สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) .....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูป.....ฎ
บทที่

1 บทนำ.....1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....5

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 5
2.1.1 พลาสมา..... 5
2.1.2 กระบวนการเกิดพลาสมา..... 11
2.1.3 ระบบพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ..... 13
2.1.4 การกระตุ้นน้ำด้วยพลาสมา (Plasma activation water, PAW) 21
2.1.5 ระยะเวลาในการกระตุ้น..... 22
2.1.6 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำพลาสมา..... 22
2.1.7 กลไกการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำกระตุ้นพลาสมา..... 28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.8 ผักกาดหอมหรือผักสลัด 30
2.1.9 กลไกการเพิ่มการงอกของเมล็ดด้วยน้ำกระตุ้นพลาสมา 33
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (literature reviews) 35
3 วิธีการดำเนินการวิจัย 40
3.1 ผลของการปรับคุณภาพน้ำโดยเทคนิคกระตุ้นน้ำด้วยพลาสมา 40
3.1.1 ชุดผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบรอบเดียว 40
3.1.2 ชุดผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบหมุนวน 42
3.1.3 ชุดผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบหมุนวนร่วมกับ Corona Discharge 44
3.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย 45
3.1.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 48
3.2 ผลของการปรับคุณภาพน้ำต่อความสามารถในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ 52
3.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาผลของการปรับคุณภาพน้ำ 52
3.2.2 ขั้นตอนการจุ่มล้างผักสลัดกรีนโอ๊ค 52
3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์จุลินทรีย์ 53
3.3 อิทธิพลของน้ำกระตุ้นด้วยพลาสมาต่อการงอกของเมล็ด 57
3.3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของน้ำกระตุ้นด้วยพลาสมาต่อการงอก 57
3.3.2 วิธีการเก็บข้อมูลผลการงอก 58
3.4 การประเมินการใช้พลังงานของระบบผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา 60
3.4.1 พลังงานเฉลี่ยที่ใช้ต่อรอบ 60
3.4.2 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อหน่วยการผลิต 60
3.5 สถานที่ทำการศึกษาวิจัย 61
3.6 ระยะเวลาทำการทดลอง 61
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 62

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1 ผลการศึกษาการปรับปรุงสภาพน้ำด้วยเครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบรอบเดียวและแบบหมุนวน 62
4.1.1 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไนเตรตและไนไตรท์ 62
4.1.2 การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 63
4.1.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของน้ำกระตุ้นพลาสมาต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ 64
4.1.4 การวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของผักสลัดกรีนโอ๊ค 66
4.2 ผลการศึกษาการปรับปรุงสภาพน้ำด้วยเครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบหมุนวนร่วมกับ Corona Discharge 69
4.2.2 การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 73
4.2.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของน้ำกระตุ้นพลาสมาต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ 77
4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของน้ำกระตุ้นด้วยพลาสมาต่อการงอกของเมล็ดถั่วเขียว 81
4.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) กับประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา 83

5 สรุปและข้อเสนอแนะ 87

5.1 การออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา และผลของการปรับปรุงสมบัติน้ำ 87
5.2 ประสิทธิภาพของน้ำกระตุ้นพลาสมาในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในผักสลัดกรีนโอ๊ค 87
5.3 ผลของน้ำกระตุ้นพลาสมาต่อการงอกและความแข็งแรงของเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมัน 88
5.4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) กับประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา 88
5.5 ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ (Recommendation) 88
5.4.1 การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมผักสด 88

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4.2 การประยุกต์ใช้ในภาคการเกษตร 89
5.4.3 การพัฒนาและปรับปรุงเครื่องต้นแบบ 89
ภาคผนวก 97
ภาคผนวก ก ตารางผลการทดลอง 98
ภาคผนวก ข แบบวิศวกรรมเครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา 111
ประวัติผู้เขียน 123

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 คุณสมบัติของพลาสมาโดยการดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศ 14

2.2 เปรียบเทียบวิธีการใช้สารละลายลดสารพิษตกค้างในผักและผลไม้กับพลาสมาสารละลาย . 25

2.3 ค่าพารามิเตอรข์องน้ำจากการปรับปรุงสภาพน้ำด้วยพลาสมา 36

2.4 ปฏิกิริยาเคมีของ ROS และ RNS ที่เกิดขึ้นจากน้ำกระตุ้นพลาสมา 36

3.1 ตารางสรุปตัวแปรและสูตรคำนวณการงอกของเมล็ด 59

4.1 ค่าความเป็นกรด–ด่าง ที่ได้จากเครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบรอบเดียว 63

4.2 การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์แบบ Total Plate Count (TPC) ที่ได้จากการจุ่มล้างด้วย น้ำประปาและผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบรอบเดียว 64

4.3 ปริมาณการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ แบบ Total Plate Count (TPC) ได้จากการจุ่มล้างด้วย น้ำประปาและผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบรอบเดียว 65

4.4 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของผักสลัดกรีนโอ๊คที่เปลี่ยนไปในแต่ละวัน ของตัวอย่างผักสลัดกรีน โอ๊คที่ปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์และการปลูกแบบลงดิน 67

4.5 ผลการตรวจวัดค่า NO_3^-, NO_2^- และ H_2O_2 ที่ได้จากเครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบ หมุนวนร่วมกับ Corona Discharge 69

4.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (p-value) ของปัจจัย A (จำนวนหัว) B (อัตราการไหลของอากาศ) และ C (เวลา) ที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของ NO_3^-, NO_2^- และ H_2O_2 71

4.7 ผลทดสอบเปรียบเทียบความเข้มข้นของ ไนเตรต (NO_3^-) ไนไตรท์ (NO_2^-) และ ไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 71

4.8 ค่า pH, ORP, EC และ อุณหภูมิของน้ำกระตุ้นพลาสมาที่ได้จากเครื่องผลิตน้ำกระตุ้น พลาสมาแบบหมุนวนร่วมกับ Corona Discharge 73

4.9 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของ pH, ORP, Conductivity และอุณหภูมิ 75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.10 การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ แบบ Total Plate Count (TPC) ที่ได้จากการจุ่มล้างด้วยน้ำประปาและผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบหมุนวนร่วมกับ Corona Discharge 77

4.11 ปริมาณการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ แบบ Total Plate Count (TPC) ได้จากการจุ่มล้างด้วยน้ำประปาและผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบหมุนวนร่วมกับ Corona Discharge 79

4.12 ผลปริมาณการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์แบบ Total Plate Count (TPC) ได้จากการจุ่มล้างด้วยน้ำประปาและผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบรอบเดียวและแบบหมุนวนร่วมกับ Corona Discharge 79

4.13 ผลการศึกษาการงอกของเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมัน 80

4.14 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาจากเครื่องแบบหมุนวนร่วมกับ Corona Discharge 82

4.15 ค่าพลังงานจำเพาะต่อหน่วยการผลิต (SEC_{prod}) จากเครื่องแบบหมุนวนร่วมกับ Corona Discharge 83

ก.1 ผลการตรวจสอบค่า pH 97

ก.2 การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ แบบ Total Plate Count (TPC) 98

ก.3 ผลการตรวจสอบค่า pH 99

ก.4 ผลการตรวจสอบค่า ORP (Oxidation-Reduction Potential) 99

ก.5 ผลการตรวจสอบค่า conductivity (ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร) 100

ก.6 ผลการตรวจสอบค่า อุณหภูมิ (°c) 101

ก.7 ผลการตรวจวัดค่า NO_3^-, NO_2^- และ H_2O_2 101

ก.8 การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ แบบ Total Plate Count (TPC) 102

ก.9 ความยาวต้นอ่อนและจำนวนเมล็ดถั่วเขียวที่งอกภายใต้เงื่อนไขการบำบัดด้วยน้ำกระตุ้นพลาสมาและน้ำประปา (Control) 109

ก.10 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และค่า SEC_{prod} ของระบบผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา ครั้งที่ 1 ... 114

ก.11 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และค่า SEC_{prod} ของระบบผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา ครั้งที่ 2 ... 114

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.12 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และค่า SEC_{prod} ของระบบผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา ครั้งที่ 3 ... 115

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การเปรียบเทียบการปล่อยโคโรนาเชิงบวกและเชิงลบ 15
2.2 แสดงโครงสร้างและหลักการเกิดการคายประจุไฟฟ้า 16
2.3 การกำหนดค่าการปล่อยสิ่งกีดขวางอิเล็กทริกระนาบทั่วไปและทรงกระบอก 17
2.4 แสดงการเกิดพลาสมาแบบการดิสชาร์จเหนือผิว 18
2.5 แสดงการเกิดพลาสมาแบบดิสชาร์จร่วมระนาบ 18
2.6 แผนภาพแสดงการปล่อยประจุไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในการเตรียมของเหลวที่ถูกกระตุ้นด้วยพลาสมา 20
2.7 รูปแบบการคายประจุพลาสมาที่ใช้ในการกระตุ้นน้ำ แบบเหนือน้ำแลแบบใต้น้ำ 21
2.8 รูปแบบการเกิดองค์ประกอบอนุมูลของน้ำกระตุ้นพลาสมา 23
2.9 แผนผังของการยับยั้งการทำงานของเซลล์จุลินทรีย์ที่เกิดจากน้ำกระตุ้นพลาสมา 28
2.10 ผักสลัดกรีนโอ๊ค 32
2.11 กลไกการเพิ่มการงอกของเมล็ดด้วยน้ำกระตุ้นพลาสมา 34
2.12 การใช้น้ำแข็งจากกระตุ้นด้วยพลาสมาเพื่อถนอมกุ้ง 35
2.13 ชุดกำเนิดลำพลาสมา DBD jet และแบบโคโรนาเจ็ท 38
2.14 แสดงระบบ PAM - Aeroponics 39
3.1 แผนภาพแสดงชุดผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบรอบเดียว 41
3.2 แผนภาพแสดงชุดผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบหมุนวน 43
3.3 แผนภาพแสดงชุดผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบ Corona Discharge 44
3.4 แผนภาพแสดงชุดผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบหมุนวนร่วมกับ Corona Discharge 44
3.5 แหล่งจ่ายไฟฟ้า ATTEN INSTRUMENTS รุ่น APR3010H 46
3.6 บอร์ด Arduino Mega 2560 AT 46
3.7 Thermocouple type k และ Max6675 Module 46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.8 Solid State Relay (SSR) 75DA 47
3.9 กระดาษทดสอบเปอร์ออกไซด์ รุ่น 91312 49
3.10 เครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบมัลติพารามิเตอร์ รุ่น PC2700 51
3.11 เครื่องวัดสี Colorimeter ยี่ห้อ HunterLab รุ่น UltraScan 51
3.12 สารละลาย 0.1% peptone water 53
3.13 การเจือจางเชื้อจุลินทรีย์จากตัวอย่างผักสลัด 54
3.14 เครื่อง Biosafety cabinet class 2 54
3.15 3M™ Petrifilm™ Aerobic Count (AC) Plate 55
3.16 ตู้บ่มเพาะเชื้อควบคุมอุณหภูมิ 56
3.17 ชุดอ่านเชื้อจุลินทรีย์บนแผ่นกระดาษอัตโนมัติ ยี่ห้อ 3M Petrifilm รุ่น Petrifilm Plate Reader Advanced R3 56
4.1 (A) ผักสลัดกรีนโอ๊คของวันที่ 0, (B) ผักสลัดกรีนโอ๊คของวันที่ 4 68
ก.1 การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ แบบ Total Plate Count (TPC) 103
ก.8 ความยาวต้นอ่อนของถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันวันที่ 7 ที่งอกภายใต้เงื่อนไขการบำบัดด้วยน้ำกระตุ้นพลาสมา 110
ข.1 ส่วนประกอบเครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบรอบเดียว 117
ข.2 แบบเครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบรอบเดียว 118
ข.3 ส่วนประกอบเครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบหมุนวน 117
ข.4 แบบเครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบหมุนวน 118
ข.5 ส่วนประกอบเครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบหมุนวนร่วมกับ Corona Discharge 117
ข.6 แบบเครื่องผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาแบบหมุนวนร่วมกับ Corona Discharge 118