่าง 25 - 39 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 - 85 เปอร์เซ็นต์ พรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ ทำการตัดยอดหลังปลูก 1 สัปดาห์ และศึกษาลักษณะของยอดที่สร้างใหม่ในรุ่น M_1V_2

การศึกษาผลของปริมาณรังสีแกมมาต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการตาย และการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา

ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) โดยนำต้นอโกลนีมาจำนวน 2 พันธุ์ คือ (1) พันธุ์แสงเงินแสงทอง และ (2) พันธุ์เพชรน้ำหนึ่ง ไปฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันด้วยปริมาณรังสี 8 ระดับ ประกอบด้วย 0 (ชุดควบคุม), 1, 2, 3, 4, 5, 6, และ 7 Gy โดยแต่ละสิ่งทดลองประกอบด้วย 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น หลังการฉายรังสีแกมมา 120 วัน บันทึก (1) ความยาวใบเพื่อคำนวณปริมาณรังสีที่ทำให้การเจริญเติบโตลดลง 50 % (GR_{50}) (2) จำนวนต้นที่ตายเพื่อคำนวณปริมาณรังสีที่ทำให้เกิดการตาย 50 % (LD_{50}) (3) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของใบ ประกอบด้วยสี ขนาด ลวดลาย และรูปร่าง เพื่อคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปริมาณรังสีที่แตกต่างกัน

การศึกษาอิทธิพลของพันธุ์อโกลนีมาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาเมื่อได้รับรังสีแกมมา

นำต้นโกลนีมาจำนวน 3 พันธุ์ ประกอบด้วยพันธุ์อัญมณีแดง พันธุ์รักทอง และพันธุ์หลักทรัพย์ ไปฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันที่ระดับรังสี 0 Gy (ชุดควบคุม) และ 3 Gy แต่ละพันธุ์ศึกษาด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยแต่ละสิ่งทดลองประกอบด้วย 30 ต้น แล้วเปรียบเทียบลักษณะสัณฐานวิทยาของใบหลังการฉายรังสีแกมมา 180 วัน โดยบันทึกข้อมูลความยาวก้านใบ สีก้านใบ ความยาวใบ ความกว้างใบ สีใบ รูปร่างใบ ลักษณะผิวใบ และลักษณะขอบใบ

การศึกษาผิวใบด้วยกรรมวิธี replica technique ดัดแปลงจาก Weyers & Lawson (1997) โดยศึกษาขนาดปากใบ ขนาดเซลล์คุม ความหนาแน่นของปากใบ โดยกรรมวิธี replica technique โดยทำความสะอาดใบด้วยน้ำกลั่น และให้แสงแก่โกลนีมาเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วป้ายซิลิโคน (Provil novo, Kulzer GmbH, เยอรมนี) ที่ผิวใบ ปล่อยให้แห้งนาน 2 นาที ก่อนลอกซิลิโคนออกจากใบ จากนั้นใช้น้ำยาทาเล็บชนิดใสทาที่ซิลิโคนด้านที่สัมผัสกับหลังใบ ปล่อยให้แห้ง 2 นาที ใช้เทปใสตึงน้ำยาทาเล็บที่แห้งแล้วออกจากซิลิโคน ก่อนนำไปติดบนสไลด์และตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 400 เท่า โดยแต่ละต้นสุ่มตรวจ จำนวน 3 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งสุ่มนับภายใต้กล้องจุลทรรศน์จำนวน 5 จุด

การวัดสัดส่วนสีใบด้วยโปรแกรมประยุกต์ Adobe Photoshop ดัดแปลงจาก Li et al. (2007) โดยทำการวัดสีหลังใบโกลนีมาโดยถ่ายรูปใบโกลนีมาด้วยความละเอียดของรูป 3216x2144 พิกเซล จากนั้นวิเคราะห์รูปด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop โดยเลือกส่วนของสีที่ต้องการนับจำนวนพิกเซลด้วยเครื่องมือ Magic Wand ที่กำหนดค่า sample size เป็น point sample (11 by 11 average) ค่า tolerance เท่ากับ 20 ปิดโหมด Anti-alias และปิดโหมด contiguous แล้วนับจำนวนพิกเซลที่ละเฉดสี จากค่า pixel count ที่ปรากฏในหน้าต่าง histogram นำข้อมูลมาคำนวณสัดส่วนของสีเป็นร้อยละจากสูตร

$$\text{สัดส่วนสี A (\%)} = \frac{\text{จำนวนพิกเซลของสี A} \times 100}{\text{จำนวนพิกเซลของใบ}}$$

การศึกษาประสิทธิผลของรังสีต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา

คำนวณหาค่าประสิทธิผลการกลายพันธุ์ (Mutagenic effectiveness) โดยใช้สมการเช่นเดียวกับ Wani (2009) ดังนี้

$$\text{อัตราการกลาย} = \frac{\text{จำนวนต้นที่พบการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา} \times 100}{\text{จำนวนต้นที่ทำการทดสอบ}}$$

$$\text{ประสิทธิผลการกลายพันธุ์} = \frac{\text{อัตราการกลาย}}{\text{ปริมาณรังสี (Gy)}}$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฉายรังสีแกมมาและชุดควบคุมด้วยวิธี Levene's Test และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฉายรังสีและชุดการควบคุมด้วยสถิติ Independent-Sample T Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS statistical package

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของปริมาณรังสีต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการตาย

เมื่อตรวจสอบความยาวใบโกลนีมาพันธุ์เพชรน้ำหนึ่งและพันธุ์แสงเงินแสงทองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาด้วยปริมาณรังสี 1 - 7 Gy พบความยาวใบลดลงเมื่อปริมาณรังสีที่สูงขึ้น และลดลงอย่างรวดเร็วที่ปริมาณรังสี 4 Gy ในพันธุ์เพชรน้ำหนึ่งและ 5 Gy ในพันธุ์แสงเงินแสงทอง (Figure 1) โดยการตอบสนองของพืชต่อปริมาณรังสีแบบผกผันเช่นนี้พบรายงานในมันเทศประดับเลี้ยง ที่มี ความสูง ขนาดใบ และจำนวนใบลดลงเมื่อได้รับปริมาณรังสีที่สูงขึ้น (Srichuai et al., 2018) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีและการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาเหล่านี้สอดคล้องกับรายงานปริมาณอนุมูลอิสระที่สูงขึ้นเมื่อพืชได้รับปริมาณรังสีมากขึ้น (Hong et al., 2022) จึงเป็นไปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของโกลนีมาเป็นผลทางตรงของรังสีแกมมาต่อดีเอ็นเอ หรืออาจเกิดจากผลทางอ้อมที่สารอนุมูลอิสระไปส่งผลต่อเซลล์ โดยเฉพาะเซลล์ในตำแหน่งของเนื้อเยื่อเจริญ จึงทำให้พัฒนาการของโกลนีมาช้าลง (Preussa & Britt, 2003) เมื่อพิจารณาขนาดใบของพันธุ์เพชรน้ำหนึ่ง (Figure 1) ที่ได้รับรังสีปริมาณ 1 - 3 Gy พบข้อมูลส่วนใหญ่กระจายอยู่ใน Quartile 1-3 โดยมีการกระจายตัวมากกว่าในชุดควบคุม และพันธุ์แสงเงินแสงทองพบว่าปริมาณรังสี 1, 3 และ 4 Gy ส่งผลให้ข้อมูลบางส่วนกระจายตัวใน Quartile 4 ซึ่งแสดงให้เห็นการกระจายตัวมากกว่าชุดควบคุม การกระจายตัวของข้อมูล

จากทั้ง 2 พันธุ์ชี้ให้เห็นว่าปริมาณรังสีแกมมาในระดับต่ำส่งผลให้ใบเกิดความแปรปรวนขนาดของใบได้สูงกว่าเมื่อได้รับรังสีแกมมาในปริมาณสูง ซึ่งอาจเกิดจากการส่งเสริมหรือยับยั้งการทำงานของยีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับฮอร์โมนพืช ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช (Kovalchuk et al., 2007) และในพันธุ์แสงเงินแสงทองบางต้นที่ได้รับรังสีปริมาณ 3 Gy มีค่าการเจริญเติบโตของใบสูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Hussein (2022) ที่พบว่ารังสีแกมมาในระดับต่ำส่งเสริมให้กล้าของต้นข้าวบาร์เลย์มีอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวบาร์เลย์สูงขึ้น แต่เมื่อปริมาณรังสีตั้งแต่ 5 Gy ขึ้นไปกลับส่งผลให้การกระจายตัวลดต่ำลงอย่างมาก ซึ่งมีสาเหตุเกิดจากการทำลายทางสรีรวิทยาอย่างรุนแรง ต้นที่เล็กรอดจึงเป็นต้นแคระและมีใบขนาดเล็กทำให้ความแปรปรวนของความยาวใบที่อยู่ในช่วงที่แคบ (Figure 1)

นอกจากนี้พบอัตราการตายของอโกลนีมาทั้งสองพันธุ์สูงขึ้นเมื่อได้รับรังสีปริมาณ 1 และ 2 Gy แต่เมื่อปริมาณรังสีสูงขึ้นพบอัตราการตายต่ำลงก่อนจะมีอัตราการตายที่สูงขึ้นอีกครั้งเมื่อได้รับรังสีปริมาณ 4 - 5 Gy (Figure 1C, 1F) แสดงให้เห็นว่ารังสีแกมมาปริมาณสูงสามารถทำให้พืชได้รับความเสียหายทางสรีรวิทยาและตายในที่สุด แต่ที่ระดับรังสีประมาณ 3 Gy กลับพบว่ามีอัตราการตายที่ต่ำลงและพบว่าเป็นช่วงที่การเจริญเติบโตมีการกระจายตัวของข้อมูลสูง อาจเป็นเพราะรังสีแกมมาระดับ 2 - 3 Gy ในเพชรน้ำหนึ่งและ 3 - 5 Gy ในพันธุ์แสงเงินแสงทอง ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ adaptive response แต่เมื่อได้รับรังสีปริมาณ 1 Gy ในพันธุ์เพชรน้ำหนึ่งและ 2 Gy ในพันธุ์แสงเงินแสงทองพบการตายสูงกว่าเส้นแนวโน้มอาจเป็นไปได้ว่าที่ระดับรังสีนี้เกิดปรากฏการณ์ bystander effects (Bonner, 2003) เมื่อตรวจสอบต้นอโกลนีมาที่ตายพบว่าท่อนพันธุ์แห้งฝ่อ ไม่เกิดการสร้างตายอด ในบางกรณีพบการพัฒนาของตายอดในช่วงแรกแต่ไม่สามารถเจริญเติบโตและพัฒนาเป็นใบได้

จากข้อมูลความยาวใบของพันธุ์เพชรน้ำหนึ่งและพันธุ์แสงเงินแสงทอง สามารถประมาณค่า GR_{50} สำหรับอโกลนีมาได้เท่ากับ 3.25 Gy และจากอัตราการตายสามารถประมาณค่า LD_{50} สำหรับอโกลนีมาได้เท่ากับ 4.5 Gy ซึ่งปริมาณรังสี 3.25 - 4.5 Gy ทำให้ความยาวของใบอโกลนีมาลดลงร้อยละ 50 - 75 และทำให้อัตราการตายมีค่าประมาณร้อยละ 10 - 70 ขึ้นอยู่กับพันธุ์อโกลนีมาที่ใช้ในการทดสอบ (ภาพที่ 1C)

ปริมาณรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางสัณฐานวิทยา

เมื่อพิจารณาลักษณะสัณฐานวิทยาของใบที่มีการเปลี่ยนแปลงในพันธุ์เพชรน้ำหนึ่งและแสงเงินแสงทองพบอัตราการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน (Figure 2) โดยมีการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุดที่ร้อยละ 35 เมื่อได้รับรังสีปริมาณ 3 Gy ส่วนรังสีในปริมาณอื่นพบการเปลี่ยนแปลงลดลง และสามารถเรียงลำดับการเปลี่ยนแปลงที่พบจากมากไปน้อยได้ดังนี้ (1) การเปลี่ยนแปลงของสีใบ เช่น สีเข้มขึ้นหรือซีด สีใบไม่เท่ากันทั้งใบและปรากฏลักษณะด่างสีขาว (2) ขนาดใบเปลี่ยนไปรวมทั้งเกิดเป็นต้นแคระ และ (3) รูปร่างใบเปลี่ยนไป เช่น เรียวยาว ขาดความสมมาตร ขอบใบเกิดการบิดเป็นคลื่น (Figure 3) การที่ลักษณะทางสัณฐานวิทยามีการเปลี่ยนแปลงไปเกิดได้ทั้งจากการเปลี่ยนแปลงของสารพันธุกรรมในระดับเบส หรือยีน โดยมีการรายงานว่าการทำงานของกลุ่มยีน *ddr* (DNA damage response) ที่ทำหน้าที่ซ่อมแซมดีเอ็นเอที่เสียหายมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันในพืชแต่ละพันธุ์ (Mahapatra & Roy, 2020) จึงส่งผลต่อความสามารถในการซ่อมแซมดีเอ็นเอให้มีความสมบูรณ์ดังเดิม (Du, 2022) มากกว่านั้นการเปลี่ยนแปลงของลักษณะที่พบอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของยีนมากกว่าหนึ่งยีน เช่น การเปลี่ยนแปลงของสีดอกเบญจมาศที่พบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งในกลุ่มแคโรทีนอยด์และแอนโทไซยานิน (Puripunyavanich et al., 2019) หรือเกิดลักษณะที่ควบคุมโดยเอพิเจเนติก เป็นต้น อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถยืนยันว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดจากการกลายในระดับดีเอ็นเอ ควรใช้เครื่องหมายโมเลกุล เช่น ISSR (inter-simple sequence repeat) ในการระบุความแตกต่าง ซึ่งสามารถใช้เพื่อการประเมินความหลากหลายและความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของอโกลนีมาได้อีกด้วย

จากข้อมูลอัตราการเจริญเติบโต อัตราการตาย รวมทั้งอัตราการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอโกลนีมาพันธุ์เพชรน้ำหนึ่งและพันธุ์แสงเงินแสงทองชี้ให้เห็นว่าปริมาณรังสี 3 Gy เป็นปริมาณรังสีที่ทำให้อโกลนีมามีการเจริญเติบโตร้อยละ 50-60 และมีอัตราการตายร้อยละ 10 - 50 และทำให้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาสูงที่สุด ดังนั้นจึงใช้ปริมาณรังสี 3 Gy เพื่อการทดสอบผลของพันธุ์อโกลนีมาต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาต่อไป

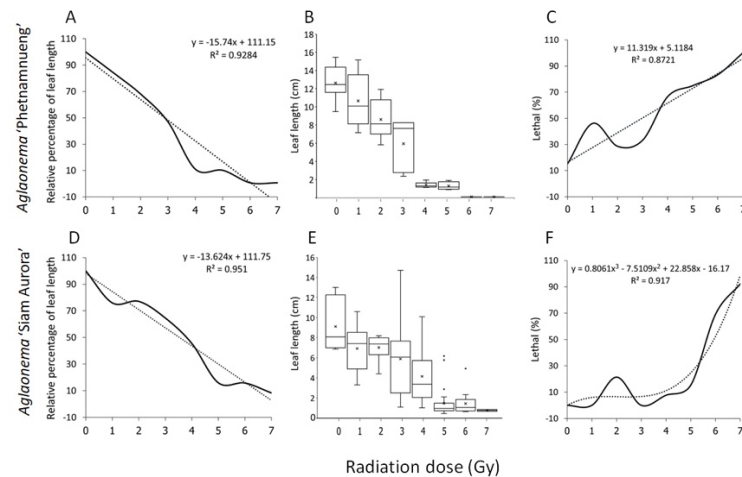


Figure 1 Percentages of leaf length (A and D), variation of leaf length (B and E), and percentage of lethal (C and F) after 120 days of gamma irradiation in *Aglaonema* 'Phetnamnueng' and 'Siam Aurora'.

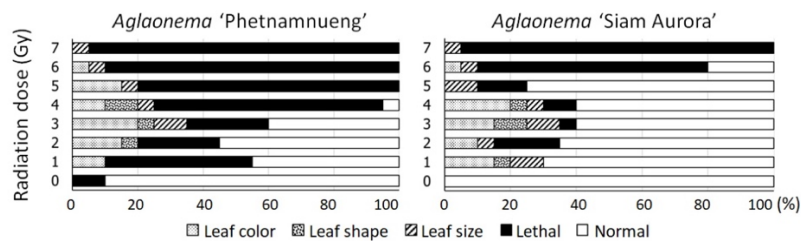


Figure 2 Proportions of morphological characteristics after 120 days of gamma irradiation in *Aglaonema* 'Phetnamnueng' and 'Siam Aurora'.

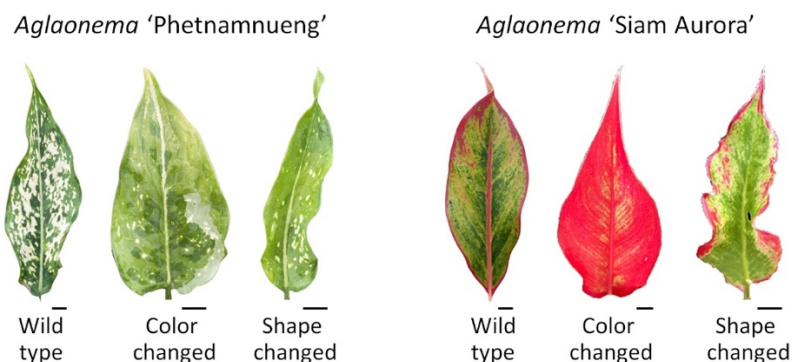


Figure 3 Examples of morphological changes in leaf colors and leaf shapes of *Aglaonema* 'Phetnamnueng' and 'Siam Aurora'. Scale bar = 1 cm

อิทธิพลของพันธุ์โกลนีมาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาเมื่อได้รับรังสีแกมมา

เมื่อนำโกลนีมาจำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์อุณณณแดง พันธุ์หลักทรัพย์ และพันธุ์วักทอง ไปฉายรังสีแกมมาด้วยปริมาณรังสี 3 Gy พบใบแรกของรุ่น M_1V_2 ในพันธุ์วักทองและพันธุ์หลักทรัพย์ได้รับผลกระทบทางสัณฐานวิทยารุนแรง โดยพบลักษณะรูปร่างใบผิดปกติ แผ่นใบระหว่างด้านซ้ายและขวามีรูปร่างไม่สมมาตร และฐานใบด้านซ้ายและด้านขวาอยู่ในระดับที่ต่างกัน ผิวใบขรุขระ นอกจากนี้พบการเปลี่ยนแปลงของสีใบ ในบางกรณีพบผลตายที่ปรากฏแตกต่างกันในด้านซ้ายหรือขวาของใบ แต่เมื่อพิจารณาลักษณะที่พบในใบที่สองของรุ่น M_1V_2 จะเห็นว่าผลกระทบจากรังสีเริ่มลดลง โดยใบมีความสมมาตร ฐานใบเสมอกัน ผิวใบเรียบ และบางต้นสีใบเปลี่ยนแปลงกลับไปเหมือนต้นควบคุม การเปลี่ยนแปลงของลักษณะเหล่านี้ อาจเกิดจากพืชสามารถซ่อมแซมดีเอ็นเอด้วยวิธีที่แตกต่างกันตามลักษณะของความเสียหายที่เกิดขึ้น หรือโดยกระบวนการ non-homologous end joining (Manova & Gruszka, 2015) การซ่อมแซมด้วยวิธีเหล่านี้นอกจากจะทำให้พืชกลับไปมีลักษณะเช่นเดิมหรือเกิดลักษณะใหม่และมี

ผลต่อวิวัฒนาการผ่านกระบวนการคัดเลือกโดยธรรมชาติ นอกจากนี้อาจเกิดในระดับเซลล์ ส่งผลให้เกิดกระบวนการ sorting out ที่เซลล์ผิดปกติมีอัตราการเจริญเติบโตช้าลง เพราะระยะเวลาของวัฏจักรเซลล์เปลี่ยนแปลงไปหลังได้รับรังสีแกมมา (Preuss & Britt, 2003) จึงทำให้พืชมีการกลายในบางส่วน เช่น ลักษณะใบที่เป็นปื้นสี (patch) และอาจพบการกลายชนิดที่เซลล์ผิดปกติกระจายแทรกตัวอยู่ร่วมกับเซลล์ปกติ (mosaic) เมื่อตรวจสอบใบที่สามถึงใบที่เจ็ด พบว่าบางต้นลักษณะสีและรูปร่างของใบยังคงลักษณะของความเปลี่ยนแปลงเช่นเดิมเหมือนในใบที่สอง (Figure 4) แสดงให้เห็นว่าใบที่สามเป็นใบที่เริ่มเกิดความคงตัวของลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นควรเริ่มขั้นตอนการคัดเลือกหาต้นที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อใบที่สามเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว

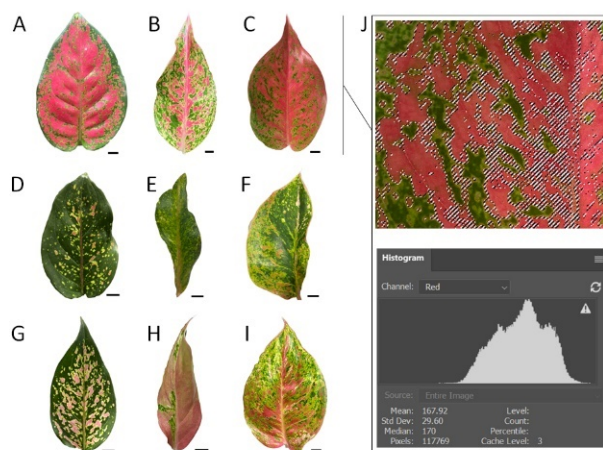


Figure 4 Comparison of wild-type leaf (A-C) and morphological changed characteristic of the 1st leaf (D-F) and the 3rd leaf (G-I) of *Aglaonema* 'Anyamanidaeng' (A, D and G), *Aglaonema* 'Kwakthong' (B, E and H) and *Aglaonema* 'Laksap' (C, F and I). Selected area of red color by Adobe Photoshop during pixel count. Scale bar = 1 cm

เมื่อตรวจสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของรุ่น M_1V_2 ในใบที่สามพบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงในแต่ละพันธุ์แตกต่างกัน โดยสีใบมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูง รูปร่างมีอัตราการเปลี่ยนแปลงปานกลาง ส่วนขนาดและการเกิดปื้นสีขาว สีแดง หรือสีเขียวที่ใบมีอัตราการเปลี่ยนแปลงต่ำที่สุด และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงรวมเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 60 โดยในพันธุ์หลักทรัพย์มีการเปลี่ยนแปลงรวมสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 89 และสูงกว่าในพันธุ์กวักทองประมาณ 2 เท่า แสดงให้เห็นว่าโกลนีมาแต่ละพันธุ์ตอบสนองต่อปริมาณรังสีแตกต่างกัน จากการทดสอบพบค่าประสิทธิภาพการกลายพันธุ์มีค่าเฉลี่ยเป็น 14 และในแต่ละพันธุ์มีค่าระหว่าง 11 – 30 ดังใน Table 1 ซึ่งสูงกว่าการชักนำให้แก้วพูเกิดการกลายพันธุ์ด้วยปริมาณรังสีแกมมา 100 – 400 Gy ที่มีค่าเพียง 0.01 – 0.06 (Raina et al., 2022) แสดงให้เห็นว่าปริมาณรังสีที่เลือกใช้ และวิธีการกระตุ้นให้เกิดยodrุ่น M_1V_2 ด้วยการตัดยอดเป็นวิธีการที่ช่วยให้พบลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปในระดับสูง

Table 1 Mutation rate and mutagenic effectiveness in M_1V_2 .

Cultivar	No. of plant observed	No. and (%) normal	No. and (%) of morphology changed in M_1V_2				Mutation rate (%)	Mutagenic effectiveness
			Color	Shape	Size	Patch		
Anyamanidaeng	30	13 (43)	15 (50)	3 (10)	3 (10)	2 (7)	57	19
Kwakthong	27	18 (67)	9 (33)	5 (19)	1 (4)	4 (15)	33	11
Laksap	27	3 (11)	21 (78)	12 (44)	3 (11)	3 (11)	89	30
Mean							60	14

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโกลนีมาพันธุ์การค้าที่ผ่านการคัดเลือก

หลังการคัดเลือกโกลนีมาจำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์อัญมณีแดง พันธุ์หลักทรัพย์ และพันธุ์กวักทอง ที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลง สามารถจำแนกการเปลี่ยนแปลงออกเป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วย (1) ต้นที่พื้นที่สีแดงมากขึ้น มีรายงานว่าเกิดจาก

คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์มีการสลายตัว แต่มีการสะสมแอนโทไซยานิน (Sun et al., 2022) (2) ต้นสีเขียวมากขึ้นคาดว่าเป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกับกลุ่มแรก และ (3) ต้นที่ปรากฏสีเขียวเป็นปื้นสีขาวในบางส่วนของใบ ก้าน และลำต้น (Figure 5) อาจเกิดจากการเจริญเติบโตของเซลล์ที่มีความบกพร่องของคลอโรฟิลล์ โดยในใบที่เป็นปื้นสีขาวมีรายงานว่าอาการดังกล่าวเกิดจากการแสดงออกของยีนที่ควบคุมการสร้างคลอโรฟิลล์ลดลง (Zhao et al., 2020)

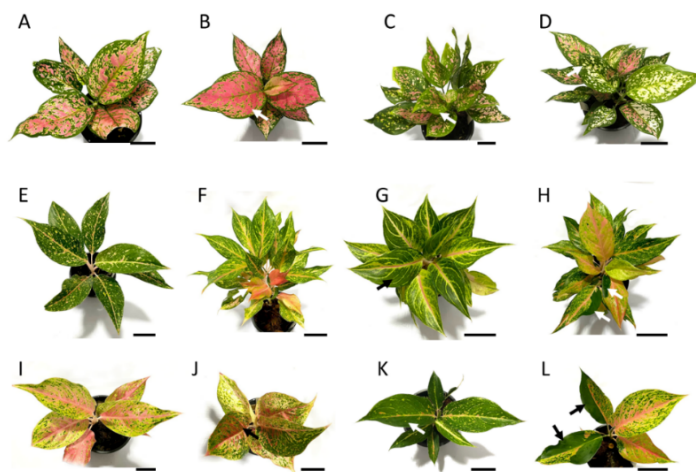


Figure 5 Morphological comparison of wild-type *Aglaonema* (A, E and I) and changed-leaf morphological from *Aglaonema* 'Anyamanidaeng' (B, C and D), 'Kwakthong' (F, G and H) and 'Laksap' (J, K and L) at 180 days after irradiation. Arrow indicates the changed-morphological characteristics including of increasing of red (B, F and J), increasing of green (C, G and K), and sectorial chimera (D, H and L). Scale bar = 5 cm

ลักษณะสีใบของพันธุ์อัญมณีแดง คัดเลือกต้นที่ใบมีสีแดงเข้มขึ้น พื้นสีเขียวมีจุดต่างสีแดง และมีลักษณะต่างเป็นปื้นพันธุ์วักทองคัดเลือกต้นที่ใบสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีชมพู และพันธุ์หลักทรัพย์คัดเลือกต้นที่ใบรูปร่างกลมพื้นสีแดงและเขียวที่ปรากฏแถบสีขาวแทรกอยู่ เพื่อให้เห็นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งในระดับอวัยวะและในระดับเซลล์ จึงนำใบแรกและใบที่สามของพันธุ์อัญมณีแดงที่ใบสีแดงเข้ม พันธุ์วักทองที่ใบสีชมพู และพันธุ์หลักทรัพย์ที่ใบมีขีดสีขาว ไปเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยากับต้นควบคุม พบว่าต้นที่ผ่านการคัดเลือกทุกต้นมีสัดส่วนสีเขียวของใบและความกว้างใบแตกต่างจากชุดควบคุมทั้งในใบแรกและใบที่สาม โดยความกว้างของใบแรกมีขนาดลดลงในทุกพันธุ์ แต่เมื่อทดสอบใบที่สามพบว่ามีความกว้างเพิ่มขึ้นในพันธุ์วักทองและพันธุ์หลักทรัพย์ ส่วนความยาวใบพบแตกต่างจากชุดควบคุมในพันธุ์อัญมณีแดงที่ใบแรกมีขนาดเล็กกว่าชุดควบคุม แต่ในใบที่สามกลับยาวมากกว่า ซึ่งคล้ายกับความยาวใบที่สามของพันธุ์วักทอง นอกจากนี้พบว่าความยาวก้านใบของใบที่สามของพันธุ์หลักทรัพย์มีแนวโน้มสั้นลงทำให้ทรงพุ่มแน่นขึ้น ดังใน Table 1 จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าต้นที่ผ่านการคัดเลือกมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเปลี่ยนไป โดยพบทั้งที่ส่งผลให้เกิดการยับยั้งและส่งเสริมการเจริญเติบโตรวมทั้งการสร้างเม็ดสีในอโกลนีมา ซึ่งอโกลนีมาที่ผ่านการคัดเลือกอาจได้รับผลกระทบและส่งผลให้ยีนบางกลุ่มที่ทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโตมีการทำงานเปลี่ยนแปลงไป เช่น ยีน *rca* (Rubisco activase) ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง (Yin et al., 2014) ในทางตรงกันข้ามอาจเกิด adaptive response คือมีการส่งสัญญาณไปยังเซลล์อื่น ๆ เพื่อสร้างสารในการป้องกันและซ่อมแซมความเสียหาย จึงสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ (Bonner, 2003) อย่างไรก็ตามลักษณะที่เปลี่ยนไปอาจเกิดจากการควบคุมโดยเอพิเจเนติกจึงอาจมีการเปลี่ยนแปลงกลับไปเป็นปกติได้ในเวลาต่อมาโดยเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการแสดงออกของยีนโดยไม่เปลี่ยนแปลงรหัสดีเอ็นเอ (Belli & Tabocchini, 2020) ซึ่งต้องศึกษาด้วยอนุพันธุศาสตร์ต่อไปจึงจะสามารถระบุได้ว่าเกิดจากสาเหตุใด

เมื่อตรวจสอบลักษณะขั้นผิวใบพบความยาวและความกว้างของปากใบเปลี่ยนแปลงไป ส่วนขนาดของเซลล์คุมพบว่าส่วนใหญ่ไม่ต่างจากชุดควบคุม แต่เมื่อตรวจสอบความหนาแน่นของปากใบพบว่าแตกต่างจากชุดควบคุมทั้ง 3 พันธุ์ โดยพบว่าปากใบมีความหนาแน่นสูงขึ้นในพันธุ์อัญมณีแดงและพันธุ์วักทอง ซึ่งอาจเกิดจากการกลายในระดับยีน ดังในรายงานของ Yu et al. (2020) ที่พบว่ายีน *rsd1* ในข้าวที่เกิดการกลายทำให้ปากใบเจริญเติบโตผิดปกติและทำให้ความหนาแน่นของปากใบลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงขนาดและความหนาแน่นของปากใบส่งผลโดยตรงต่อการคายน้ำ อุณหภูมิผิวใบ และมีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยน

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Yin et al., 2020) จึงอาจพบการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้แสงและอัตราการเจริญเติบโตของอโกลนีมา

Table 2 Leaf characteristics of selected plants in M₁V₂ generation

Cultivar	Leaf order	Dose (Gy)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Petiole length (cm)	Green (%)	Stomata size (μm)		Guard cell size (μm)		Stoma density (No./m ²)
							Length	Width	Length	Width	
Anyamanidaeng	1	0	12.42 ± 1.21	8.51 ± 0.47	8.84 ± 0.23	16.42 ± 0.68	221.09 ± 6.50	115.48 ± 9.36	238.85 ± 9.07	77.98 ± 10.09	4.71 ± 0.19
			9.20 ± 0.26	7.62 ± 0.60	6.72 ± 0.21	29.62 ± 3.88	214.18 ± 4.67	111.53 ± 4.77	243.79 ± 4.75	72.05 ± 5.86	5.09 ± 0.14
		T-test	**	**	**	**	*	ns	ns	ns	**
		3	9.97 ± 1.64	6.75 ± 0.54	5.85 ± 1.03	73.62 ± 5.24	194.44 ± 9.36	98.70 ± 8.06	237.87 ± 11.82	70.08 ± 3.12	2.56 ± 0.18
			11.25 ± 0.72	6.09 ± 0.66	6.49 ± 0.65	48.81 ± 5.40	216.15 ± 12.70	111.53 ± 21.35	239.84 ± 4.54	60.70 ± 2.39	4.18 ± 0.13
		T-test	*	*	ns	**	**	ns	ns	**	**
	3	0	15.45 ± 0.72	6.69 ± 0.86	7.11 ± 1.11	69.33 ± 2.57	243.30 ± 12.32	102.65 ± 5.10	258.59 ± 15.98	66.13 ± 4.77	4.10 ± 0.21
			14.20 ± 1.89	5.55 ± 0.83	7.24 ± 0.73	60.06 ± 3.51	223.06 ± 8.32	111.53 ± 9.36	246.75 ± 8.06	59.71 ± 8.84	4.33 ± 0.05
		T-test	ns	**	ns	**	**	*	ns	ns	**
		3	9.08 ± 0.87	3.55 ± 0.26	4.87 ± 0.32	45.20 ± 9.87	210.23 ± 4.7	114.49 ± 12.48	229.97 ± 4.35	62.18 ± 4.04	4.30 ± 0.18
			11.47 ± 0.59	5.03 ± 1.17	5.86 ± 0.47	25.28 ± 9.20	214.18 ± 5.3	91.79 ± 4.40	227.01 ± 4.47	66.13 ± 5.75	5.02 ± 0.11
		T-test	**	**	**	**	ns	**	ns	ns	**
Kwakthong	1	0	14.25 ± 0.54	7.61 ± 0.30	4.78 ± 0.21	44.93 ± 1.68	195.43 ± 18.49	88.83 ± 8.60	243.79 ± 4.55	65.14 ± 5.10	6.03 ± 0.06
			14.24 ± 0.42	7.31 ± 0.31	4.77 ± 0.22	47.77 ± 3.78	188.52 ± 14.30	76.00 ± 4.66	237.37 ± 8.21	50.83 ± 3.33	3.74 ± 0.30
		T-test	ns	*	ns	*	ns	**	*	**	**
		3	14.10 ± 1.60	6.50 ± 0.78	8.00 ± 0.82	75.18 ± 11.27	210.23 ± 4.77	107.09 ± 11.08	239.84 ± 4.77	62.18 ± 4.77	5.09 ± 0.20
			13.75 ± 0.26	7.75 ± 0.52	6.82 ± 0.50	84.47 ± 6.29	211.22 ± 11.59	73.53 ± 4.90	226.02 ± 12.70	63.17 ± 11.56	3.35 ± 0.19
		T-test	ns	**	**	*	ns	**	**	ns	**
	3	0	14.25 ± 0.54	7.61 ± 0.30	4.78 ± 0.21	44.93 ± 1.68	195.43 ± 18.49	88.83 ± 8.60	243.79 ± 4.55	65.14 ± 5.10	6.03 ± 0.06
			14.24 ± 0.42	7.31 ± 0.31	4.77 ± 0.22	47.77 ± 3.78	188.52 ± 14.30	76.00 ± 4.66	237.37 ± 8.21	50.83 ± 3.33	3.74 ± 0.30
		T-test	ns	*	ns	*	ns	**	*	**	**
		3	14.10 ± 1.60	6.50 ± 0.78	8.00 ± 0.82	75.18 ± 11.27	210.23 ± 4.77	107.09 ± 11.08	239.84 ± 4.77	62.18 ± 4.77	5.09 ± 0.20
			13.75 ± 0.26	7.75 ± 0.52	6.82 ± 0.50	84.47 ± 6.29	211.22 ± 11.59	73.53 ± 4.90	226.02 ± 12.70	63.17 ± 11.56	3.35 ± 0.19
		T-test	ns	**	**	*	ns	**	**	ns	**
Laksap	1	0	14.25 ± 0.54	7.61 ± 0.30	4.78 ± 0.21	44.93 ± 1.68	195.43 ± 18.49	88.83 ± 8.60	243.79 ± 4.55	65.14 ± 5.10	6.03 ± 0.06
			14.24 ± 0.42	7.31 ± 0.31	4.77 ± 0.22	47.77 ± 3.78	188.52 ± 14.30	76.00 ± 4.66	237.37 ± 8.21	50.83 ± 3.33	3.74 ± 0.30
		T-test	ns	*	ns	*	ns	**	*	**	**
		3	14.10 ± 1.60	6.50 ± 0.78	8.00 ± 0.82	75.18 ± 11.27	210.23 ± 4.77	107.09 ± 11.08	239.84 ± 4.77	62.18 ± 4.77	5.09 ± 0.20
			13.75 ± 0.26	7.75 ± 0.52	6.82 ± 0.50	84.47 ± 6.29	211.22 ± 11.59	73.53 ± 4.90	226.02 ± 12.70	63.17 ± 11.56	3.35 ± 0.19
		T-test	ns	**	**	*	ns	**	**	ns	**
	3	0	15.45 ± 0.72	6.69 ± 0.86	7.11 ± 1.11	69.33 ± 2.57	243.30 ± 12.32	102.65 ± 5.10	258.59 ± 15.98	66.13 ± 4.77	4.10 ± 0.21
			14.20 ± 1.89	5.55 ± 0.83	7.24 ± 0.73	60.06 ± 3.51	223.06 ± 8.32	111.53 ± 9.36	246.75 ± 8.06	59.71 ± 8.84	4.33 ± 0.05
		T-test	ns	**	ns	**	**	*	ns	ns	**
		3	9.08 ± 0.87	3.55 ± 0.26	4.87 ± 0.32	45.20 ± 9.87	210.23 ± 4.7	114.49 ± 12.48	229.97 ± 4.35	62.18 ± 4.04	4.30 ± 0.18
			11.47 ± 0.59	5.03 ± 1.17	5.86 ± 0.47	25.28 ± 9.20	214.18 ± 5.3	91.79 ± 4.40	227.01 ± 4.47	66.13 ± 5.75	5.02 ± 0.11
		T-test	**	**	**	**	ns	**	ns	ns	**

สรุปผลการศึกษา

การฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันแกต่อนอโกลนีมาสามารถประมาณค่า GR₅₀ และ LD₅₀ ได้เท่ากับ 3.25 Gy และ 4.5 Gy ตามลำดับ และรังสีแกมมาปริมาณ 3 Gy ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาที่สูงที่สุด เมื่อฉายรังสีแกมมาปริมาณ 3 Gy ในอโกลนีมาพันธุ์การค้า ประกอบด้วยอโกลนีมาพันธุ์อัญมณีแดง พันธุ์หลักทรัพย์ และพันธุ์กัททอง พบมีการเปลี่ยนแปลงสี ขนาด และรูปร่าง นอกจากนี้เมื่อตรวจสอบผิวใบของต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของปากใบ ดังนั้นการฉายรังสีปริมาณ 3 Gy จึงเหมาะสมสำหรับการสร้างความแปรปรวนของลักษณะทางสัณฐานวิทยาในอโกลนีมา

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษารังสีนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กสว.) โครงการวิจัยเรื่อง การส่งเสริมเกษตรกรให้สามารถพัฒนาพันธุ์อโกลนีมาด้วยรังสีแกมมาเพื่อเพิ่มมูลค่าทางการค้า (63A141000001) และขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Anne, S., & Lim, J. H. (2020). Mutation breeding using gamma irradiation in the development of ornamental plants: a review. *Flower Research Journal*, 28(3), 102-115.
- Belli, M., & Tabocchini, M. A. (2020). Ionizing radiation-induced epigenetic modifications and their relevance to radiation protection. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(17), 5993. <https://doi.org/10.3390/ijms21175993>
- Bonner, W. M. (2003). Low-dose radiation: thresholds, bystander effects, and adaptive responses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(9), 4973-4975.
- Choi, H. I., Han, S. M., Jo, Y. D., Hong, M. J., Kim, S. H., & Kim, J. B. (2021). Effects of acute and chronic gamma irradiation on the cell biology and physiology of rice plants. *Plants*, 10(3), 439. <https://doi.org/10.3390/plants10030439>
- Di Benedetto, A. H., & Cogliatti, D. H. (1990). Effects of light intensity and quality on the obligate shade plant *Aglaonema commutatum*. I. Leaf size and leaf shape. *Journal of Horticultural Science*, 65(6), 689-698.
- Du, Y., Feng, Z., Wang, J., Jin, W., Wang, Z., Guo, T., Chen, Y., Feng, H., Yu, L., Li, W., & Zhou, L. (2022). Frequency and spectrum of mutations induced by gamma rays revealed by phenotype screening and whole-genome re-sequencing in *Arabidopsis thaliana*. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(2), 654. <https://doi.org/10.3390/ijms23020654>
- Dwivedi, A. K., & Banerji, B. K. (2008). Effects of gamma irradiation on *Dahlia* cv. "Pinki" with particular reference to induction of somatic mutation. *Journal of Ornamental Horticulture*, 11(2), 148-151.
- Henny, R. J., Norman, D. J., & Chen, J. (2004). Progress in ornamental aroid breeding research. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 91(3), 464-472.
- Hong, M. J., Kim, D. Y., Jo, Y. D., Choi, H. I., Ahn, J. W., Kwon, S. J., Kim, S. H., Seo, Y. W., & Kim, J. B. (2022). Biological effect of gamma rays according to exposure time on germination and plant growth in wheat. *Applied Sciences*, 12(6), 3208. <https://doi.org/10.3390/app12063208>
- Hussein, H. A. A. (2022). Influence of radio-grain priming on growth, antioxidant capacity, and yield of barley plants. *Biotechnology Reports*, 34, e00724. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2022.e00724>
- Kovalchuk, I., Molinier, J., Yao, Y., Arkhipov, A., & Kovalchuk, O. (2007). Transcriptome analysis reveals fundamental differences in plant response to acute and chronic exposure to ionizing radiation. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 624(1-2), 101-113.
- Li, Q., Chen, J., McConnell, D. B., & Henny, R. J. (2007). A simple and effective method for quantifying leaf variegation. *HortTechnology*, 17(3), 285-288.
- Mahapatra, K., & Roy, S. (2020). An insight into the mechanism of DNA damage response in plants-role of suppressor of gamma response 1: an overview. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 819-820, 111689. <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2020.111689>
- Manova, V. & Gruszka, D. (2015). DNA damage and repair in plants—from models to crops. *Frontiers in Plant Science*, 6, 885. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00885>
- Nicolson, D. H. (1969). *A Revision of the Genus Aglaonema (Araceae): Smithsonian Contributions to Botany*. Smithsonian Institution Press.
- Pangjai, W., & Huehne, P. S. (2021). Gamma-ray induced morphological changes in rain lily (*Zephyranthes* spp.). *Khon Kaen Agriculture Journal*, 49(3), 643-655.
- Preuss, S. B., & Britt, A. B. (2003). A DNA-damage-induced cell cycle checkpoint in *Arabidopsis*. *Genetics*, 164(1), 323-334.

- Puripunyavanich, V., Piriaphattarakit, A., Chanchula, N., & Taychasinpitak, T., (2019). Mutation induction of In vitro *Chrysanthemum* by gamma irradiation. **Chiang Mai Journal of Science**, 46(3), 609-617.
- Raina, A., Laskar, R. A., Wani, M. R., Jan, B. L., Ali, S., & Khan, S. (2022). Comparative mutagenic effectiveness and efficiency of gamma rays and sodium azide in inducing chlorophyll and morphological mutants of cowpea. **Plants**, 11(10), 1322. <https://doi.org/10.3390/plants11101322>
- Ritonga, A. W., & Sukma, D. (2017). The effect of gamma irradiation to the phenotypic of Two *Aglonema* varieties. **Agrotech Journal**, 2(2), 21-26.
- Srichuai, P., Taychasinpitak, T., Wongchaochant, S., Patanakiat, S., & Piriaphattarakit, A. (2018). Effect of Acute Gamma Irradiation on *In Vitro* Culture of Node Climbing Ornamental Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.). **Thai Journal of Science and Technology**, 7(3), 239-248.
- Sun, S., Zhang, Q., Yu, Y., Feng, J., Liu, C., & Yang, J. (2022). Leaf coloration in *Acer palmatum* is associated with a positive regulator *ApMYB1* with potential for breeding color-leafed plants. **Plants**, 11(6), 759. <https://doi.org/10.3390/plants11060759>
- Wani, A. A. (2009). Mutagenic effectiveness and efficiency of gamma rays, ethyl methane sulphonate and their combination treatments in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Asian Journal of Plant Sciences**, 8(4), 318. <https://doi.org/10.3923/ajps.2009.318.321>
- Weyers, J. D., & Lawson, T. (1997). Heterogeneity in stomatal characteristics. **Advances in Botanical Research**, 26, 317–352.
- Yin, Q., Tian, T., Kou, M., Liu, P., Wang, L., Hao, Z., & Yue, M. (2020). The relationships between photosynthesis and stomatal traits on the Loess Plateau. **Global Ecology and Conservation**, 23, e01146. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01146>
- Yin, Z., Zhang, Z., Deng, D., Chao, M., Gao, Q., Wang, Y., Yang, Z., Bian, Y., Hao, D., & Xu, C. (2014). Characterization of RuBisCo activase genes in maize: an α -isoform gene functions alongside a β -isoform gene. **Plant Physiology**, 164(4), 2096-2106.
- Yu, Q., Chen, L., Zhou, W., An, Y., Luo, T., Wu, Z., Wang, Y., Xi, Y., Yan, L., & Hou, S. (2020). *RSD1* is essential for stomatal patterning and files in rice. **Frontiers in Plant Science**, 11, 600021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.600021>
- Zhao, M. H., Li, X., Zhang, X. X., Zhang, H., & Zhao, X. Y. (2020). Mutation mechanism of leaf color in plants: a review. **Forests**, 11(8), 851. <https://doi.org/10.3390/f11080851>