

ผลของการเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วย GA₃ และ IAA ในเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองอเมริกันลูกผสมต่างพันธุ์ Effects of Seed Coating with GA₃ and IAA on Different Cultivars of Hybrid American Marigold Seeds

พัฒนรัฐพงษ์ กันทา¹, ประนอม ยังกำมัน^{1*}, แสงเดือน อินชอนบต¹ และอรพินธุ์ สฤณดี¹
Pattapong Kanta¹, Pranom Yangkhamman^{1*}, Sangduan Inchonbot¹ and Orapin Saritnum¹

Received date: 2 มิ.ย. 68 Revised date: 18 พ.ย. 68 Accepted date: 18 พ.ย. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.267539>

บทคัดย่อ

การผลิตเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองมักพบปัญหาการแก่ของเมล็ดที่ไม่พร้อมกันจึงส่งผลให้การงอกและการเจริญของต้นกล้าที่ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของ GA₃ และ IAA ที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองอเมริกันลูกผสมจำนวน 3 พันธุ์ต่อคุณภาพการงอกของเมล็ดพันธุ์หลังการเคลือบและผลต่อการเจริญของต้นกล้า วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 4 กรรมวิธี ได้แก่ การไม่เคลือบเมล็ดพันธุ์ การเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วย IAA ความเข้มข้น 0.5% การเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วย GA₃ ความเข้มข้น 0.5% และการเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วย GA₃ ความเข้มข้น 1% หลังการเคลือบเมล็ดนำเมล็ดมาลดความชื้นเท่ากับ 7% จากนั้นนำเมล็ดมาเพาะทดสอบความงอกในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีเพาะบนกระดาษ (Top of paper) และโรงเรือนด้วยวิธีการเพาะในพีทมอส ผลการทดลอง พบว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองด้วย GA₃ ความเข้มข้น 0.5 และ 1% สามารถเพิ่มความเร็วในการงอกและลดเวลาเฉลี่ยในการงอกทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงเรือนได้ดีกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบ ยกเว้นพันธุ์ MG01 ที่มีความเร็วในการงอกที่ไม่แตกต่างจากเมล็ดไม่เคลือบเมื่อเพาะทดสอบในโรงเรือน อย่างไรก็ตาม พบว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองทั้ง 3 พันธุ์ ด้วย GA₃ ความเข้มข้น 0.5 และ 1% ยังส่งผลให้ต้นกล้าดาวเรืองมีการเจริญเติบโตด้านความยาวยอดและมีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าในโรงเรือนที่อายุ 14 วันหลังเพาะมากกว่าต้นกล้าจากเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความยาวรากไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี ในขณะที่การเคลือบเมล็ดทุกกรรมวิธีและการไม่เคลือบเมล็ดมีเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้าปกติทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงเรือนที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

คำสำคัญ: ความเร็วในการงอก การเจริญของต้นกล้า คุณภาพเมล็ดพันธุ์ สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

Abstract

The production of marigold seeds often faces the problem of uneven seed maturity, which results in inconsistent germination and seedling growth. Therefore, the objective of this experiment was to study the effect of appropriate concentrations of GA₃ and IAA for seed coating of three cultivars of hybrid American marigold seeds on seed germination and seedling growth. The experiment was conducted using a completely randomized design (CRD) with four treatments as follows: uncoated seeds, seed coating with 0.5% IAA, seed coating with 0.5% GA₃ and seed coating with 1.0% GA₃. After coating, the seeds were dried to 7% moisture content, and then seed germination was tested in the laboratory using the top of paper method and peat moss medium in the greenhouse. The results showed that seed coating with GA₃ concentrations of 0.5% and 1% on all three cultivars significantly increased the speed of germination and decreased the mean germination time compared to uncoated seeds under both laboratory and greenhouse conditions except one cultivar (MG01), which showed no significant difference with uncoated seed under greenhouse condition. However, coating the seeds of all three cultivars with GA₃ at concentrations of 0.5% and 1.0% significantly enhanced seedling growth in terms of shoot length and growth rate under greenhouse conditions at 14 days after sowing compared with seedlings from uncoated seeds. Meanwhile, no significant differences were observed in the germination percentage of normal seedlings among all treatments of seed coating, including uncoated seeds, under either laboratory or greenhouse conditions.

Keywords: speed of germination, seedling growth, seed quality, plant growth regulators

¹ สาขาวิชาพืชสวน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹ Division of Horticulture, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

* Corresponding author: pranomy@mju.ac.th

คำนำ

ดาวเรืองเป็นไม้ดอกที่นิยมปลูกกันทั่วไป มีรูปทรงดอกสวยงาม หลากหลายสี ดอกบานได้หลายวัน ดาวเรืองยังเป็นไม้ดอกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยที่สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรเนื่องจากปลูกง่ายเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย ปลูกได้ตลอดทั้งปี สามารถตัดดอกจำหน่ายได้ภายใน 60 – 70 วันหลังปลูก ดอกมีอายุการใช้งานที่นาน จึงนิยมปลูกเพื่อตัดดอกจำหน่ายในช่วงเทศกาล ประกอบพิธีทางศาสนา หรือร้อยเป็นพวงมาลัย และสามารถนำมาปลูกเพื่อเป็นไม้ประดับแปลงหรือไม้กระถางใช้ในการตกแต่งภูมิทัศน์ (Kasetsart University Research and Development Institute, 2015) นอกจากนี้ส่วนของกลีบดอกยังมีสารสำคัญในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ได้แก่ สารลูทีน (Lutein) และ ซีแซนทีน (Zeaxanthin) ที่สามารถสกัดมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ หรือนำกลีบดอกมาตากแห้งเพื่อชงเป็นชาดื่มบำรุงสายตา (Madhavan et al., 2018) การขยายพันธุ์ดาวเรืองวิธีที่นิยมคือการเพาะเมล็ด ซึ่งเมล็ดที่นำมาใช้ควรมีการงอกและการเจริญของต้นกล้าที่ดี แต่ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองปัญหาที่พบคือเมล็ดที่เก็บเกี่ยวนำมาใช้ในการงอกและการเจริญของต้นกล้าที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการแก่ของแต่ละเมล็ดไม่เท่ากันถึงแม้จะเก็บเมล็ดมาจากช่อดอกเดียวกัน ในการปฏิบัติที่ช่วยเพิ่มคุณลักษณะเหล่านี้สามารถทำได้โดยวิธียกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยการเคลือบเมล็ดร่วมกับสารออกฤทธิ์ที่มีผลต่อการส่งเสริมการงอกหรือการเจริญของต้นกล้า การเคลือบเมล็ดพันธุ์เป็นวิธีการนำสารกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีความบางเบาและมีความหนาแน่นที่สม่ำเสมอในลักษณะแบบฟิล์ม (film coating) มาเคลือบยึดกับผิวของเมล็ดพันธุ์ในลักษณะแผ่นฟิล์มบาง ๆ โดยการเคลือบเมล็ดจะเพิ่มสารออกฤทธิ์ต่าง ๆ เช่น สารป้องกันเชื้อรา สารป้องกันแมลง ธาตุอาหารพืช หรือ สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การเคลือบทำให้สารติดไปกับเมล็ดอย่างสม่ำเสมอและติดแน่นไม่หลุดร่วงระหว่างการนำเมล็ดไปใช้เพาะปลูก (Kangsopa, 2019) สารควบคุมการเจริญเติบโตที่ส่งผลต่อการงอกของเมล็ดมีอยู่หลายชนิดหนึ่งในนั้นได้แก่ กรดจิบเบอเรลลิก (Gibberellic Acid; GA₃) เป็นสารในกลุ่มจิบเบอเรลลินที่มีผลต่อการส่งเสริมการงอกของเมล็ด เพิ่มศักยภาพการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอได้ (Sun, 2008) นอกจากนี้จิบเบอเรลลินยังกระตุ้นให้สังเคราะห์เอนไซม์ amylase ที่มีส่วนในการเร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสของแป้งที่เก็บไว้ในส่วนสะสมอาหารภายในเมล็ดให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลที่จะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานสำหรับกระบวนการงอกของเมล็ด (Kaneko et al., 2002) ส่วนออกซิน (Auxin) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งมีอิทธิพลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาตั้งแต่การกำเนิดเอ็มบริโอไปจนถึงการสร้างอวัยวะใหม่ ออกซินที่นำมาใช้สำหรับควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ 1-naphthalene acetic acid (NAA), Indole-3- acetic acid (IAA) และ Indole-3-butyric acid (IBA) ฮอร์โมนพืชหลายชนิดมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมกระบวนการงอกของเมล็ด ได้แก่ IAA, GA₃ และเอทิลีน โดยเฉพาะในช่วงต้นของการงอกเป็นต้นกล้า พบว่า มีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับออกซินบริเวณปลายราก ซึ่ง IAA มีหน้าที่กระตุ้นการแบ่งเซลล์และส่งเสริมการเจริญของราก (Miransari and Smith, 2014) ทั้งนี้ Bialek et al. (1992) รายงานว่า IAA มีความจำเป็นต่อการพัฒนาของต้นอ่อน และ Thornalley (1990) แสดงให้เห็นว่า IAA มีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ Glyoxalase I ซึ่งมีส่วนช่วยในการเจริญและพัฒนาของเซลล์ในช่วงการงอกของเมล็ดด้วย

Hansuri and Siri (2018) รายงานว่าการเคลือบเมล็ดพันธุ์แต่งกลูทามิกด้วย GA₃ (4%) IAA (1.5%) NAA (0.1%) และ IBA (0.1%) รวมถึงการเคลือบด้วย GA₃ ร่วมกับ IAA, NAA หรือ IBA ตามความเข้มข้นดังกล่าวส่งผลให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตดีกว่าเมล็ดที่ไม่เคลือบในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้เมื่อเพาะเมล็ดพันธุ์ในโรงเรือน พบว่า เมล็ดที่เคลือบร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตในแต่ละกรรมวิธีมีอัตราการงอก ความเร็วในการงอก และความยาวลำต้นสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้เคลือบเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ Klarod and Siri (2016) รายงานว่าการเคลือบเมล็ดมะเขือเทศร่วมกับ IAA ที่ความเข้มข้น 2% ทำให้เมล็ดพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การงอกที่สูงขึ้น และการเคลือบเมล็ดด้วย GA₃ ความเข้มข้น 2% ส่งเสริมให้ต้นกล้ามีความยาวลำต้นและรากมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบ จากผลการวิจัยดังกล่าวมาแสดงให้เห็นว่าการเคลือบเมล็ดร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชมีผลต่อการงอกและการเจริญของต้นกล้า แต่อย่างไรก็ตามการนำสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชมาเคลือบกับเมล็ดแต่ละชนิดหรือแต่ละพันธุ์นั้นจะต้องทำการศึกษาถึงชนิดและความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ ซึ่งอาจมีความแตกต่างกันไปตามการตอบสนองของพืช ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลความเข้มข้นของ GA₃ และ IAA ที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองอเมริกันลูกผสมจำนวน 3 พันธุ์ต่อคุณภาพการงอกของเมล็ดพันธุ์หลังการเคลือบและผลต่อการเจริญของต้นกล้า ซึ่งกรรมวิธีที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการต่อยอดงานวิจัยที่เป็นส่วนหนึ่งของการทดลองในการทำวิทยานิพนธ์ (ไม่ได้ตีพิมพ์) โดยได้ศึกษาเบื้องต้นมาก่อนหน้านี้ในเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศส (*Tagetes patula*) ที่เคลือบเมล็ดด้วย GA₃ (ความเข้มข้น 0.5, 1, 1.5%) IAA (ความเข้มข้น 0.1, 0.25, 0.5%) NAA (ความเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.15%) จากผลทดลอง พบว่า GA₃ (ความเข้มข้น 0.5 และ 1 %) และ IAA (ความเข้มข้น 0.5%) มีผลต่อการเจริญของต้นกล้าที่ดีกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบเมื่อเพาะในสภาพโรงเรือน ดังนั้นจึงได้นำมาทำการทดลองขยายผลในครั้งนี้เพื่อทราบแนวทางสำหรับการนำมาใช้ประโยชน์เชิงปฏิบัติจริงทางการค้ากับเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองอเมริกัน (*Tagetes erecta*) พันธุ์ลูกผสมซึ่งเป็นประโยชน์ที่กว้างขึ้นต่อไป

วิธีการศึกษา

นำเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองอเมริกัน 3 พันธุ์ โดยให้รหัสแทนชื่อพันธุ์ดังนี้ พันธุ์ที่ 1 ‘MG01’ พันธุ์ที่ 2 ‘MG02’ และพันธุ์ที่ 3 ‘MG03’ ซึ่งทั้งหมดเป็นพันธุ์ทางการค้าลูกผสม F1 (F1 hybrid variety) ความบริสุทธิ์ทางกายภาพ 98% และ มีความงอก 90% ใน ทั้ง 3 พันธุ์ หลังรับเมล็ดพันธุ์มาได้ทำการคัดแยกลักษณะเมล็ดไม่สมบูรณ์ที่มีลักษณะเมล็ดลีบ เปลือกหุ้มเมล็ดเป็นสีน้ำตาลอ่อนซึ่งเป็นลักษณะที่ควรคัดออกก่อนการจำหน่าย โดยลักษณะเมล็ดสำหรับจำหน่ายนั้นควรมีความสมบูรณ์ไม่ลีบและเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นสีน้ำตาลเข้มถึงสีดำ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้นำลักษณะเมล็ดสำหรับการจำหน่ายดังกล่าวมาทำการศึกษา โดยเมล็ดมีน้ำหนักหลังการคัดแยกจำนวน 1,000 เมล็ดของแต่ละพันธุ์อยู่ที่ 4.22, 3.40 และ 4.03 กรัม ความชื้นเมล็ด 8.89, 8.80 และ 9.66% ตามลำดับ ดำเนินการทดลองเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 ณ ห้องปฏิบัติการเมล็ดพันธุ์พืชสวน และโรงเรียนสาขาพืชสวนระดับ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

ทำการเคลือบเมล็ดร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized design; CRD) โดยกำหนดให้มี 4 กรรมวิธี แต่ละกรรมวิธีมี 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด ดังรายละเอียด คือ กรรมวิธีที่ 1 ไม่ทำการเคลือบเมล็ดพันธุ์ (ชุดควบคุม) กรรมวิธีที่ 2 ทำการเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วย IAA ความเข้มข้น 0.5% กรรมวิธีที่ 3 ทำการเคลือบเมล็ดด้วย GA₃ ความเข้มข้น 0.5% และ กรรมวิธีที่ 4 ทำการเคลือบเมล็ดด้วย GA₃ ความเข้มข้น 1% นำเมล็ดพันธุ์ดาวเรือง 3 พันธุ์ มาเคลือบ โดยใช้สารเคลือบการค้ำสีแดง (Polymer Flare-1) ผสมน้ำอัตราส่วนโดยปริมาตร 70:30 สำหรับใช้เคลือบเมล็ดในทุกกรรมวิธี ในการดำเนินการเคลือบเมล็ดร่วมกับสาร GA₃ และ IAA ได้ทำการเตรียมสารผสมในน้ำและนำมาผสมร่วมกับสารเคลือบโดยปรับความเข้มข้นของ GA₃ และ IAA ตามแต่ละกรรมวิธี จากนั้นนำมาใช้สำหรับเคลือบเมล็ดปริมาณ 25 มิลลิกรัมต่อเมล็ดดาวเรือง 100 กรัม หลังจากเคลือบเมล็ดพันธุ์ตามแต่ละกรรมวิธีแล้วนำไปลดความชื้นเมล็ดในอุณหภูมิห้องโดยการผึ่งให้แห้งจนเมล็ดมีความชื้นเท่ากับ 7% จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ไปเพาะในห้องปฏิบัติการและโรงเรือนเพื่อประเมินผลการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าบันทึกผล คำนวณค่าต่าง ๆ และวิเคราะห์ข้อมูล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การตรวจสอบความงอกเมล็ดพันธุ์ (Seed germination test)

- การทดสอบความงอกในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Germination Test) เพาะเมล็ดบนกระดาษ (Top of Paper; TP) จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด ทำการประเมินผลความงอกทุกวันจนถึงวันที่ 7 หลังการเพาะ ซึ่งเป็นวันที่เมล็ดแสดงศักยภาพการงอกครบตามลักษณะที่ต้องประเมินแล้วทั้งหมดของจำนวนเมล็ดที่นำมาเพาะและเสร็จสิ้นก่อนถึงเวลาการตรวจนับครั้งสุดท้ายตามมาตรฐานของ International Seed Testing Association (International Seed Testing Association, 1993) ที่ กำหนดวันสุดท้ายของการนับ (final count) ที่ 14 วันหลังการเพาะ

- การทดสอบความงอกในโรงเรือน (Greenhouse Emergence Test) เพาะเมล็ดในถาดหลุมขนาด 200 หลุม โดยใช้พีทมอส (peat moss) เป็นวัสดุเพาะ นำถาดเพาะวางไว้ในโรงเรือน รดน้ำวันละ 2 ครั้ง โดยทำการประเมินผลความงอกทุกวันเป็นระยะเวลา 14 วัน

เวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Mean germination time; MGT)

การประเมินค่าเวลาเฉลี่ยในการงอกดำเนินการโดยเพาะเมล็ดในห้องปฏิบัติการโดยวิธีเพาะเมล็ดบนกระดาษ และโรงเรือนในถาดหลุม 200 หลุม โดยใช้พีทมอส โดยตรวจนับต้นกล้าปกติที่งอกทุกวันเป็นระยะเวลา 7 วันในห้องปฏิบัติการ และ 14 วันในโรงเรือน จากนั้นนำข้อมูลไปคำนวณค่าเวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดพันธุ์ (MGT) โดยใช้สูตรตาม Kulkarni et al. (2006) ดังนี้

$$MGT = \frac{\sum(n \times d)}{N}$$

N

เมื่อ n คือ จำนวนต้นกล้าปกติที่งอกในแต่ละวัน

d คือ จำนวนวันที่เมล็ดงอกหลังเพาะเมล็ด

N คือ จำนวนต้นกล้าปกติทั้งหมดที่งอกเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Speed of germination)

ตรวจนับต้นกล้าปกติที่งอกทุกวันเป็นระยะเวลา 7 วันในห้องปฏิบัติการ และ 14 วันในโรงเรือน จากนั้นนำข้อมูลไปคำนวณหาความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Association of Official Seed Analysts, 1983)

$$\text{ความเร็วในการงอก} = \frac{\text{จำนวนต้นกล้าปกติที่นับครั้งแรก}}{\text{วันหลังเพาะที่นับครั้งแรก}} + \dots + \frac{\text{จำนวนต้นกล้าปกติที่นับครั้งสุดท้าย}}{\text{วันหลังเพาะที่นับครั้งสุดท้าย}}$$

การเจริญเติบโตของต้นกล้า (Seedling growth test)

ทำการสุ่มต้นกล้าดาวเรืองในสภาพโรงเรือนอายุ 14 วันหลังเพาะ จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น นำมาหาความยาวยอด (shoot length) และความยาวราก (root length) ของต้นกล้า ทำการวัดความยาวยอดโดยวัดจากโคนต้นไปถึงปลายยอด และความยาวรากโดยวัดจากจุดเชื่อมต่อระหว่างรากและโคนต้นไปถึงปลายราก

อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า (Seedling growth rate)

นำต้นกล้าดาวเรืองในสภาพโรงเรือนอายุ 14 วันหลังเพาะ จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น จากต้นที่วัดค่าความยาวยอดและรากมาอบด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนต้นกล้าแห้งและมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำมาคำนวณค่าอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนต้นกล้าปกติ}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีด้วยวิธี Duncan's Multiply Range Test (DMRT)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

เปอร์เซ็นต์การงอก (Seed germination percentage)

การเคลือบเมล็ดด้วย GA₃ และ IAA ในทุกกรรมวิธีไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดดาวเรืองทั้งสามพันธุ์แตกต่างกันทางสถิติ (Table 1) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองด้วย GA₃ และ IAA ในทุกกรรมวิธีไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดดาวเรือง ซึ่งอาจเนื่องมาจากเมล็ดที่นำมาใช้ในการทดลองมีความงอกที่สูงอยู่แล้ว จึงทำให้อิทธิพลของสารออกฤทธิ์แสดงออกด้านความงอกได้ไม่ชัดเจน

Table 1 Effect of seed coating with GA₃ and IAA on seed germination percentage of marigold 'MG01' 'MG02' and 'MG03'

Treatments	Seed germination percentage (%)					
	MG01		MG02		MG03	
	Lab	Greenhouse	Lab	Greenhouse	Lab	Greenhouse
Uncoated seeds	96.5	99.5	94.0	98.5	96.5	97.5
0.5% IAA	96.5	98.5	95.0	98.5	94.0	97.5
0.5% GA ₃	97.0	98.0	94.0	99.0	91.5	97.5
1% GA ₃	97.0	98.0	91.5	99.0	92.5	97.0
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2.77	1.37	2.74	1.60	3.66	1.99

ns = non-significance.

เวลาเฉลี่ยในการงอก (Mean germination time)

หลังจากเคลือบเมล็ดด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโต แล้วนำไปเพาะในห้องปฏิบัติการ พบว่า เมล็ดดาวเรืองพันธุ์ 'MG01' และ 'MG02' ที่เคลือบด้วย GA₃ ความเข้มข้น 0.5 และ 1% งอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบ โดย 'MG01' ใช้เวลาเฉลี่ย 3.42 วัน และ 'MG02' ใช้เวลาเฉลี่ย 3.20–3.30 วัน ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบในแต่ละ

พันธุ์ คือ 3.65 และ 3.55 วัน ตามลำดับ แต่ในพันธุ์ ‘MG03’ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเคลือบด้วย GA_3 ทุกกรรมวิธีกับเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบ ในกรณีการทดสอบในโรงเรือน พบว่า ‘MG01’ ที่เคลือบด้วย GA_3 ความเข้มข้น 1% ใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกน้อยที่สุด คือ 3.70 วัน และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบและกรรมวิธีที่เคลือบด้วย IAA ความเข้มข้น 0.5% และ GA_3 ความเข้มข้น 0.5% คือ 3.90, 3.80 และ 3.85 วัน ตามลำดับ ส่วน ‘MG02’ ที่เคลือบด้วย GA_3 ความเข้มข้น 0.5% และ 1% ใช้เวลาเฉลี่ยในการงอก 3.15 และ 3.20 วัน ตามลำดับ ซึ่งต่างจากเมล็ดไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่มีเวลาเฉลี่ยในการงอกที่ 3.65 วัน สำหรับ ‘MG03’ พบว่า เมล็ดที่เคลือบด้วย GA_3 และ IAA ทุกกรรมวิธีมีเวลาเฉลี่ยในการงอกลดลงมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบในโรงเรือน (Table 2) แต่อย่างไรก็ตามโดยภาพรวมจากผลดังกล่าวแสดงถึงอิทธิพลของ GA_3 ที่มีผลต่อการลดเวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดทั้ง 3 พันธุ์ เมื่อทำการทดสอบความงอกทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงเรือน ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับบทบาทของ GA_3 ที่เมล็ดที่ช่วยกระตุ้นให้เมล็ดสังเคราะห์เอนไซม์ amylase ทำให้มีการเร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสของแป้งที่เก็บไว้ในส่วนสะสมอาหารภายในเมล็ดให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลที่จะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานสำหรับกระบวนการงอกของเมล็ด (Kaneko et al., 2002) ข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Bhadra et al. (2024) พบว่า การให้ GA_3 ความเข้มข้น 500 ppm กับเมล็ด *Tinospora cordifolia* (Willd.) ส่งผลให้เวลาเฉลี่ยในการงอกลดลงซึ่งสัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์ amylase ในเมล็ดที่เพิ่มขึ้น และมีปริมาณของน้ำตาลที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นสูงกว่าเมล็ดที่ไม่ได้รับ GA_3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 2 Effect of seed coating with GA_3 and IAA on mean germination time of marigold ‘MG01’ ‘MG02’ and ‘MG03’

Treatments	Mean germination time (days)					
	MG01		MG02		MG03	
	Lab	Greenhouse	Lab	Greenhouse	Lab	Greenhouse
Uncoated seeds	3.65 b	3.90 b	3.55 b	3.65 b	3.72 a	4.00 b
0.5% IAA	3.87 c	3.80 b	3.70 b	3.60 b	3.90 b	3.80 a
0.5% GA_3	3.42 a	3.85 b	3.30 a	3.15 a	3.65 a	3.81 a
1% GA_3	3.42 a	3.70 a	3.20 a	3.20 a	3.65 a	3.78 a
F-test	*	*	*	*	*	*
CV (%)	2.64	1.66	3.18	3.44	2.81	2.47

* Indicates statistical significance at $p \leq 0.05$.

Means in the same column followed by the same letter are non-significance difference at $p \leq 0.05$ by DMRT.

ความเร็วในการงอก (speed of germination)

หลังจากเคลือบเมล็ดด้วย GA_3 ความเข้มข้น 0.5 และ 1% แล้วนำไปเพาะในห้องปฏิบัติการ พบว่า เมล็ดดาวเรืองพันธุ์ ‘MG01’ และ ‘MG02’ มีความเร็วในการงอกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบ โดย ‘MG01’ มีค่าเฉลี่ย 14.35 และ 14.42 ต้นต่อวัน และ ‘MG02’ มีค่าเฉลี่ย 14.37 และ 14.47 ต้นต่อวัน ตามลำดับ เมื่อเพาะในโรงเรือน พบว่า เมล็ด ‘MG01’ ที่เคลือบด้วย GA_3 ความเข้มข้น 1% มีความเร็วในการงอกเฉลี่ยสูงสุดที่ 13.55 ต้นต่อวัน และแตกต่างทางสถิติจากเมล็ดไม่เคลือบและการเคลือบในกรรมวิธีอื่นๆ สำหรับ ‘MG02’ การเคลือบด้วย GA_3 ความเข้มข้น 0.5% ให้ผลดีที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 15.87 ต้น/วัน ซึ่งต่างจากเมล็ดไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญ ใน ‘MG03’ การเคลือบด้วย GA_3 ทั้ง 0.5% และ 1% ส่งผลให้ความเร็วในการงอกเพิ่มขึ้นทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงเรือน โดยมีค่าเฉลี่ย 12.77 และ 12.97 ต้นต่อวัน ในห้องปฏิบัติการ และ 13.00 และ 13.25 ต้นต่อวัน ในโรงเรือน ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญจากเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบ (Table 3) ซึ่งผลไปในทิศทางเดียวกับ Hansuri and Siri (2018) ซึ่งทำการเคลือบเมล็ดพันธุ์แตงกวาลูกผสมด้วยสารละลาย GA_3 ความเข้มข้น 4% ส่งผลให้เมล็ดมีความเร็วในการงอกเพิ่มขึ้น

การเจริญเติบโตของต้นกล้า (Seedling growth test) และ อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า (Seedling growth rate)

การเคลือบเมล็ดด้วย GA_3 ความเข้มข้น 0.5 และ 1% ส่งผลให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตด้านความยาวยอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบในดาวเรืองทั้ง 3 พันธุ์ คือ ‘MG01’ ความยาวยอด คือ 4.63 และ 4.80 เซนติเมตร ใน ‘MG02’ ความยาวยอด คือ 4.40 และ 4.53 เซนติเมตร และ ใน ‘MG03’ ความยาวยอด คือ 8.75 และ 8.03 เซนติเมตร

ตามลำดับ (Table 4) นอกจากนี้นักการเคลือบเมล็ดด้วย GA_3 ความเข้มข้น 0.5 และ 1% ยังส่งผลให้มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้ามากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพันธุ์ที่ 1 ‘MG01’ มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า 11.9 และ 12.0 มิลลิกรัมต่อต้น ใน ‘MG02’ มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า 12.6 และ 11.2 มิลลิกรัมต่อต้น และใน ‘MG03’ มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า 8.9 และ 9.9 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (Table 5) ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของการให้ GA_3 จากภายนอกกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นกล้าดาวเรืองได้ ซึ่ง Palepad et al. (2017) รายงานว่า GA_3 ที่เกิดจากการสังเคราะห์โดยเอนไซม์ของเมล็ดอาจไม่เพียงพอ ดังนั้น การให้ GA_3 จากภายนอกสามารถนำมาใช้เพื่อเสริมการออกฤทธิ์ร่วมกับ GA_3 ที่เมล็ดสร้างขึ้นและส่งผลต่อการเจริญของต้นกล้าได้ดีขึ้นโดยช่วยเพิ่มการแบ่งตัวของเซลล์และการยืดตัวของเซลล์ ส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตรวดเร็วกว่าปกติที่ไม่ได้ให้ GA_3 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mousavi et al. (2019) ได้รายงานว่าการใช้ GA_3 ความเข้มข้นมากกว่า 500 ppm ส่งผลให้เมล็ด *Datura stramonium* มีความยาวยอดสูงสุดและแตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ Tapfumaneyi et al. (2023) รายงานว่า ความยาวยอดของต้นกล้าผักโขมและผักเสี้ยนสูงชันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อให้ GA_3 ความเข้มข้น 500 ppm ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของต้นกล้าอาจเกิดจากการที่ต้นกล้ามีการงอกที่เร็ว มีการนำอาหารจากส่วนเนื้อเยื่อสะสมอาหารไปใช้ได้เร็วและมีการเจริญเติบโตของต้นที่ดีจึงมีผลต่อการที่ต้นกล้ามีความพร้อมในการสร้างอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้เร็วกว่า ซึ่งทำให้มีผลต่อการสะสมอาหารที่ต้นและมีพลังงานสำหรับนำไปใช้ในกระบวนการกระตุ้นให้เซลล์มีการเจริญเติบโตมากขึ้นและส่งเสริมการสังเคราะห์อินทรีย์สารของต้นพืช ซึ่งมีความสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้ง (Neto et al., 2024) และจากความยาวของลำต้นและรากที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของต้นกล้าเพิ่มขึ้น (Lay et al., 2013) ซึ่งส่งผลต่ออัตราการเจริญของต้นกล้าที่มากขึ้น

Table 3 Effect of seed coating with GA_3 and IAA on speed of germination of marigold ‘MG01’ ‘MG02’ and ‘MG03’

Treatments	Speed of germination (plants/day)					
	MG01		MG02		MG03	
	Lab	Greenhouse	Lab	Greenhouse	Lab	Greenhouse
Uncoated seeds	13.47 b	12.97 b	13.62 b	13.90 c	12.50 ab	12.37 b
0.5% IAA	12.57 c	13.07 b	13.07 b	14.05 c	12.15 b	12.97 ab
0.5% GA_3	14.35 a	12.97 b	14.37 a	15.87 a	12.77 a	13.00 a
1% GA_3	14.42 a	13.55 a	14.47 a	15.10 b	12.97 a	13.25 a
F-test	*	*	*	*	*	*
CV (%)	4.02	1.83	4.16	2.81	2.91	3.13

* Indicates statistical significance at $p \leq 0.05$.

Means in the same column followed by the same letter are non-significance difference at $p \leq 0.05$ by DMRT.

Table 4 Effect of seed coating with GA_3 and IAA on shoot length and root length of marigold ‘MG01’ ‘MG02’ and ‘MG03’ in greenhouse conditions

Treatments	Seedling length (cm)					
	MG01		MG02		MG03	
	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
Uncoated seeds	4.13 c	9.23	3.55 c	8.55	6.55 d	8.63
0.5% IAA	4.33 b	9.45	4.08 b	8.73	7.35 c	9.13
0.5% GA_3	4.63 a	9.03	4.40 a	8.48	8.75 a	9.45
1% GA_3	4.80 a	8.70	4.53 a	8.55	8.03 b	8.60
F-test	*	ns	*	ns	*	ns
CV (%)	2.74	9.68	3.82	4.32	5.18	14.37

ns = non-significance.; * indicates statistical significance at $p \leq 0.05$.

Means in the same column followed by the same letter are non-significance difference at $p \leq 0.05$ by DMRT.

Table 5 Effect of seed coating with GA₃ and IAA on seedling growth rate of marigold ‘MG01’ ‘MG02’ and ‘MG03’ in greenhouse condition

Treatments	Seedling growth rate (milligram/plant)		
	MG01	MG02	MG03
Uncoated seeds	9.4 b	9.5 c	7.1 c
0.5% IAA	10.3 ab	9.7 c	8.4 bc
0.5% GA ₃	11.9 a	12.6 a	8.9 ab
1% GA ₃	12.0 a	11.2 b	9.9 a
F-test	*	*	*
CV (%)	9.17	24.44	24.32

* Indicates statistical significance at $p \leq 0.05$.

Means in the same column followed by the same letter are not significant at $p \leq 0.05$ by DMRT.

สรุปผลการศึกษา

การเคลือบเมล็ดดาวเรืองอเมริกันลูกผสมทั้ง 3 พันธุ์ ด้วย GA₃ ความเข้มข้น 0.5 และ 1% สามารถเพิ่มความเร็วในการงอกและลดเวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ด โดยพันธุ์ MG01 สามารถลดเวลาในการงอกได้ประมาณ 1.20–5.52 ชั่วโมง พันธุ์ MG02 แสดงการตอบสนองต่อ GA₃ ได้ดีที่สุด สามารถลดเวลาในการงอกได้สูงสุดถึง 12 ชั่วโมง ขณะที่พันธุ์ MG03 ตอบสนองน้อยกว่า (ลดลงเพียง 1.68–5.28 ชั่วโมง) รวมทั้งยังส่งผลให้ต้นกล้าดาวเรืองมีการเจริญเติบโตของต้นกล้าด้านความยาวยอดและมียอดรากการเจริญเติบโตของต้นกล้าที่เพิ่มขึ้นดีกว่าเมล็ดไม่เคลือบ ในขณะที่การเคลือบและไม่เคลือบเมล็ดไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้าปกติที่ต่างกันทั้ง 3 พันธุ์ เมื่อเพาะทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงเรือน กรณีการเคลือบ IAA 0.5% มีผลเพียงเล็กน้อยต่อการงอกและการเจริญของต้นกล้า ไม่เพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอกอย่างมีนัยสำคัญและบางพันธุ์มีค่าเวลาเฉลี่ยในการงอกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ความเร็วในการงอกต่ำกว่า GA₃ ส่วนความยาวส่วนยอดและอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ขณะที่ความยาวรากไม่แตกต่างจากชุดควบคุม

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม (Idea) และ สมมุติฐาน: พัฒนารูปร่าง ก้นหา, ประนอน ยังคำนั่น. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ Criteria: พัฒนารูปร่าง ก้นหา, ประนอน ยังคำนั่น, แสงเดือน อินชนบท, อรพินธุ์ สฤษดิ์น้า. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: พัฒนารูปร่าง ก้นหา, ประนอน ยังคำนั่น. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้หรือทฤษฎีเดิม: พัฒนารูปร่าง ก้นหา, ประนอน ยังคำนั่น. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript ผลงานสร้างสรรค์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์: พัฒนารูปร่าง ก้นหา, ประนอน ยังคำนั่น. การให้การสนับสนุน specimens, study cohort, โลจิสติกส์ ทุนวิจัย เครื่องมือ ห้องปฏิบัติการครุภัณฑ์: พัฒนารูปร่าง ก้นหา, ประนอน ยังคำนั่น.

เอกสารอ้างอิง

- Association of Official Seed Analysts. (1983). **Seed vigor testing handbook: contribution No. 32**. Association of Official Seed Analysts.
- Bhadra, M., Mondal, S., Das, A., & Bandyopadhyay, A. (2024). Gibberellic acid treatment improves seed germination and seedling establishment in *Tinospora cordifolia* (Willd.) Hook. F. and Thoms. **Journal of Applied Biology and Biotechnology**, 12(4), 128-135. <https://doi.org/10.7324/jabb.2024.158607>.
- Bialek, K., Michalczyk, L., & Cohen, J. D. (1992). Auxin biosynthesis during seed germination in *Phaseolus vulgaris*. **Plant Physiology**, 100(1), 509-517. <https://doi.org/10.1104/pp.100.1.509>.
- Hansuri, J., & Siri, B. (2018). Effects of seed coating with mixed plant hormones for seed qualities enhancement of hybrid cucumber. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 46(3), 507-516. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj/article/view/250105>. (in Thai).
- International Seed Testing Association. (1993). **International Rules for Seed Testing**. International Seed Testing Association.
- Kaneko, M., Itoh, H., Ueguchi-Tanaka, M., Ashikari, M., & Matsuoka, M. (2002). The α -amylase induction in endosperm during rice seed germination is caused by gibberellin synthesized in epithelium. **Plant Physiology**, 128(4), 1264-1270. <https://doi.org/10.1104/pp.010785>.
- Kangsopa, K. (2019). Seed coating. **Journal of Agricultural Production**, 1(2), 63-76. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/japmju/article/view/210093>. (in Thai).
- Kasetsart University Research and Development Institute. (2015). **Agricultural Marigold Cultivation Research**. Retrieved from: <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=18932>. (in Thai).
- Klarod, K., & Siri, B. (2016). Effects of seed coating with plant hormones on the seed quality and seedling growth of tomato. **King Mongkut's Agricultural Journal**, 34(3), 143-156. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal/article/view/181029>. (in Thai).
- Kulkarni, M., Street, R., & Van Staden, J. (2006). Germination and seedling growth requirements for propagation of *Dioscorea dregeana* (Kunth) Dur. and Schinz — A tuberous medicinal plant. **South African Journal of Botany**, 73(1), 131-137. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2006.09.002>.
- Lay, P., Basvaraju, G. V., Sarika, G., & Amrutha, N. (2013). Effect of seed treatments to enhance seed quality of papaya (*Carica Papaya* L.) cv.Surya. **Global Journal of Biology, Agriculture and Health Sciences**, 2(3), 221-225. <https://www.longdom.org/articles/effect-of-seed-treatments-to-enhance-seed-quality-of-papaya-carica-papaya-l-cvsurya.pdf>.
- Madhavan, J., Chandrasekharan, S., Priya, M. K., & Godavarthi, A. (2018). Modulatory effect of carotenoid supplement constituting lutein and zeaxanthin (10:1) on anti-oxidant enzymes and macular pigments level in rats. **Pharmacognosy Magazine**, 14(54), 268. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29720843/>.
- Miransari, M., & Smith, D. (2014). Plant hormones and seed germination. **Environmental and Experimental Botany**, 99(1), 110-121. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.005>.
- Mousavi, L., Ishak, W. R. W., & Mousavi, M. (2019). Evaluation of physicochemical methods for dormancy breakage and germination of *Datura stramonium* seeds. **Journal of Chemical Health Risks**, 9(3), 217-224. <https://doi.org/10.22034/jchr.2019.668186>.
- Neto, F. J. D., Pimentel, A., Putti, F. F., Rodrigues, J. D., Ono, E. O., Tecchio, M. A., Leonel, S., & De Souza Silva, M. (2024). Effect of plant growth regulators on germination and seedling growth of *Passiflora alata* and *Passiflora edulis*. **Horticulturae**, 10(10), 1087. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10101087>.
- Palepad, K., Bharad, S., & Bansode, G. (2017). Effect of seed treatments on germination, seedling vigour and growth rate of custard apple (*Annona squamosa*). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, 6(6), 20-23. <https://www.phytojournal.com/archives/2017/vol6issue6/PartA/6-5-382-424.pdf>.
- Sun, T. (2008). Gibberellin Metabolism, perception and signaling pathways in Arabidopsis. **The Arabidopsis Book**, 6(1), e0103. <https://doi.org/10.1199/tab.0103>.
- Tapfumaneyi, L., Dube, P., Mavengahama, S., & Ngezimana, W. (2023). Effect of gibberellic acid and potassium nitrate seed treatments on the emergence and seedling vigor of Amaranth and *Cleome gynandra*. **Agrosystems Geosciences and Environment**, 6(1), e20359. <https://doi.org/10.1002/agg2.20359>.
- Thornalley, P. J. (1990). The glyoxalase system: new developments towards functional characterization of a metabolic pathway fundamental to biological life. **Biochemical Journal**, 269(1), 1-11. <https://doi.org/10.1042/bj2690001>.