บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา ตลอดจนประเมินสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำ รวมถึงการประยุกต์ใช้น้ำกระตุ้นพลาสมา (Plasma-Activated Water: PAW) ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บนผักสลัดกรีนโอ๊คและศึกษาผลต่อการงอกของเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมัน โดยสรุปผลได้ดังนี้

5.1 การออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาและผลของการปรับปรุงสมบัติน้ำ

เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถสร้างน้ำกระตุ้นพลาสมาที่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าค่า pH ลดลง ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และศักย์ออกซิเดชันรีดักชัน (ORP) เพิ่มขึ้นตามจำนวนหัว อัตราการไหลของอากาศ และเวลาที่ใช้กระตุ้น ขณะที่ปริมาณไนเตรต (NO_3^-), ไนไตรต์ (NO_2^-) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มจำนวนหัวและเวลาการกระตุ้น ส่งผลให้ PAW มีศักยภาพสูงขึ้นในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกี่ยวข้องกับการยับยั้งจุลินทรีย์

5.2 ประสิทธิภาพของน้ำกระตุ้นพลาสมาในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในผักสลัดกรีนโอ๊ค

การจุ่มล้างผักสลัดกรีนโอ๊คด้วย PAW ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์รวม (TPC) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการล้างด้วยน้ำประปา โดยพบว่าการเพิ่มระยะเวลาจุ่มล้างจาก 5 เป็น 10 นาทีช่วยเพิ่มการยับยั้งได้อย่างชัดเจน (มากกว่า 60% reduction หรือราว 0.43 log CFU/ml) แต่เมื่อเพิ่มเป็น 15 นาทีไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจาก 10 นาที ขณะที่การใช้น้ำจากเครื่องต้นแบบแบบหมุนวนร่วมกับ Corona Discharge สามารถลดจุลินทรีย์ได้สูงกว่า 4 log reduction (≥ 99.99%) ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมโดยเฉพาะเมื่อใช้จำนวนหัว 2 หัว อัตราการไหลของอากาศ 0.78–1.02 L/min และเวลา 90 นาที

5.3 ผลของน้ำกระตุ้นพลาสมาต่อการงอกและความแข็งแรงของเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมัน

ผลการทดลองพบว่าเมล็ดถั่วเขียวทุกเงื่อนไขที่ใช้น้ำกระตุ้นพลาสมาสามารถงอกได้ 100% ภายในวันแรก แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (น้ำประปา) ที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกเพียง 95% และใช้เวลางอกเฉลี่ยนานกว่า ขณะเดียวกันค่าดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้า (VI) มีความแตกต่างตามเงื่อนไข โดยเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดคือการใช้น้ำจากเครื่องที่มี 1 หัว อัตราการไหลของอากาศ 1.02 L/min และเวลา 90 นาที ซึ่งให้ค่า VI สูงสุด (1,250) ในขณะที่การใช้จำนวนหัว 2 หัวร่วมกับเวลานาน 90 นาทีให้ค่า VI ต่ำสุด สะท้อนว่าความเข้มข้นของอนุภาคออกฤทธิ์ (RONS) ที่สูงเกินไปอาจยับยั้งการเจริญของต้นกล้าได้

5.4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานจำเพาะกับประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา

การเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน หากเน้นด้านความปลอดภัยของอาหาร การเลือกเงื่อนไข 1 หัว อัตราการไหลของอากาศ 0.78 L/min เวลากระตุ้น 60 นาที มีค่า SEC ต่ำที่สุด (0.035 kWh/L) แต่ให้ค่า Log reduction ถึง 3.59 (99.97%) ซึ่งถือว่าเพียงพอในการลดปริมาณจุลินทรีย์ได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่หากเน้นด้านการส่งเสริมการงอกและความแข็งแรงของต้นกล้า เงื่อนไข 1 หัว อัตราการไหลของอากาศ 1.02 L/min เวลากระตุ้น 60 นาที จะเป็นทางเลือกที่คุ้มค่ามากกว่า เนื่องจากให้ค่า VI สูงพร้อมกับใช้พลังงานในระดับปานกลาง

5.5 ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ (Recommendation)

จากผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าน้ำกระตุ้นพลาสมาที่ผลิตจากเครื่องต้นแบบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงทั้งในด้านความปลอดภัยอาหารและการเพิ่มศักยภาพการงอกของเมล็ดพืช ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.4.1 การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมผักสด

น้ำกระตุ้นพลาสมาสามารถใช้แทนน้ำประปาหรือสารเคมีฆ่าเชื้อบางชนิดในการล้างผักสดเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย และเพิ่มความปลอดภัยต่อผู้บริโภค โดยเฉพาะผักสลัดที่บริโภคสด การใช้น้ำกระตุ้นพลาสมาภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมอาจช่วยลดการพึ่งพาสารเคมีและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

5.4.2 การประยุกต์ใช้ในภาคการเกษตร

การใช้น้ำกระตุ้นพลาสมาในการเพาะเมล็ดสามารถช่วยเพิ่มอัตราการงอกและความแข็งแรงของต้นกล้า ซึ่งเหมาะสมต่อการผลิตกล้าในเชิงการค้า โดยเฉพาะพืชผักอายุสั้น เช่น ถั่วเขียว ถั่วงอก หรือผักสลัด ทั้งนี้ควรเลือกใช้เงื่อนไขการผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาที่ไม่ก่อให้เกิด RONS ในระดับสูงเกินไป เพื่อลดความเสี่ยงจากการเกิด oxidative stress ต่อเมล็ดพืชและควรศึกษาผลของน้ำกระตุ้นพลาสมาต่อเมล็ดพืชอายุยาวเพิ่มเติม ทั้งนี้ในเนื่องจากในงานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะผลของน้ำกระตุ้นพลาสมาต่อเมล็ดพืชอายุสั้น

5.4.3 การพัฒนาและปรับปรุงเครื่องต้นแบบ

เครื่องต้นแบบควรได้รับการปรับปรุงให้มีขนาดและกำลังการผลิตที่มากขึ้นเพื่อรองรับการใช้งานในระดับกึ่งอุตสาหกรรมและอุตสาหกรรมจริง เช่นการใช้วงจรสร้างแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่มากกว่า 8 kV พร้อมทั้งมีระบบควบคุมอัตโนมัติที่สามารถปรับจำนวนหัว อัตราการไหลของอากาศ และเวลากระตุ้นน้ำพลาสมาได้อย่างแม่นยำ และเพื่อให้ได้ค่าระยะเวลาการกระตุ้นน้ำพลาสมาที่เหมาะสม ควรดำเนินการศึกษาเพิ่มเติมในช่วงเวลาการกระตุ้นที่หลากหลายมากขึ้น เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเฉพาะที่ระยะเวลา 60 และ 90 นาทีเท่านั้น