

ผลของระยะเวลาในการฉายพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบรีเออร์ดิส ชาร์จต่อการเจริญเติบโต สารพฤกษเคมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านไกลโคเซชันในผักบุ้ง

Effect of dielectric barrier discharge plasma treatment duration on growth, phytochemicals, antioxidant, and antiglycation activities in kangkong

👤 **ประภาสิริ องค์กรักษ์¹**
Prapasiri Ongtrak¹

👤 **นพพร พูลยรัตน์²**
Nopporn Poolyarat²

👤 **เยาวพา จิระเกียรติกุล³**
Yaowapha Jirakiattikul³

👤 **ภาณุมาศ ฤทธิไชย^{3,*}**
Panumart Rithichai^{3,*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

²ศูนย์ความเป็นเลิศเทคโนโลยีนิวเคลียร์ขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) นครนายก 26120

³สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

¹Department of Biotechnology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani 12120

²Center of Advanced Nuclear Technology, Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization), Nakhon Nayok 26120

³Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani 12120

✉ *Corresponding author: panumart@tu.ac.th

ประวัติบทความ

รับเรื่อง: 13 สิงหาคม 2567

ปรับแก้ไข: 16 ตุลาคม 2567

รับตีพิมพ์: 8 พฤศจิกายน 2567

คำสำคัญ

ฤทธิ์ต้านไกลโคเซชัน

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

DBD พลาสมา

การเจริญเติบโต

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

บทคัดย่อ

ความเป็นมาและวัตถุประสงค์: พลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบรีเออร์ดิสชาร์จ (DBD พลาสมา) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ความร้อนและสารเคมี ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและสารพฤกษเคมีของพืช ผักบุ้งเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงจึงสามารถพัฒนาไปเป็นอาหารเพื่อสุขภาพได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการฉาย DBD พลาสมาต่อการเจริญเติบโต ปริมาณสารพฤกษเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และต้านไกลโคเซชันในผักบุ้ง

วิธีดำเนินการวิจัย: วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 5 ทรีตเมนต์ 3 ซ้ำ โดยนำเมล็ดผักบุ้งมาผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 5 10 15 และ 20 นาที เปรียบเทียบกับเมล็ดไม่ผ่านการฉายพลาสมาเป็นทรีตเมนต์ควบคุม จากนั้น นำมาปลูกและเก็บเกี่ยวที่อายุ 20 วันหลังเพาะเมล็ด บันทึกการเจริญเติบโต สารพฤกษเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านไกลโคเซชัน

ผลการวิจัย: เมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 10 นาที ให้ต้นที่มีน้ำหนักสดและแห้งสูงที่สุด ต้นผักบุ้งจากเมล็ดที่ผ่านการฉาย DBD พลาสมา เป็นเวลา 5–20 นาที มีปริมาณคลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด แคโรทีนอยด์ และกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดสูงโดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ผักบุ้งมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดเมื่อเมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 20 นาที ส่วนการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 10 นาที มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจาก

Keywords

Antiglycation

Antioxidant

DBD plasma

Growth

Principal component analysis

การอ้างอิง

ประภาสิริ องค์กรักษ์, นพพร พูลยรัตน์, เยาวพา จิระเกียรติกุล และ ภาณุมาศ ฤทธิไชย. 2568. ผลของระยะเวลาในการฉายพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดีสชาร์จต่อการเจริญเติบโต สารพฤกษเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านไกลเคชั่นในผักบุ้ง. ว. วิทย์. นวัตกรรม. 56(2): 75–87.

How to cite

Ongtrak, P., N. Poolyarat, Y. Jirakiattikul and P. Rithichai. 2025. Effect of dielectric barrier discharge plasma treatment duration on growth, phytochemicals, antioxidant, and antiglycation activities in kangkong. Agric. Sci. Innov. J. 56(2): 75–87.

ปฏิกิริยา FRAP สูงที่สุด แต่การฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 5 นาที ส่งผลให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยา DPPH และ ABTS รวมถึงฤทธิ์ต้านไกลเคชั่นสูงที่สุด

สรุป: การฉาย DBD พลาสมาให้กับเมล็ดผักบุ้งเป็นเวลา 10 นาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการส่งเสริมการเจริญเติบโต เพิ่มสารพฤกษเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และต้านไกลเคชั่นในผักบุ้ง

Abstract

Background and Objective: Dielectric barrier discharge (DBD) plasma is an innovative, non-thermal, and chemical-free technology with the potential to enhance plant growth and phytochemical production. Kangkong, known for its rich nutraceutical properties, offers significant potential for development into functional foods. Therefore, this study aimed to investigate the effect of DBD plasma treatment durations on the growth, phytochemical content, antioxidant activity, and antiglycation activity in kangkong.

Methodology: The experiment was conducted using a completely randomized design (CRD) with five treatments and three replications. Kangkong seeds were treated with DBD plasma for 5, 10, 15, and 20 minutes, while untreated seeds served as a control. The seeds were sown, and the kangkong plants were harvested 20 days after sowing. Plant growth, phytochemical content, antioxidant activities, and antiglycation activities were measured.

Main Results: Kangkong seeds treated with DBD plasma for 10 minutes produced plants with the highest fresh and dry weights. Kangkong grown from seeds treated with DBD plasma for 5–20 minutes had high levels of chlorophyll B, total chlorophyll, carotenoids, and ascorbic acid, with no significant differences observed between these durations ($P > 0.05$). The highest total phenolic content in kangkong was achieved when seeds were treated with DBD plasma for 20 minutes. The highest total flavonoid content and antioxidant activity by FRAP assay were found in kangkong from 10-minute DBD plasma treatment seeds. However, 5 minutes of DBD plasma exposure resulted in the highest antioxidant activities by DPPH and ABTS assays and the greatest antiglycation activity.

Conclusions: Treating kangkong seeds with DBD plasma for 10 minutes was the optimal duration to promote growth and increase phytochemical levels, antioxidant activities, and antiglycation activities in kangkong.

บทนำ

เทคโนโลยีพลาสมาเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ใช้ความร้อนและ

สารเคมี ไม่มีสารพิษตกค้าง รวมทั้งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และการเกษตร (Hati *et al.*, 2018) พลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดีสชาร์จ (DBD พลาสมา)

เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีพลาสมาที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก สร้างโดยอาศัยหลักการสะสมและคายประจุไอออนระหว่างอิเล็กโทรดคู่ขนานด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีความถี่ในช่วง 1–20 kHz (Chirokov *et al.*, 2005) สิ่งที่เกิดปฏิกิริยาในระหว่างกระบวนการฉายพลาสมา ประกอบไปด้วยอนุมูลอิสระออกซิเจนและไนโตรเจน (Reactive oxygen and nitrogen species; RONS) ต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โอโซน (O_3) ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) รวมทั้งไอออน อิเล็กตรอน ความร้อน และรังสียูวี ซึ่งสิ่งเหล่านี้เมื่อสัมผัสกับผิวเมล็ดจะกัดกร่อน ทำให้พื้นผิวบางลงและผิวเรียบขึ้น (Billah *et al.*, 2020) หรือมีการแตกตัวของพื้นผิว (Ongrak *et al.*, 2023) อนุภาคต่าง ๆ ในพลาสมามักจะสลายตัวไปอย่างรวดเร็ว แต่ส่วนที่สลายตัวช้า จะแทรกซึมผ่านเข้าไปในเมล็ด (Shelar *et al.*, 2022) เมื่อนำเมล็ดไปผ่านการฉายพลาสมาจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการต่าง ๆ เช่น การดูดน้ำของเมล็ด และการสร้างสารชีวเคมีภายในพืช (Waskow *et al.*, 2021)

การตอบสนองของพืชต่อพลาสมาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยระยะเวลาในการฉายพลาสมาให้กับเมล็ดเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากส่งผลทำให้พืชได้รับ RONS ในปริมาณที่ต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง H_2O_2 ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่สลายตัวช้า (Bauer, 2019) จากรายงานของ Aranda-Rivera *et al.* (2022) พบว่า H_2O_2 ในปริมาณต่ำจะส่งเสริมการเจริญเติบโต และการสร้างสารพฤกษเคมี แต่ในปริมาณสูงอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์พืชได้ นอกจากนี้ H_2O_2 ยังทำหน้าที่เป็นโมเลกุลส่งสัญญาณไปกระตุ้นกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีต่าง ๆ ในพืช กระตุ้นการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต การตอบสนองต่อความเครียดโดยสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อกำจัดความเครียดจากออกซิเดชัน ส่งเสริมการเจริญเติบโต และการสะสมสารพฤกษเคมี เช่น สารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ เป็นต้น ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Priatama *et al.*, 2022) ดังนั้น การฉายพลาสมาให้กับเมล็ดในระยะเวลาที่เหมาะสมจึงส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ (Nutraceutical) ของพืชได้ ซึ่งการบริโภคผักที่มีปริมาณสารพฤกษเคมีสูงจะช่วยลดและป้องกันการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-Communicable Diseases: NCDs) เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน โรคเมตาบอลิซึม และโรคอ้วน เป็นต้น (Ebert, 2022) การฉายพลาสมาให้กับเมล็ดในระยะเวลาที่เหมาะสม ส่งผลต่อการเพิ่มการเจริญเติบโตในพืชหลายชนิด เช่น ถั่วเขียวผิวดำ (Billah *et al.*, 2020) ทานตะวัน (Han *et al.*, 2021) และผักกาดหัว (Guragain *et al.*, 2022) เป็นต้น หรือเพิ่มสารพฤกษเคมี เช่น ผักกาดหอม (Rithichai *et*

al., 2020) ผักชีหูด (Luang-In *et al.*, 2021) และผักกาดเขียว (Saengha *et al.*, 2021) เป็นต้น

ผักบุ้ง (*Ipomoea aquatica*) เป็นผักที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เป็นพืชล้มลุกที่สามารถปลูกได้ทั้งในน้ำหรือในดินที่มีความชื้น ลำต้นกลวง ใบเดี่ยวรียาว ฐานใบเว้าเป็นรูปหัวใจ เมล็ดสีน้ำตาลเข้มถึงดำ ผักบุ้งมีอายุเก็บเกี่ยวสั้น 20–25 วันหลังเพาะเมล็ด (Kassanuk and Phasinam, 2021) สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลากหลาย เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ คาร์โบไฮเดรต (54.20%) รวมถึงมีเยื่อใยสูง (17.67%) แต่มีไขมันต่ำ (11.00%) (Umar *et al.*, 2007) นอกจากนี้ ยังมีสารประกอบฟีนอลิก (667.86 ± 0.07 mg GAE/g DW) ฟลาโวนอยด์ (305.39 ± 2.93 μ g RE/g) และคลอโรฟิลล์ (299.57 ± 0.03 mg/g) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้านไกลโคซีน ด้านมะเร็ง และด้านการอักเสบอีกด้วย (Sajak *et al.*, 2016; Sultana *et al.*, 2021) จะเห็นได้ว่าผักบุ้งเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการและโภชนเภสัชสูง ซึ่งการเพิ่มคุณสมบัติดังกล่าวจะทำให้สามารถพัฒนาผักบุ้งไปเป็นอาหารเพื่อสุขภาพและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผักบุ้งได้อีกด้วย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการฉาย DBD พลาสมาที่ระยะเวลาแตกต่างกันต่อการเจริญเติบโต สารพฤกษเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านไกลโคซีนในผักบุ้ง

อุปกรณ์และวิธีการ

การฉาย DBD พลาสมา

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 5 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ โดยนำเมล็ดผักบุ้งมาฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 5 10 15 และ 20 นาที เปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านการฉายพลาสมาเป็นทรีตเมนต์ควบคุม เมล็ดผักบุ้งพันธุ์บรรพบุรุษ นำมาจากร้านสามารถการเกษตร ซึ่งเป็นเมล็ดพันธุ์ที่ผลิตและเก็บเกี่ยวในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี เมล็ดมีความชื้น 10.60% และความงอก 57% การฉาย DBD พลาสมาใช้เครื่องกำเนิด DBD พลาสมา ณ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) จังหวัดนครนายก ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2565 โดยนำเมล็ดผักบุ้ง จำนวน 300 เมล็ด มาฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 5 10 15 และ 20 นาที ที่แรงดันไฟฟ้า 5.5 kV และความถี่ 4.0 kHz ตามวิธีการของ Ongrak *et al.* (2023)

การเจริญเติบโตของผักบุ้ง

นำเมล็ดผักบุ้งที่ไม่ผ่านและผ่านการฉาย DBD พลาสมาไปปลูกในกระถางที่บรรจุพีทมอส (Remix Professional) ขนาด

30 × 45 × 15 เซนติเมตร (กว้าง × ยาว × สูง) ปลูกร้อย 5 แถว แถวละ 50 เมล็ด แต่ละแถวห่างกัน 6 เซนติเมตร วางในโรงเรือน หลังคาพลาสติกของสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จังหวัดปทุมธานี ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2565 ให้น้ำทุกวัน เก็บเกี่ยวผักบุ้งที่อายุ 20 วันหลังเพาะเมล็ด โดยตัดโคนต้นเหนือวัสดุปลูก สุ่มตัวอย่าง 1 ครั้ง จำนวน 10 ต้น ต่อซ้ำ บันทึกความสูงต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง โดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง คำนวณน้ำหนักแห้งจาก น้ำหนักหลังอบต่อจำนวนต้นที่ใช้ทดสอบ ผักบุ้งที่เหลือตัดบริเวณโคนต้นเหนือวัสดุปลูก จากนั้น นำลำต้นและใบ ผักบุ้งมาแช่ในไนโตรเจนเหลวและทำให้แห้งด้วยเครื่อง freeze dryer (GOLD-SIM FD5-8) และบดละเอียดเพื่อทำการสกัดในการวิเคราะห์สารฟลักซ์เคมี

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

นำตัวอย่างผักบุ้งแห้งบดละเอียดจำนวน 0.1 กรัม มาสกัดด้วย 95% เอทานอล 5 มิลลิตร นำส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 665 และ 649 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer (Shimadzu Europe UV-1208) วิเคราะห์ปริมาณสารคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ ตามวิธีการของ Gunathilake and Ranaweera (2016) คำนวณค่าดังกล่าวจากสมการของ Lichtenthaler and Wellburn (1983) รายงานผลในหน่วยของ $\mu\text{g/g dry weight (DW)}$

การเตรียมส่วนสกัดหยาบ

นำตัวอย่างผักบุ้งแห้งบดละเอียดจำนวน 1 กรัม มาสกัดด้วย 70% เอทานอล 75 มิลลิตร เขย่าด้วยเครื่อง shaker เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองและนำไประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่อง evaporator® R-300 และระเหยตัวทำละลายอีกครั้งด้วยเครื่อง freeze dryer ตามวิธีการของ Ongtrak (2018) นำตัวอย่างส่วนสกัดหยาบไปวิเคราะห์ปริมาณสารฟลักซ์เคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านไกลโคเจนต่อไป

การวิเคราะห์ปริมาณสารฟลักซ์เคมี

กรดแอสคอร์บิกทั้งหมด วิเคราะห์ตามวิธีการของ Kapur *et al.* (2012) โดยละลายส่วนสกัดหยาบใน 5% metaphosphoric acid จากนั้น เติม 0.02% indophenol, 2% thiourea และ 2% 2,4-dinitrophenol บ่มใน water bath ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 นาที เติม 85% sulfuric acid ตั้งทิ้งไว้ที่

อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง 96-well microplate reader (Power wave XS, Bio-tek) คำนวณปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดจากสมการของกราฟมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก รายงานผลในหน่วยของ $\text{mg/g dry extract (DE)}$

สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด วิเคราะห์ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric ตามวิธีการของ Rithichai *et al.* (2021) โดยนำสารละลายส่วนสกัดหยาบมาทำปฏิกิริยากับ Folin reagent และ Na_2CO_3 วางในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง 96-well microplate reader คำนวณปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดจากสมการของกราฟมาตรฐาน กรดแกลลิก รายงานผลในหน่วยของ mg GAE/g DE

สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด วิเคราะห์ด้วยวิธี aluminum chloride colorimetric method ตามวิธีการของ Rithichai *et al.* (2021) โดยนำสารละลายส่วนสกัดหยาบมาทำปฏิกิริยากับ 5% NaNO_2 และ 10% AlCl_3 จากนั้น เติม 1M NaOH และน้ำกลั่น นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง 96-well microplate reader คำนวณปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดจากสมการของกราฟมาตรฐานเคอควิติดิน รายงานผลในหน่วยของ mg QE/g DE

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay วิเคราะห์ตามวิธีการของ Rithichai *et al.* (2021) นำสารละลายส่วนสกัดหยาบมาทำปฏิกิริยากับ สารละลาย DPPH ตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง 96-well microplate reader ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH คำนวณได้จากสมการ

$$\% \text{Inhibition} = \left[\frac{(\text{Abs}_{\text{control}} - \text{Abs}_{\text{sample}})}{\text{Abs}_{\text{control}}} \right] \times 100$$

เมื่อ $\text{Abs}_{\text{control}}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของ control และ $\text{Abs}_{\text{sample}}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของ sample

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี 2,2' azinobis-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate (ABTS) assay วิเคราะห์ตามวิธีการของ Puccinelli *et al.* (2022) นำสารละลายส่วนสกัดหยาบมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย ABTS^+ จากนั้น นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ด้วย

เครื่อง 96-well microplate reader ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS คำนวณเช่นเดียวกับวิธี DPPH assay

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay ตามวิธีการของ Alrifai *et al.* (2020) นำสารละลายส่วนสกัดหยาบมาทำปฏิกิริยากับ FRAP reagent จากนั้น นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง 96-well microplate reader คำนวณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยา FRAP จากสมการของกราฟมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก รายงานผลในหน่วยของ $\mu\text{mol AAE/mg DE}$

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านไกลเคชั่น

ฤทธิ์ต้านไกลเคชั่นโดยวิธี BSA-glucose assay วิเคราะห์ตามวิธีการของ Ongrak (2018) ละลายส่วนสกัดหยาบใน 1.5 M phosphate buffer (pH 7.4) นำมาทำปฏิกิริยากับ BSA solution จากนั้น เติม 0.3 g/L NaN_3 เพื่ออยู่ในสภาพปลอดเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน และนำไปวัดค่า fluorescence intensity ที่ excitation 330 นาโนเมตร และ emission 410 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง fluorescence spectrophotometer (Thermo Scientific Variscan Lux) ค่าการยับยั้งการเกิด Advanced Glycation End-products (AGEs) คำนวณจาก $\% \text{Inhibition} = [1 - (\text{Fluorescence of the solution with inhibitors} / \text{Fluorescence of the solution without inhibitors})] \times 100$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์ด้วยวิธี Tukey's honestly significant difference (HSD) test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วย IBM SPSS Statistics V21.0. วิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA) ของการเจริญเติบโต สารพฤกษเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และต้านไกลเคชั่นของผักบุ้งที่ปลูกจากเมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสมาที่ระยะเวลาต่าง ๆ ด้วย JMP statistical software

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของระยะเวลาในการฉาย DBD พลาสมาต่อการเจริญเติบโต

เมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 5–20 นาที ให้ผักบุ้งที่มีความสูงต้นอยู่ระหว่าง 27.70 ± 1.27 ถึง 30.40 ± 0.93 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าต้นที่ปลูกจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการ

ฉายพลาสมาอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$; Figure 1A) เมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 10 นาที ให้ต้นที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงสุด $1,890.85 \pm 246.17$ และ 171.23 ± 7.69 mg/plant ตามลำดับ แต่เมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 15 และ 20 นาที ทำให้ต้นมีน้ำหนักแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$; Figures 1B–1C) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การนำเมล็ดผักบุ้งไปผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 10 นาที ส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักบุ้ง ทั้งนี้ เนื่องจากการฉาย DBD พลาสมาในระยะเวลาที่เหมาะสมจะทำให้เมล็ดได้รับ RONS ในปริมาณที่สามารถทำหน้าที่เป็นโมเลกุลส่งสัญญาณในกระบวนการทางชีวเคมีหลายกระบวนการ เช่น การกระตุ้นการแบ่งเซลล์และการยืดยาวของเซลล์ ส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก ทำให้รากสามารถดูดน้ำและสารอาหารได้ดีขึ้น รวมถึงกระตุ้นการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ GRFs และ TOR โดยเกี่ยวข้องกับการสร้างฮอร์โมนออกซิน และไซโทไคนิน จึงส่งผลต่อการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (Adhikari *et al.*, 2020; Burkart and Brandizzi, 2021) ทั้งนี้ ปริมาณ RONS ที่ทำหน้าที่เป็นโมเลกุลส่งสัญญาณแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (Devireddy *et al.*, 2021) ในขณะที่ เมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสมาที่ระยะเวลานานเกินไป 15 และ 20 นาที ส่งผลทางลบต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้ง ผลการทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Billah *et al.* (2020) ที่พบว่า การนำเมล็ดถั่วเขียวผิวดำมาฉายพลาสมาเป็นเวลา 20–120 วินาที ทำให้ต้นอ่อนมีการเจริญเติบโตสูงขึ้น แต่การฉายพลาสมาเป็นเวลา 180 วินาที มีการเจริญเติบโตลดลง การฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 10 วินาที ให้กับเมล็ดแดงกวาส่งผลให้ต้นมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ในขณะที่ การฉายพลาสมาเป็นเวลา 50 วินาที มีการเจริญเติบโตลดลง (Štěpánová *et al.*, 2018) นอกจากนี้ ต้นอ่อนทานตะวันเจริญเติบโตสูงขึ้นเมื่อปลูกจากเมล็ดผ่านการฉายพลาสมาเป็นเวลา 5 และ 15 นาที แต่มีการเจริญเติบโตลดลงเมื่อปลูกจากเมล็ดผ่านการฉายพลาสมาเป็นเวลา 30 นาที (Han *et al.*, 2021) การฉายพลาสมาที่ระยะเวลานานเกินไปทำให้เมล็ดเกิดความเครียดและเสื่อมคุณภาพ เมื่อนำเมล็ดมาปลูกจึงมีการเจริญเติบโตลดลง (Štěpánová *et al.*, 2018) อย่างไรก็ตาม การฉายพลาสมาบนเมล็ดข้าวเป็นเวลา 2–20 นาที ต้นอ่อนมีความยาวรากสูงขึ้นตามระยะเวลาการฉายที่นานขึ้น (Shaer *et al.*, 2023) จะเห็นได้ว่า การนำเมล็ดมาผ่านการฉายพลาสมาส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการฉายและชนิดของพืช

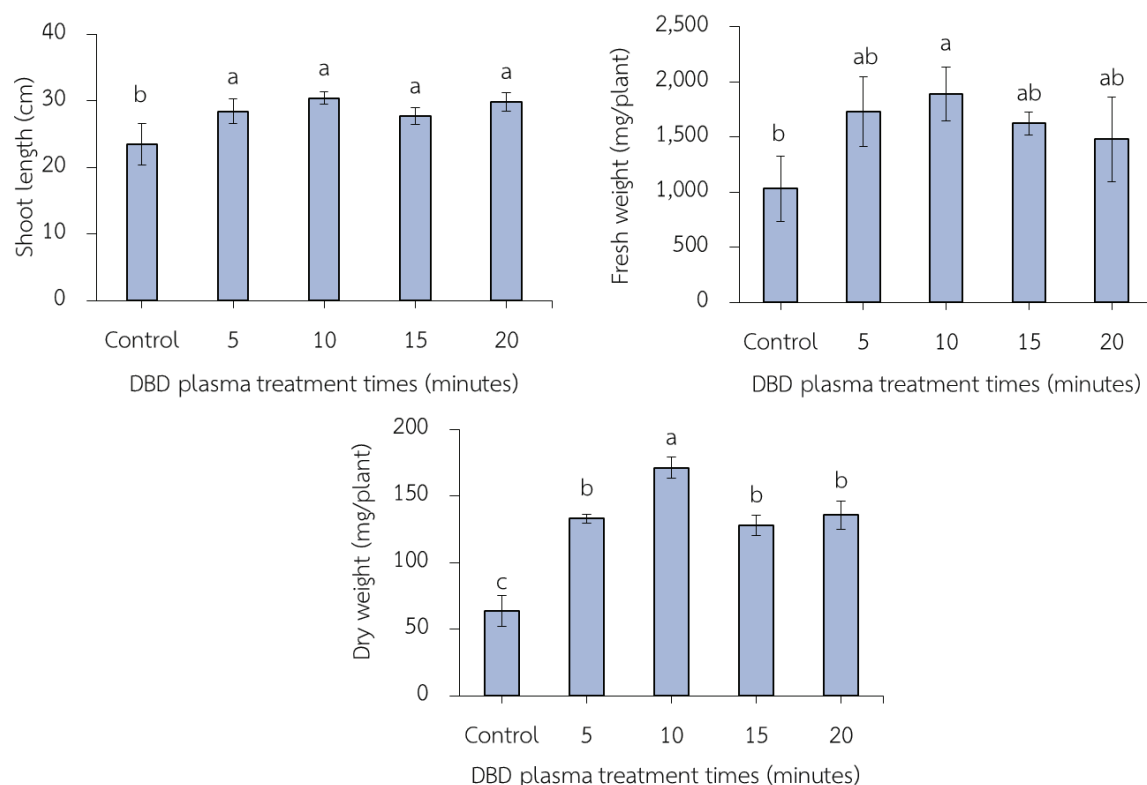


Figure 1 Shoot length (A), fresh weight (B), and dry weight (C) of kangkong grown from seeds treated with different DBD plasma treatment durations. The data represent the means of three replicate samples, and error bars indicate standard deviation, with the other lowercase letters indicating a significant difference based on Tukey's HSD at $P < 0.05$.

ผลของระยะเวลาในการฉาย DBD พลาสมาต่อปริมาณสารพฤกษเคมี

ผักบุ้งปลูกจากเมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 5–15 นาที มีปริมาณคลอโรฟิลล์เออยู่ระหว่าง 17.76 ± 0.19 ถึง $18.37 \pm 0.37 \mu\text{g/g DW}$ ซึ่งมีความน้อยกว่าต้นที่ปลูกจากเมล็ดไม่ผ่านการฉายพลาสมาอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) อย่างไรก็ตาม ผักบุ้งปลูกจากเมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 20 นาที มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับการไม่ผ่านการฉายพลาสมา (Figure 2A) ในขณะที่ เมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสมาทุกระยะเวลา ทำให้ผักบุ้งมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีคลอโรฟิลล์ทั้งหมด แคโรทีนอยด์ และกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 36.40 ± 1.92 ถึง $39.37 \pm 0.73 \mu\text{g/g DW}$ (Figure 2B), 54.91 ± 1.44 ถึง $57.13 \pm 0.52 \mu\text{g/g DW}$ (Figure 2C), 29.03 ± 1.12 ถึง $30.55 \pm 0.44 \mu\text{g/g DW}$ (Figure 2D) และ 304.78 ± 6.45 ถึง $349.89 \pm 9.92 \text{ mg/g DE}$ (Figure 2G) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าต้นที่ปลูกจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการฉายพลาสมา

อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) จากการวิเคราะห์สารฟีนอลิกทั้งหมด (Figure 2E) พบว่า ผักบุ้งปลูกจากเมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 20 นาที มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($44.86 \pm 1.27 \text{ mg GAE/g DE}$; $P < 0.01$) นอกจากนี้ เมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 10 นาที ให้ผักบุ้งที่มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($363.40 \pm 2.00 \text{ mg QE/g DE}$; $P < 0.01$) แต่การฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 15 และ 20 นาที มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดลดลง (Figure 2F) จากผลการทดลองพบว่า ผักบุ้งปลูกจากเมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 5–20 นาที มีปริมาณสารพฤกษเคมีเพิ่มขึ้น ยกเว้นคลอโรฟิลล์เอที่มีปริมาณลดลง ส่วนเมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 10 นาที ส่งผลให้สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในต้นผักบุ้งมีปริมาณเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า การฉาย DBD พลาสมาบนเมล็ดเป็นเวลา 10 นาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นกลไกการป้องกันตัวเองของพืช ซึ่ง RONS ที่ได้จากกระบวนการฉายพลาสมาสามารถควบคุมการแสดงออกของยีน

ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารทุติยภูมิเพื่อทำหน้าที่ในการป้องกันตัวเองจากความเครียด โดย RONS ทำหน้าที่เป็นโมเลกุลส่งสัญญาณไปกระตุ้นการสร้างสารพิษพิษเคมีผ่าน shikimate pathway โดยจะกระตุ้นการแสดงออกของยีน phenylpropanoid ส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารทุติยภูมิ ได้แก่ phenylalanine ammonia-lyase (PAL), cinnamic acid 4-hydroxylase (C4H) และ coumarate 3-hydroxylase (C3H) ในวิถีชีวสังเคราะห์ phenylpropanoid pathway ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักในการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกและชักนำให้พืชสร้างสารฟลาโวนอยด์ผ่าน flavonoid branch pathway (Priatama *et al.*, 2022) เมล็ดผ่านการฉายพลาสติกในระยะเวลาที่เหมาะสมส่งผลให้สารพิษเคมีในต้นพืชมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งมีรายงานในพืชหลายชนิด เช่น ต้นอ่อนผักกาดหัวปลุกจากเมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสติกเป็นเวลา 1 3 และ 5 นาที มีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มสูงขึ้น และการฉายพลาสติกเป็นเวลา 1–5 นาที มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงขึ้น ในขณะที่ คลอโรฟิลล์บีมีปริมาณลดลง (Guragain *et al.*, 2022) อย่างไรก็ตาม การฉาย DBD พลาสติกให้กับเมล็ดผักกาดหัวปลุกไปส่งผลให้ต้นพืชมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Abarghuae *et al.* (2021) ที่พบว่า เมล็ดโหระพาที่ผ่านการฉาย DBD พลาสติกเป็นเวลา 10–20 นาที ทำให้ต้นอ่อนมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น แต่เมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสติกเป็นเวลา 30 นาที ทำให้ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดลดลง เช่นเดียวกับเมล็ดแครอทผ่านการฉายพลาสติกเป็นเวลา 3 นาที ส่งผลให้ต้นอ่อนมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงขึ้น ในขณะที่ การฉายพลาสติกเป็นเวลา 4 นาที ทำให้ปริมาณสารเหล่านี้ลดลง (Guragain *et al.*, 2021) จะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการฉาย DBD พลาสติกส่งผลต่อการสะสมสารพิษพิษเคมีในพืช การนำเมล็ดมาฉายพลาสติกในระยะเวลาที่เหมาะสมสามารถส่งเสริมการสะสมสารพิษพิษเคมีในพืชได้ แต่ถ้าใช้เวลานานเกินไปจะทำให้พืชสะสมสารพิษพิษเคมีลดลง เนื่องจาก RONS ที่มากเกินไปทำให้พืชเกิดความเครียดจากออกซิเดชัน ทำลายคลอโรฟิลล์และยับยั้งวิถีชีวสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ (Mitra *et al.*, 2019) ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารพิษพิษเคมีและชนิดพืช

ผลของระยะเวลาในการฉาย DBD พลาสติกต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ผักกาดหัวปลุกจากเมล็ดที่ผ่านการฉาย DBD พลาสติกเป็นเวลา 5 นาที มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยา DPPH และ

ABTS สูงที่สุด เท่ากับ $91.56 \pm 2.63\%$ และ $36.38 \pm 3.39\%$ ตามลำดับ ($P < 0.01$; Figures 3A–3B) นอกจากนี้ ผักกาดหัวปลุกจากเมล็ดที่ผ่านการฉาย DBD พลาสติกเป็นเวลา 10 นาที มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยา FRAP สูงที่สุด เท่ากับ $74.69 \pm 1.24 \mu\text{mol AAE/mg DE}$ (Figure 3C) ส่วนเมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสติกที่ระยะเวลานานขึ้น 15 และ 20 นาที ทำให้ผักกาดหัวปลุกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง (Figures 3A–3C)

การที่ผักกาดหัวปลุกจากเมล็ดที่ผ่านการฉาย DBD พลาสติกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นนั้น เนื่องจาก RONS เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซูเปอร์ออกไซด์ แอนไอออน (O_2^-) และไนตริกออกไซด์ (NO) เป็นต้น ที่ได้รับระหว่างกระบวนการฉายพลาสติกไปกระตุ้นกลไกการป้องกันตัวเองจากความเครียด พืชจะผลิตสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นทั้งแบบ enzymatic antioxidant เช่น catalase และ superoxide dismutase รวมถึง non-enzymatic antioxidant เช่น สารฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ จึงทำให้พืชมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น เพื่อช่วยลดความเสียหายจาก RONS และช่วยให้พืชสามารถปรับตัวและตอบสนองต่อสภาวะเครียดได้ (Aranda-Rivera *et al.*, 2022) จากการศึกษาของ Saengha *et al.* (2021) พบว่า ผักกาดหัวปลุกจากเมล็ดผ่านการฉายพลาสติกเป็นเวลา 5 นาที ต้นอ่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยา DPPH และ FRAP สูงขึ้น นอกจากนี้ ต้นอ่อนข้าวกล้องปลุกจากเมล็ดผ่านการฉายโคโรนาดีซชาร์จพลาสติกเป็นเวลา 10 นาที มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยา DPPH และ ABTS สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการปลุกจากเมล็ดไม่ผ่านการฉายพลาสติก (Park *et al.*, 2020) จะเห็นได้ว่าการนำเมล็ดมาฉาย DBD พลาสติกจะช่วยเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในพืช ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการฉายพลาสติก วิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และชนิดพืช

ผลของระยะเวลาในการฉาย DBD พลาสติกต่อฤทธิ์ต้านไกลโคเจน

ผักกาดหัวปลุกจากเมล็ดที่ผ่านการฉาย DBD พลาสติกเป็นเวลา 5 นาที มีฤทธิ์ต้านไกลโคเจนสูงที่สุด คือ $71.12 \pm 2.01\%$ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการฉายพลาสติกเป็นเวลา 10 นาที การฉาย DBD พลาสติกเป็นเวลา 15 และ 20 นาที ทำให้ผักกาดหัวปลุกมีฤทธิ์ต้านไกลโคเจนลดลงแต่ยังคงสูงกว่าผักกาดหัวปลุกจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการฉายพลาสติก (Figure 3D) ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะเมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสติกให้ต้นที่มีสารพิษพิษเคมีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปสารพิษพิษเคมีมีคุณสมบัติในการกำจัดอนุมูลอิสระและส่งเสริมฤทธิ์ต้านไกลโคเจน (Matough *et al.*, 2012; Aranda-Rivera *et al.*, 2022) นอกจากนี้ ROS จะช่วยส่งเสริมการทำงาน

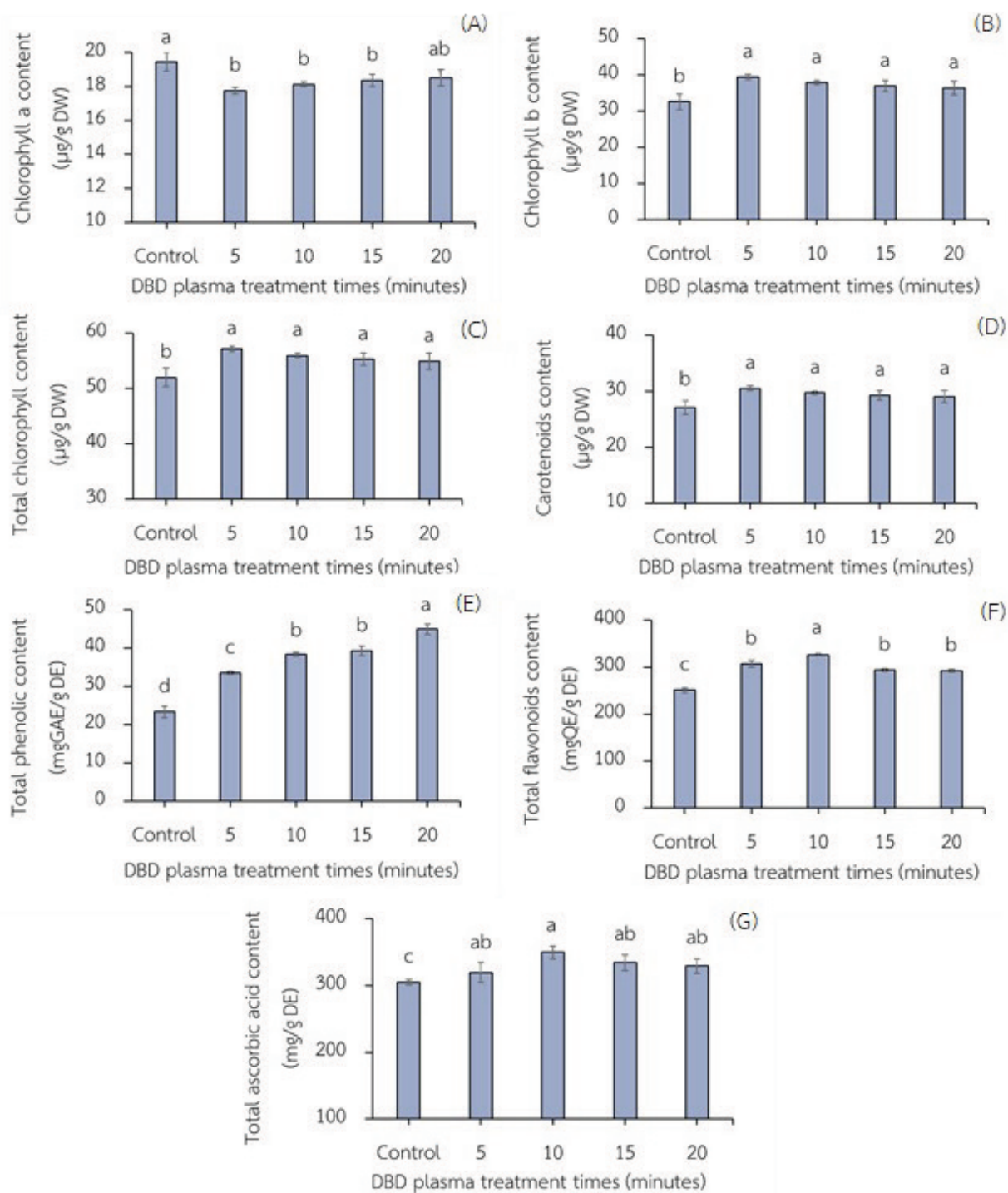


Figure 2 Chlorophyll a (A), chlorophyll b (B), total chlorophyll (C), carotenoids (D), total phenolic (E), total flavonoid (F), and total ascorbic acid (G) of kangkong grown from seeds treated with different DBD plasma treatment durations. The data represent means of three replicate samples, and error bars indicate standard deviation, with the different lowercase letters indicating a significant difference based on Tukey's HSD at $P < 0.05$.

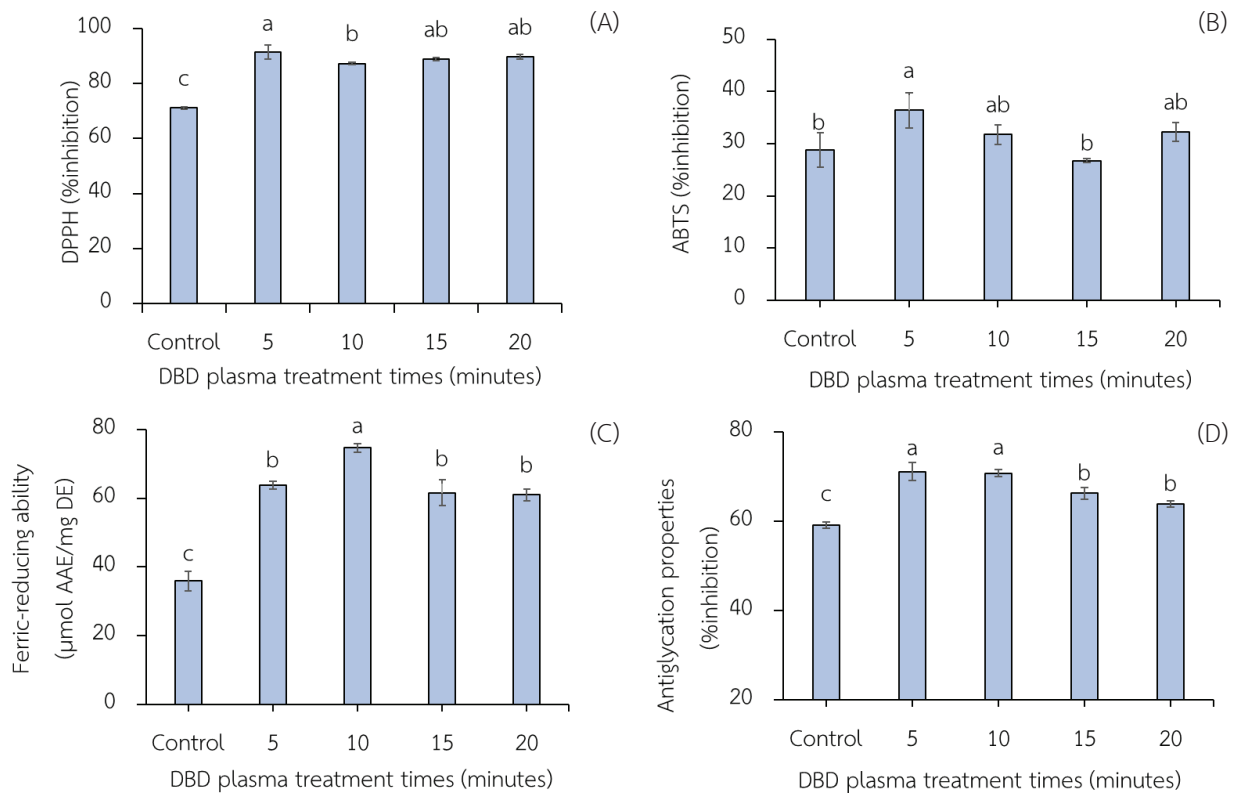


Figure 3 Antioxidant activities by DPPH (A), ABTS (B), and FRAP (C) assays, and antiglycation activities (D) of kangkong grown from seeds treated with different DBD plasma treatment durations. The data represent means of three replicate samples, and error bars indicate standard deviation, with the different lowercase letters indicating a significant difference based on Tukey's HSD at $P < 0.05$.

ของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการยับยั้งการเกิดไกลเคชั่นในพืช และส่งผลต่อปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลและโปรตีนซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดไกลเคชั่น (Anwar *et al.*, 2021)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis; PCA) เป็นเครื่องมือที่ช่วยลดความซับซ้อนของข้อมูลและจัดการความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ทำให้สามารถอธิบายผลการทดลองได้ชัดเจนและแม่นยำมากขึ้น (Li and Qin, 2024) จากการศึกษา PCA ของ 14 ตัวแปร ซึ่งเป็นข้อมูลการเจริญเติบโต สารพฤกษเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านไกลเคชั่นของผักบุ้งปลูกจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 5 10 15 และ 20 นาที พบว่า องค์ประกอบหลักสององค์ประกอบแรกอธิบายความแปรปรวนรวม 92.5% โดย PC1 อธิบายความแปรปรวน 81.4% และ PC2 อธิบายความแปรปรวน 11.1% (Figure 4) PC1 มีอิทธิพลต่อทุกตัวแปร จากตำแหน่งของเวกเตอร์

ทุกตัวแปรมีความสัมพันธ์ทางบวก ยกเว้นคลอโรฟิลล์เอที่มีความสัมพันธ์ทางลบ สำหรับ PC2 สารฟีนอลิกทั้งหมดและกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดมีความสัมพันธ์ทางบวก ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS มีความสัมพันธ์ทางลบ จากตำแหน่งของระยะเวลาในการฉาย DBD พลาสมา พบว่า ผักบุ้งปลูกจากเมล็ดผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 5–20 นาที อยู่ในตำแหน่งทางบวกของ PC1 ในขณะที่ ผักบุ้งที่ปลูกจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการฉายพลาสมาอยู่ในตำแหน่งทางลบ แสดงให้เห็นว่า เมล็ดผักบุ้งที่ผ่านการฉาย DBD พลาสมาทุกระยะเวลา ให้ต้นที่มีความสูงต้น น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด แคโรทีนอยด์ ฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด กรดแอสคอร์บิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH, FRAP, ABTS รวมทั้งฤทธิ์ต้านไกลเคชั่นสูงกว่าต้นที่ปลูกจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการฉายพลาสมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 10 นาที เป็นระยะเวลาที่มีบทบาทและเหมาะสมที่สุดในการเพิ่มคุณภาพของผักบุ้ง

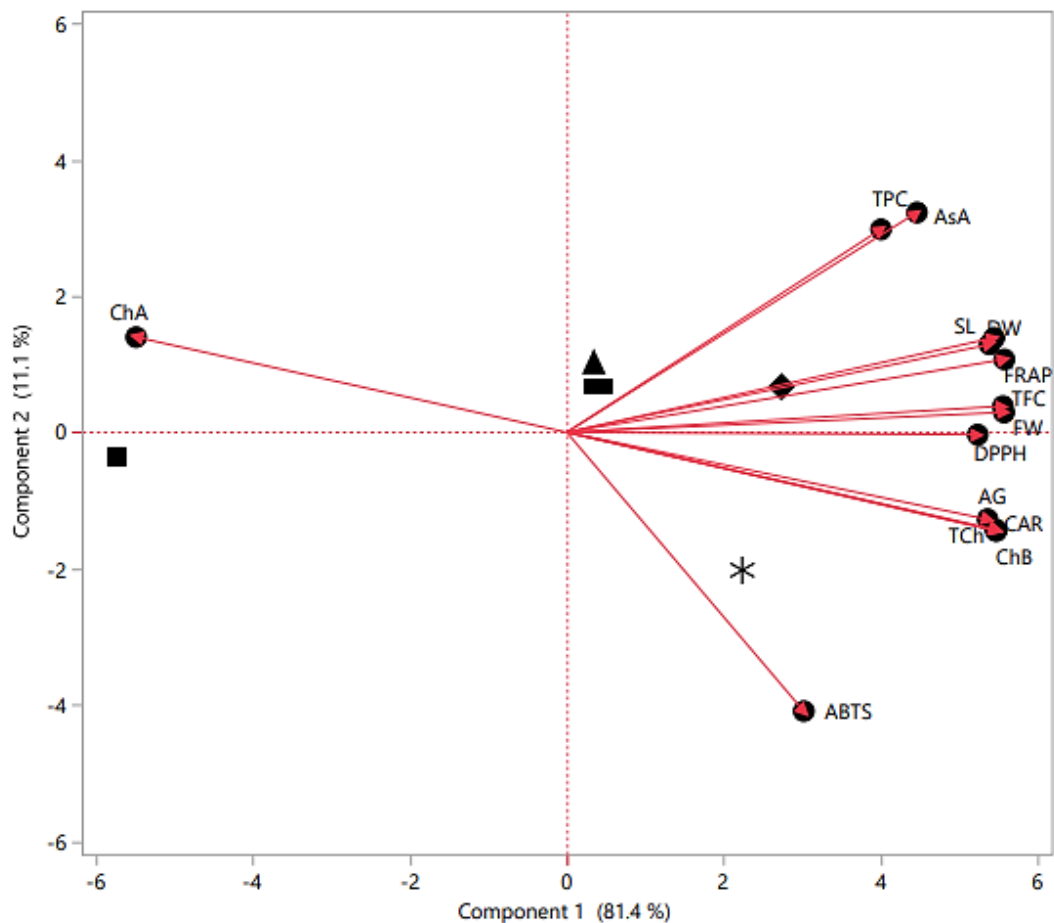


Figure 4 Biplot of principal component analysis of shoot length (SL), fresh weight (FW), dry weight (DW), chlorophyll a (ChA), chlorophyll b (ChB), total chlorophyll (TCh), carotenoids (CAR), total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), total ascorbic acid (AsA), antioxidant (DPPH, FRAP, ABTS), and antiglycation activities (AG) in kangkong grown from seeds treated with different DBD plasma treatment durations. The symbol refers to DBD plasma treatment: control (Square), 5 minutes (Star), 10 minutes (Diamond), 15 minutes (Triangle), and 20 minutes (Rectangle).

สรุป

ระยะเวลาในการฉาย DBD พลาสมาให้กับเมล็ดมีผลต่อการเจริญเติบโต สารพฤกษเคมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านไกลเคชั่นของผักบุ้ง การปลูกผักบุ้งโดยใช้เมล็ดที่ผ่านการฉาย DBD พลาสมาเป็นเวลา 10 นาที ส่งผลให้ผักบุ้งมีความสูงต้น น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง มีปริมาณคลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด แคโรทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยา DPPH, ABTS และ FRAP รวมทั้งฤทธิ์ต้านไกลเคชั่นสูงขึ้นอีกด้วย ดังนั้น ผักบุ้งที่ปลูกจากเมล็ดที่ผ่านการฉาย DBD พลาสมาจึงมีศักยภาพในการพัฒนาไปเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ ซึ่งสามารถเพิ่มมูลค่าทาง

เศรษฐกิจให้กับผักบุ้งได้ ทั้งนี้ ผลของการฉาย DBD พลาสมาอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการฉายและชนิดของพืช

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนโครงการวิจัยพื้นฐาน (Fundamental Fund) จากกองทุนส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) ประจำปีงบประมาณ 2564 ทุนปริญญาเอกเพื่อการวิจัย 1/2565 และทุนส่งเสริมการวิจัย ความเป็นนานาชาติและการศึกษา (ทุนเต็มจำนวน) ตามสัญญาเลขที่ ทบ. 8/2564

เอกสารอ้างอิง

- Abarghuei, F.M., M. Etemadi, A. Ramezani, A. Esehaghbeygi and J. Alizargar. 2021. An application of cold atmospheric plasma to enhance physiological and biochemical traits of basil. *Plants*. 10(10): 2088. <https://doi.org/10.3390/plants10102088>.
- Adhikari, B., M. Adhikari and G. Park. 2020. The effects of plasma on plant growth, development, and sustainability. *Appl. Sci.* 10(17): 6045. <https://doi.org/10.3390/app10176045>.
- Alrifai, O., X. Hao, R. Liu, Z. Lu, M.F. Marcone and R. Tsao. 2020. Amber, red and blue LEDs modulate phenolic contents and antioxidant activities in eight cruciferous microgreens. *J. Food Bioact.* 11: 95–109. <https://doi.org/10.31665/JFB.2020.11241>.
- Anwar, S., S. Khan, A. Almatroudi, A.A. Khan, M.A. Alsahil, S.A. Almatroodi and A.H. Rahmani. 2021. A review on mechanism of inhibition of advanced glycation end products formation by plant derived polyphenolic compounds. *Mol. Biol. Rep.* 48(1): 787–805. <https://doi.org/10.1007/s11033-020-06084-0>.
- Aranda-Rivera, A.K., A. Cruz-Gregorio, Y.L. Arancibia-Hernández, E.Y. Hernández-Cruz and J. Pedraza-Chaverri. 2022. RONS and oxidative stress: An overview of basic concepts. *Oxygen*. 2(4): 437–478. <https://doi.org/10.3390/oxygen2040030>.
- Bauer, G. 2019. The synergistic effect between hydrogen peroxide and nitrite, two long-lived molecular species from cold atmospheric plasma, triggers tumor cells to induce their own cell death. *Redox Biol.* 26: 101291. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2019.101291>.
- Billah, M., S.A. Sajib, N.C. Roy, M.M. Rashid, M.A. Rwza, M.M. Hasan and M.R. Talukder. 2020. Effects of DBD air plasma treatment on the enhancement of black gram (*Vigna mungo* L.) seed germination and growth. *Arch. Biochem. Biophys.* 681: 108253. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2020.108253>.
- Burkart, G.M. and F. Brandizzi. 2021. A tour of TOR complex signaling in plants. *Trends Biochem. Sci.* 46(5): 417–428. <https://doi.org/10.1016/j.tibs.2020.11.004>.
- Chirokov, A., A. Gutsol and A. Fridman. 2005. Atmospheric pressure plasma of dielectric barrier discharges. *Pure Appl. Chem.* 77(2): 487–495. <https://doi.org/10.1351/pac200577020487>.
- Devireddy, A.R., S.I. Zandalinas, Y. Fichman and R. Mittler. 2021. Integration of reactive oxygen species and hormone signaling during abiotic stress. *Plant J.* 105(2): 459–476. <https://doi.org/10.1111/tpj.15010>.
- Ebert, A.W. 2022. Sprouts and microgreens—novel food sources for healthy diets. *Plants*. 11(4): 571. <https://doi.org/10.3390/plants11040571>.
- Gunathilake, K.D.P.P. and K.K.D.S. Ranaweera. 2016. Antioxidative properties of 34 green leafy vegetables. *J. Funct. Foods*. 26: 176–186. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.07.015>.
- Guragain, R.P., H.B. Baniya, S. Dhungana, G.K. Chhetri, B. Sedhai, N. Basnet, A. Shakya, B.P. Pandey, S.P. Pradhan, U.M. Joshi and D.P. Subedi. 2022. Effect of plasma treatment on the seed germination and seedling growth of radish (*Raphanus sativus*). *Plasma Sci. Technol.* 24(1): 015502. <https://doi.org/10.1088/2058-6272/ac3476>.
- Guragain, R.P., H.B. Baniya, S.P. Pradhan, S. Dhungana, G.K. Chhetri, B. Sedhai, N. Basnet, G.P. Panta, U.M. Joshi, B.P. Pandey and D.P. Subedi. 2021. Impact of non-thermal plasma treatment on the seed germination and seedling development of carrot (*Daucus carota sativus* L.). *J. Phys. Commun.* 5(12): 125011. <https://doi.org/10.1088/2399-6528/ac4081>.

- Han, B., N.N. Yu, W. Zheng, L.N. Zhang, Y. Liu, J.B. Yu, Y.Q. Zhang, G. Park, H.N. Sun and T. Kwon. 2021. Effect of non-thermal plasma (NTP) on common sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed growth via upregulation of antioxidant activity and energy metabolism-related gene expression. *Plant Growth Regul.* 95(5): 271–281. <https://doi.org/10.1007/s10725-021-00741-5>.
- Hati, S., M. Patel and D. Yadav. 2018. Food bioprocessing by non-thermal plasma technology. *Curr. Opin. Food Sci.* 19: 85–91. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.03.011>.
- Kapur, A., A. Hasković, A. Čopra-Janičjević, L. Klepo, A. Topčagić, I. Tahirović and E. Sofić. 2012. Spectrophotometric analysis of total ascorbic acid content in various fruits and vegetables. *Glas. Hem. Technol. Bosne. Herceg.* 38: 39–42.
- Kassanuk, T. and K. Phasinam. 2021. Study on consumptive use of water of kangkong. *Psychol Educ.* 58(1): 1636–1639. <https://doi.org/10.17762/pae.v58i1.959>.
- Li, G. and Y. Qin. 2024. An exploration of the application of principal component analysis in big data processing. *Appl. Math. Nonlinear Sci.* 9(1): 1–24. <https://doi.org/10.2478/amns-2024-0664>.
- Lichtenthaler, H.K. and A.R. Wellburn. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extract in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.* 11(5): 519–592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>.
- Luang-In, V., W. Saengha, T. Karirat, B. Buranrat, K. Matra, S. Deeseenthum and T. Katisart. 2021. Effect of cold plasma and elicitors on bioactive contents, antioxidant activity and cytotoxicity of Thai rat-tailed radish microgreens. *J. Sci. Food Agric.* 101(4): 1685–1698. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10985>.
- Matough, F.A., S.B. Budin, Z.A. Hamid, N. Alwahaibi and J. Mohamed. 2012. The role of oxidative stress and antioxidants in diabetic complications. *Sultan Qaboos Univ. Med. J.* 12(1): 5–18. <https://doi.org/10.12816/0003082>.
- Mitra, S., L.N. Nguyen, M. Akter, G. Park, E.H. Choi and N.K. Kaushik. 2019. Impact of ROS generated by chemical, physical, and plasma techniques on cancer attenuation. *Cancers.* 11(7): 1030. <https://doi.org/10.3390/cancers11071030>.
- Ongrak, P. 2018. Antioxidant and Antiglycation Properties of Fifteen Cultivated and Wild *Vigna* Species. MS Thesis, Kasetsart University, Nakhon Pathom. (in Thai)
- Ongrak, P., N. Poolyarat, S. Suksaengpanomrung, K. Saidarasamoot, Y. Jirakiattikul and P. Rithichai. 2023. Germination, physicochemical properties, and antioxidant enzyme activities in kangkong (*Ipomoea aquatica* Forssk.) seeds as affected by dielectric barrier discharge plasma. *Horticulturae.* 9(12): 1269. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9121269>.
- Park, H., P. Puligundla and C. Mok. 2020. Cold plasma decontamination of brown rice grains: Impact on biochemical and sensory qualities of their corresponding seedlings and aqueous tea infusions. *LWT.* 131: 109508. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109508>.
- Priatama, R.A., A.N. Pervitasari, S. Park, S.J. Park and Y.K. Lee. 2022. Current advancements in the molecular mechanism of plasma treatment for seed germination and plant growth. *Int. J. Mol. Sci.* 23(9): 4609. <https://doi.org/10.3390/ijms23094609>.
- Puccinelli, M., R. Maggini, L.G. Angelini, M. Santin, M. Landi, S. Tavarini, A. Castagna and L. Incrocci. 2022. Can light spectrum composition increase growth and nutritional quality of *Linum usitatissimum* L. sprouts and microgreens?. *Horticulturae.* 8(2): 98. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8020098>.
- Rithichai, P., Y. Jirakiattikul, M. Singhawiboon and N. Poolyarat. 2020. Effect of dielectric barrier discharge plasma on growth and secondary metabolite contents of lettuce sprout. *TSTJ.* 28(11): 2000–2011. <https://doi.org/10.14456/tstj.2020.159>. (in Thai)

- Rithichai, P., Y. Jirakiattikul, M. Singhawiboon and N. Poolyarat. 2021. Enhancement of seed quality and bioactive compound accumulation in sunflower sprouts by dielectric barrier discharge plasma treatment. *ScienceAsia*. 47: 441–448. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2021.056>.
- Saengha, W., T. Karirat, B. Buranrat, K. Matra, S. Deeseenthum, T. Katisart and V. Luang-In. 2021. Cold plasma treatment on mustard green seeds and its effect on growth, isothiocyanates, antioxidant activity and anticancer activity of microgreens. *Intl. J. Agric. Biol.* 25: 667–676.
- Sajak, A.A.B., F. Abas, A. Ismail and A. Khatib. 2016. Effect of different drying treatment and solvent ratios on phytochemical of *Ipomoea aquatica* and correlation with α -glucosidase inhibitory activity. *Int. J. Food Prop.* 19(12): 2817–2831. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1141295>.
- Shaer, M.E., M. Abdel-azim, H. El-welily, Y. Hussein, A. Abdelghani, A. Zaki and M. Mobasher. 2023. Effects of DBD direct air plasma and gliding arc indirect plasma activated mist on germination, and physiological parameters of rice seed. *Plasma Chem. Plasma Process.* 43: 1169–1193. <https://doi.org/10.1007/s11090-023-10350-x>.
- Shelar, A., A.V. Singh, P. Dietrich, R.S. Maharjan, A. Thissen, P.N. Didwal, M. Shinde, P. Laux, A. Luch, V. Mathe, T. Jahnke, M. Chaskar and R. Patil. 2022. Emerging cold plasma treatment and machine learning prospects for seed priming: A step towards sustainable food production. *RSC Adv.* 12: 10467–10488. <https://doi.org/10.1039/d2ra00809b>.
- Štěpánová, V., P. Slavíček, J. Kelar, J. Prášil, M. Smékal, M. Stupavská, J. Jurmanová and M. Černák. 2018. Atmospheric pressure plasma treatment of agricultural seeds of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and pepper (*Capsicum annuum* L.) with effect on reduction of diseases and germination improvement. *Plasma Process. Polym.* 15(2): 1700076. <https://doi.org/10.1002/ppap.201700076>.
- Sultana, R., A.M. Alashi, K. Islam, Md. Saifullah, C.E. Haque and R.E. Aluko. 2021. Chemical composition and *in vitro* antioxidant properties of water-soluble extracts obtained from Bangladesh vegetables. *J. Food Biochem.* 45(3): e13357. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13357>.
- Umar, K.J., L.G. Hassan, S.M. Dangoggo and M.J. Ladan. 2007. Nutritional composition of water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.) leaves. *J. Appl. Sci.* 7(6): 803–809. <https://doi.org/10.3923/jas.2007.803.809>.
- Waskow, A., A. Howling and I. Furno. 2021. Mechanisms of plasma-seed treatments as a potential seed processing technology. *Front. Phys.* 9: 617345. <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.617345>.