

อิทธิพลของความเข้มและระยะเวลาการอบสนามไฟฟ้าและแม่เหล็กคงที่ต่ออัตราการงอกและการเจริญเติบโตของเมล็ดพันธุ์ข้าวมะลิ กข105

Effect of constant electric and magnetic field irradiation intensity and duration on RD105 jasmine rice seed germination rate and growth

ทศพล มานะศรี¹ และ กฤษดา ลิทธิศา^{2*}

1 สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และหุ่นยนต์ มหาวิทยาลัยนครพนม E-mail:thosapol@npu.ac.th

2 สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม E-mail:kitsada@npu.ac.th

1. บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงรายละเอียดการศึกษาการงอกของข้าวหอมมะลิพันธุ์ กข 105 ด้วยการใช้สนามแม่เหล็ก ทั้งในรูปแบบสนามแม่เหล็กคงที่ (Static Magnetic Field: SMF) และ สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field: EMF) ซึ่งส่งผลต่อเซลล์พืชในระดับโมเลกุล โดยช่วยกระตุ้นการเคลื่อนไหวของไอออนในเซลล์พืช ทำให้กระบวนการต่าง ๆ เช่น การงอกของเมล็ด การดูดน้ำ และการลำเลียงสารอาหารเกิดได้ดีขึ้น ซึ่งส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วและแข็งแรงขึ้น บทความนี้มีแนวคิดในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชโดยอาศัยพลังงานจากสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า เพื่อศึกษาผลของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิ กข 105 โดยมีเป้าหมายเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีเกษตรกรรมที่ยั่งยืน

คำสำคัญ: สนามแม่เหล็ก, สนามไฟฟ้า, กระตุ้นการงอกของข้าว

Abstract

This study describes the germination of RD105 jasmine rice using SMF and EMF. These fields affect plant cells at the molecular level by stimulating ion movement in plant cells, which improves seed germination, water uptake, and transport of nutrients. This results in faster and stronger plant growth. This study presents the design and construction of a device for stimulating plant growth using magnetic and electric field energy. Studying the effect of such technology application on the growth efficiency of RD105 jasmine rice to provide guidelines for the development of sustainable agricultural technology

Keywords: magnetic field, electric field, rice seed germination

2. บทนำ

ในปัจจุบันการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพความต้องการอาหารที่เพิ่มขึ้นควบคู่กับข้อจำกัดด้านทรัพยากรธรรมชาติและปัญหาสิ่งแวดล้อม แนวทางดั้งเดิมที่มุ่งพึ่งพาปุ๋ยเคมีและสารกระตุ้นการเจริญเติบโตมีข้อจำกัดทั้งในด้านต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีความจำเป็นในการพัฒนากระบวนการที่มีความปลอดภัยและเป็นมิตรกับระบบนิเวศและเพิ่มประสิทธิภาพการเพิ่มผลผลิตให้กับเกษตรกร ผู้วิจัยจึงมีความสนใจคือการใช้ ปัจจัยทางกายภาพ (physical stimuli) ได้แก่ สนามแม่เหล็ก (magnetic field) และสนามไฟฟ้า (electric field) เพื่อ

กระตุ้นการงอกและการเจริญเติบโตของเมล็ดพืชการประยุกต์ใช้สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าในกระบวนการทางการเกษตร การกระตุ้นด้วยสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าสามารถส่งผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของเมล็ดพืช โดยเฉพาะในระดับเซลล์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของไอออน การสังเคราะห์เอนไซม์ และการกระตุ้นสัญญาณทางชีวเคมี

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 สนามแม่เหล็กและคุณสมบัติของแม่เหล็กนีโอไดเมียม



รูปที่1 แม่เหล็กนีโอไดเมียม

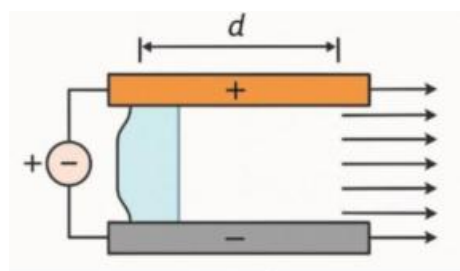
แม่เหล็กนีโอไดเมียม (Nd-Fe-B permanent magnet) เป็นวัสดุแม่เหล็กสมัยใหม่ที่มีความหนาแน่นพลังแม่เหล็กสูงที่สุดในบรรดาแม่เหล็กถาวรเชิงพาณิชย์ โดยมีโครงสร้างผลึกเตตระโกนัล Nd₂Fe₁₄B ที่ให้สมบัติ เฟอร์โรแมกเนติก (ferromagnetic property) ที่เสถียรที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องอย่างมาก ทำให้เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานในด้านที่ต้องการความเข้มของสนามแม่เหล็กสูง ข้อได้เปรียบสำคัญของแม่เหล็กนีโอไดเมียม ได้แก่ remanence (Br) และ coercivity (Hc) ที่สูง ส่งผลให้สามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่คงที่และยาวนาน อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดที่สำคัญคือ thermal instability ซึ่งทำให้สูญเสียสมบัติแม่เหล็กเมื่ออุณหภูมิเกินค่าการทำงานสูงสุด และ susceptibility to corrosion ที่จำเป็นต้องได้รับการเคลือบป้องกัน

2.1.2 สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (uniform electric field) เป็นระบบสนามที่มี field intensity (E-field strength) คงที่ทั้งขนาดและทิศทาง สามารถสร้างได้จากแผ่นตัวนำคู่ขนานภายใต้ความต่างศักย์ V และระยะห่าง d โดยมีสมการพื้นฐาน

$$E = \frac{V}{d}$$

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ



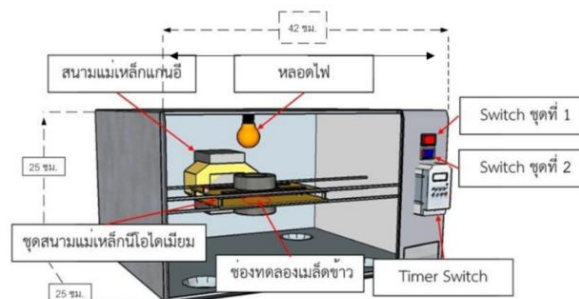
รูปที่ 2 สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

2.1.3. การกระตุ้นในการงอกของเมล็ด

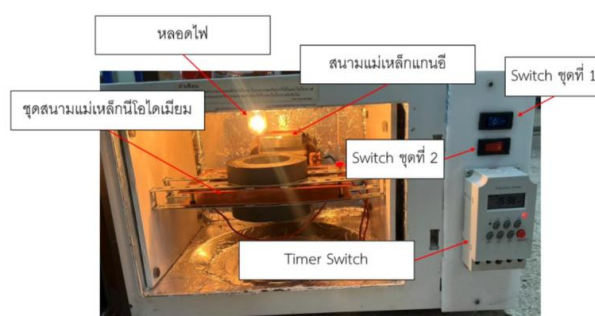
การงอกของเมล็ด (seed germination) เริ่มต้นจาก imbibition หรือ การดูดซึมน้ำเข้าสู่เมล็ด ซึ่งกระตุ้นให้เกิดการ metabolic reactivation ได้แก่ การสังเคราะห์เอนไซม์ใหม่ การเร่งอัตราการหายใจของไมโทคอนเดรีย และการสลายสารอาหารสำรอง เช่น แป้งและไขมัน เพื่อจัดหาพลังงาน และสารตั้งต้นสำหรับการพัฒนาเอ็มบริโอ สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าสามารถทำให้เกิด ion transport modulation และ cell signaling activation ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการกระตุ้นกระบวนการทางชีวเคมี เช่น การผลิต reactive oxygen species (ROS) และการเปลี่ยนแปลง membrane permeability ของเซลล์พืช

3. การออกแบบ

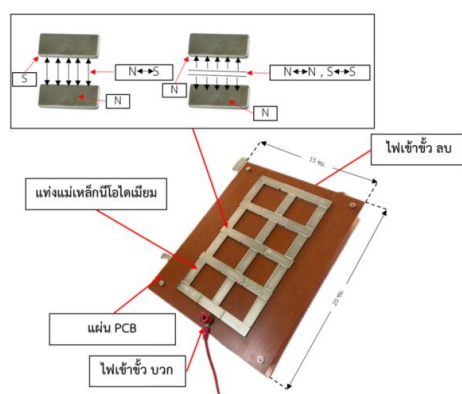
เครื่องต้นแบบที่ใช้ในการวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้ออกแบบเครื่องสร้างสนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็กคงที่ และสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของอัตราการงอกและการเจริญเติบโตภายใต้เงื่อนไขที่ต่าง โดยมีโครงสร้างดังนี้ ความกว้าง 25 เซนติเมตร ความยาว 42 เซนติเมตร และความสูง 25 เซนติเมตร ภายในโครงสร้างมีการติดตั้งอุปกรณ์ ขดลวดพันรอบแกนฮี ซึ่งทำหน้าที่เป็น แม่เหล็กไฟฟ้าทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field: EMF) ควบคุมโดยสวิตช์ที่หนึ่ง เพื่อเปิด-ปิดการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 12 โวลต์ 10 แอมแปร์ เข้าสู่ขดลวดและยังติดตั้งวงจรควบคุมเวลา เพื่อสามารถกำหนดระยะเวลาการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ตามค่าที่กำหนด ในส่วนของการสร้างสนามไฟฟ้าใช้สวิตช์ชุดที่สองในการควบคุมส่วนโครงสร้างขดสนามไฟฟ้าได้มีการใช้ แผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) 2 แผ่นโดยมีขนาด 20*20 เซนติเมตร และมีระยะห่างระหว่างแผ่นอยู่ที่ 1.5 เซนติเมตร เพื่อทำหน้าที่เป็นแผ่นอิเล็กโทรด โดยต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยที่ภาคจ่ายไฟมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอาต์พุตที่ 48 โวลต์ 5 แอมแปร์ ซึ่งจ่ายให้กับแผ่น PCB ทั้ง 2 แผ่น เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ (uniform electric field) ระหว่างแผ่นตัวนำ และด้านหลังแผ่นตัวนำทั้ง 2 แผ่นได้มีการติดตั้งแม่เหล็กนีโอไดเมียม (Nd-Fe-B permanent magnet) เพื่อเป็นชุดสร้างสนามแม่เหล็ก โดยที่ขั้วเหนือจะติดตั้งเข้ากับแผ่น PCB ขั้วบวก และ ขั้วใต้จะติดตั้งด้านหลังของแผ่น PCB ขั้วลบ



รูปที่ 3 ภาพ 3 มิติเครื่องกระตุ้นสนามแม่เหล็ก



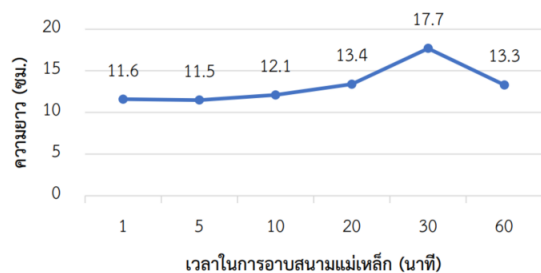
รูปที่ 4 เครื่องต้นแบบ



รูปที่ 5 แม่เหล็กที่ติดตั้งด้านหลังแผ่น PCB

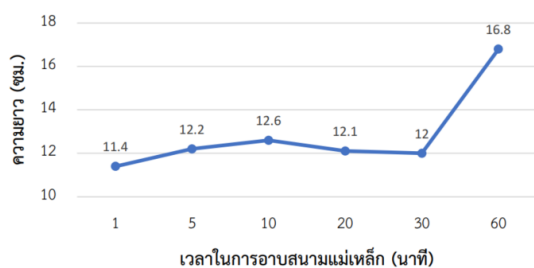
4. ขั้นตอนการทดลอง

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการภายใต้ สภาวะแวดล้อมที่มีการควบคุม เพื่อจำกัดอิทธิพลของตัวแปรแทรกซ้อนอื่น ๆ ให้อยู่ในระดับคงที่ อันได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นและแสง โดยเมล็ดพันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 ได้ผ่านกระบวนการอบด้วย สนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็กคงที่และสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยที่สนามแม่ไฟฟ้าในการวิจัยครั้งนี้จะใช้ค่าคงที่ ซึ่งได้จากการคำนวณจากสมการเบื้องต้น โดยจากการคำนวณ ค่าสนามไฟฟ้า อยู่ที่ 8 นิวตัน/คูลอมบ์ ส่วนความเข้มสนามแม่เหล็กที่ใช้ในการวิจัยมีค่าดังนี้ 82 mT, 100 mT และ 123 mT ตามลำดับสำหรับการทดลองในแต่ละระดับความเข้มสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ได้มีการกำหนดช่วงเวลาในการวิจัย ที่ 1, 5, 10, 20, 30 และ 60 นาที ในส่วนจำนวนเมล็ดพันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 ที่ใช้ในการวิจัย คือ 30 เมล็ดต่อชุด เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดแล้วที่ผ่านกระบวนการจะนำไปเพาะปลูกในกระถางที่เตรียมไว้



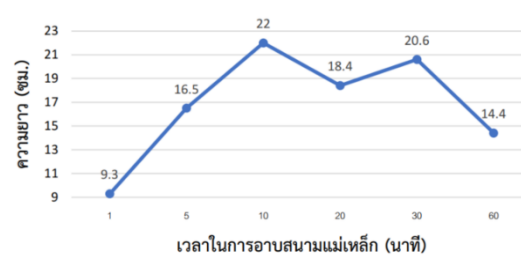
รูปที่ 6 ผลการอัตราการงอกของข้าวหอมมะลิ 105 ที่ความเข้ม 82 mT

ความยาวต้นข้าวที่ผ่านการอาบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ความเข้ม 82 mT โดยความเข้มชุดนี้เกิดจากสนามแม่เหล็กแม่เหล็กนีโอไดเมียม (Nd-Fe-B permanent magnet) ที่ติดตั้งด้านหลังแผ่น PCB และพร้อมกับการเปิดสนามไฟฟ้าและปิดวงจรสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แล้วทำการวัดค่าด้วยเกาส์มิเตอร์ ซึ่งผลการวัดเฉลี่ยอยู่ที่ 82 mT จากนั้นนำเมล็ดข้าววางภายในช่องว่างระหว่าง แผ่น PCB จากการทดลองพบว่าในช่วงเวลา 1-20 นาที ความยาวต้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 11.5 เซนติเมตรไปจนถึง 13.4 เซนติเมตร และมีค่าสูงสุดที่เวลา 30 นาที ซึ่งอยู่ที่ 17.7 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าการอาบเมล็ดด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตในด้านความยาวของต้นได้ อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาอาบนานถึง 60 นาที ความยาวต้นกลับลดลงเหลือ 13.3 เซนติเมตร ซึ่งเกิดจากผลกระทบของระยะเวลาที่ใช้ทำให้เมล็ดข้าวอาบพลังงานสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มากเกินไป



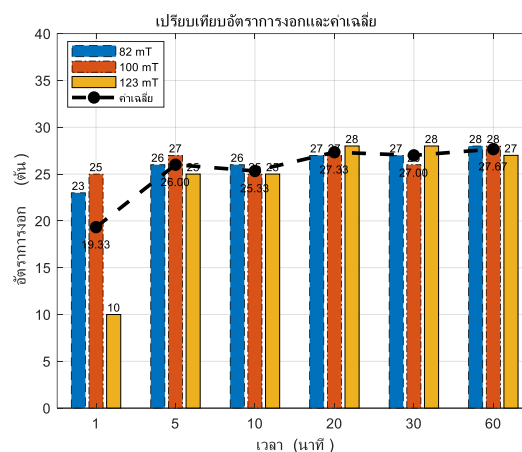
รูปที่ 7 อัตราการงอกของข้าวหอมมะลิ 105 ที่ความเข้ม 100 mT

จากการทดลองที่ระดับความเข้มของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก 100 mT ผู้วิจัยได้เพิ่มจำนวนแท่งแม่เหล็กเข้าไปในชุดแม่เหล็กถาวรเพื่อปรับค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กให้อยู่ที่ระดับที่ต้องการ โดยที่ค่าสนามไฟฟ้าคงที่ จากนั้นทำการวัดค่าสนามแม่เหล็กด้วยเกาส์มิเตอร์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 100 mT จากนั้นได้ดำเนินการทดลองตามระยะเวลาตามที่ได้ตามที่กำหนด จากการทดลองพบว่าช่วงเวลา 1 นาที ความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวอยู่ที่ 11.4 เซนติเมตรเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ 5 นาที (12.2 เซนติเมตร) และ 10 นาที (12.6 เซนติเมตร) อย่างไรก็ตาม 20 นาที ความสูงเฉลี่ยลดลงเล็กน้อยเป็น 12.1 เซนติเมตรที่ 30 นาที ความยาวใกล้เคียงเดิม คือ 12.0 เซนติเมตร แต่เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 60 นาที ความสูงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 16.8 เซนติเมตร จากผลการทดลองการอาบสนามแม่เหล็ก 100 mT เป็นระยะเวลานานถึง 60 นาที มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวหอมมะลิ 105 ได้อย่างชัดเจน แตกต่างจากระยะเวลาสั้นจะให้ผลเพียงเล็กน้อยหรือไม่ต่างกันมา



รูปที่ 8 ผลการอัตราการงอกของข้าวหอมมะลิ 105 ที่ความเข้ม 123 mT

จากการทดลองที่ระดับความเข้มสนามแม่เหล็ก 123 mT ผู้วิจัยได้ทำการเปิดวงจรสนามแม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับวงจรสนามไฟฟ้าและชุดแม่เหล็กถาวรพร้อมทั้งทำการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กด้วยเกาส์มิเตอร์ ค่า ซึ่งผลการวัดเฉลี่ยอยู่ที่ 123 mT จากนั้นทำการวางเมล็ดพันธุ์ภายในช่องว่างระหว่างแผ่น PCB และได้รับการอาบสนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field: EMF) ตามเวลาที่ได้กำหนดไว้ จากการทดลอง เวลา 1 นาที ความสูงของต้นกล้าอยู่ที่เพียง 9.3 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นชัดเจนที่ 5 นาที (16.5 เซนติเมตร) สูงสุดที่ 10 นาที (22.0 เซนติเมตร) แสดงให้เห็นว่าเมล็ดข้าวตอบสนองได้ดีที่สุด จากนั้นความยาวเริ่มลดลงที่ 20 นาที (18.4 เซนติเมตร) เพิ่มขึ้นอีกครั้งที่ 30 นาที (20.6 เซนติเมตร) และลดลงอีกครั้งที่ 60 นาที (14.4 เซนติเมตร) การอาบ สนามแม่เหล็ก 123 mT ที่ 10 นาทีเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นกล้า ส่งผลให้ต้นกล้ามีความยาวมากที่สุด หากอาบนานเกินไป เช่น 60 นาที อาจมีผลกระทบในเชิงลบ ส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าลดลง



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบอัตราการงอกและค่าเฉลี่ย

ผลการเปรียบเทียบอัตราการงอกของเมล็ดข้าวหอมมะลิ 105 ภายใต้การอาบสนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็กคงที่และสนามแม่เหล็กไฟฟ้า พบว่าเมล็ดพันธุ์มีการตอบสนองต่อความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน โดยจากการทดลองที่ระดับสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มต่างกัน ได้แก่ 82 mT, 100 mT และ 123 mT พบว่าผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า อัตราการงอกของในแต่ละระดับความเข้มมีความใกล้เคียงกัน แต่ความเข้มที่ 100 mT มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มอื่นๆ นอกจากนี้ ช่วงเวลาของการอาบสนามแม่เหล็ก พบว่า ระยะเวลา 60 นาที ให้ค่าเฉลี่ย

ของการงอกสูงสุด โดยมีจำนวนเมล็ดพันธุ์ที่งอกอยู่ที่ 27.67 เมล็ดซึ่งมากกว่าการทดลองในช่วงเวลาอื่นๆ

4.1 ตัวอย่างต้นข้าวหอมมะลิที่ผ่านกระบวนการทดลอง



รูปที่ 10 ต้นข้าวหอมมะลิ 105 ที่ความเข้มข้น 82 mT เวลา 10 วัน



รูปที่ 11 ต้นข้าวหอมมะลิ 105 ที่ความเข้มข้น 100 mT เวลา 10 วัน



รูปที่ 12 ต้นข้าวหอมมะลิ 105 ที่ความเข้มข้น 123 mT เวลา 10 วัน

5. อภิปรายและสรุปผล

ผลการวิจัยพบว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 มีการตอบสนองต่อการอบสนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็กคงที่ และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในลักษณะที่ต่างกัน ซึ่งพิจารณาจากความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ระดับ 82 mT, 100 mT และ 123 mT พบว่าอัตราการงอกของเมล็ดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ความเข้ม 100 mT มีผลดีที่สุด โดยเฉพาะเมื่อใช้เวลาอบสนาม 60 นาที ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของการงอกของเมล็ดพันธุ์สูงที่สุดที่ 27.67 เมล็ด ขณะที่ความเข้ม 82 mT และ 123 mT มีประสิทธิภาพต่ำกว่า เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของต้นกล้า จะเห็นว่า สนามแม่เหล็กที่ความเข้ม 123 mT

ให้ผลชัดเจนที่สุด โดยความสูงของต้นกล้าเพิ่มขึ้นจาก 9.3 เซนติเมตร (1 นาที) จนถึงค่าสูงสุด 22.0 เซนติเมตร (10 นาที) หลังจากนั้นความสูงลดลงที่ 20 นาที (18.4 เซนติเมตร) และแม้จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ 30 นาที (20.6 เซนติเมตร) แต่กลับลดลงอีกครั้งที่ 60 นาที (14.4 เซนติเมตร) แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการอบสนามคือ 10 นาที ซึ่งสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตได้สูงสุด ขณะที่การอบนานเกินไปอาจส่งผลในเชิงลบต่อการทดลองในการเปรียบเทียบ สนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็กคงที่ และสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าการใช้สนามแม่เหล็กคงที่ ที่เหมาะสมมีผลต่อการเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ดข้าว ในขณะที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเข้มสูงสามารถกระตุ้นการเจริญของต้นกล้าได้ดีในระยะเวลาที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม หากระยะเวลาอบสนามมากเกินไป จะเกิดผลเสีย เนื่องจากอาจทำให้สมดุลทางสรีรวิทยาของเมล็ดเสียไป หรือเกิดความเครียดต่อเนื้อเยื่อ ทำให้การอัตราการเจริญเติบโตลดลง กล่าวโดยสรุป การอบสนามแม่เหล็กคงที่ที่ 100 mT เป็นเวลา 60 นาที เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ด ขณะที่การอบสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ 123 mT เป็นเวลา 10 นาที ให้ผลดีที่สุดต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยทั้งความเข้มและระยะเวลาในการอบมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการงอกและการเจริญเติบโตของเมล็ดพันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ เครื่องมือ และความช่วยเหลือในการจัดทำบทความนี้ จนทำให้บทความนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] .Tiwanat Gaewsondee, Cherdpong Chiawchanwattana, Phirayot Khaengkan, Juckamas Laohavanich, Chanat Vipattanaporn, and Suphan Yangruen, "Influence of Dynamic Magnetic Field Exposure Duration on the Germination and Growth of Khao Dawk Mali 105 Rice Seed," *Agronomy*, vol.15, no.7, 2025, doi:10.3390/agronomy15071630.
- [2] . Waluyo, Lita LIDYAWATI, Rohana Rohana, and Mochamad Sanny HERMAWAN, "Comparisons of Rice Seed Growths Due to Alternating and Direct Current Electric and Magnetic Field Influences," *Electrotehnică, electronică, automatică*, 2024, doi: 10.46904/eea.23.72.2.1108005.
- [3] . Waluyo, Lita LIDYAWATI, Rohana Rohana, and Mochamad Sanny HERMAWAN, "Comparisons of Rice Seed Growths Due to Alternating and Direct Current Electric and Magnetic Field Influences," *Electrotehnică, electronică, automatică*, 2024, doi: 10.46904/eea.23.72.2.1108005.
- [4] N. Nordin et al., "Effect of seed germination and early seedling growth response on two rice (*Oryza sativa*) varieties supplied with different types and concentrations

of wastewater in Thailand,” JOURNAL OF BIOCHEMISTRY, MICROBIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY, 2023, doi:10.54987/joimb.v11i2.848.

- [5] Ismail Ercan et al., “Magnetic field effects on the magnetic properties, germination, chlorophyll fluorescence, and nutrient content of barley (*Hordeum vulgare* L.),” Plant physiology and biochemistry : PPB, vol. 170, 2022, doi: 10.1016/j.plaphy.2021.11.033.
- [6] . Jianfei Wang, Hui Ma, and Shunmin Wang, “Application of Ultrasound, Microwaves, and Magnetic Fields Techniques in the Germination of Cereals,” Food science and technology research, 2019, doi: 10.3136/fstr.25.489.
- [7] S. Lewandowska, I. Michalak, Katarzyna Niemczyk, J. Detyna, H. Bujak, and Pelin Arik, “Influence of the Static Magnetic Field and Algal Extract on the Germination of Soybean Seeds,” Open Chemistry, 2019, doi: 10.1515/chem-2019-0039.
- [8] Jaime A. Teixeira da Silva, and Judit Dobránszki, “Magnetic fields: how is plant growth and development impacted?,” Protoplasma, vol. 253, no. 2, 2016, doi: 10.1007/s00709-015-0820-7.
- [9] . M. Carbonnel, E. Martinez, M. Florez, R. Maqueda, A. Pintor-López, and J. M. Amaya, “Magnetic field treatments improve germination and seedling growth in *Festuca arundinacea* Schreb. and *Lolium perenne* L.,”, vol. 36, 2008, doi: 10.15258/sst.2008.36.1.03.
- [10] A. Gholami, S. Sharafi, and H. Abbasdokht, “Effect of Magnetic Field on Seed Germination of Two Wheat Cultivars,”, 2010.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ทศพล มานะศรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และ หุ่นยนต์
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยนครพนม
มีความสนใจเรื่อง IOTระบบการควบคุมอัตโนมัติ



กฤษฎดา สิทธิธิดา

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยนครพนม
มีความสนใจเรื่อง พลังงานทดแทน