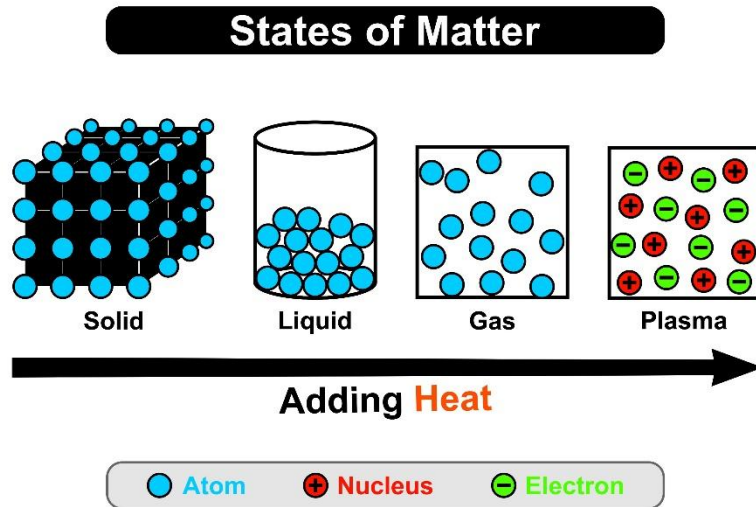


ความรู้เบื้องต้นของพลาสมา

พลาสมา (Plasma) มักถูกเรียกว่าเป็น สถานะที่สี่ของสสาร นอกเหนือจากของแข็ง ของเหลว และแก๊ส



โดยทั่วไปแล้ว สสารจะเปลี่ยนสถานะเมื่อได้รับพลังงานความร้อน เช่น น้ำแข็ง (ของแข็ง) จะละลายเป็นน้ำ (ของเหลว) และเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจะระเหยเป็นไอน้ำ (แก๊ส) สำหรับพลาสมานั้น เกิดจากการที่แก๊สได้รับพลังงานมหาศาล (เช่น ความร้อนสูง, สนามแม่เหล็กไฟฟ้า) จนทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมหรือโมเลกุล กลายเป็นกลุ่มก้อนของ **อนุภาคที่มีประจุ** ได้แก่ ไอออนบวก (อะตอมที่สูญเสียอิเล็กตรอน) และอิเล็กตรอนอิสระ (อนุภาคประจุลบ) โดยรวมแล้วสถานะนี้ยังคงเป็นกลางทางไฟฟ้า

พลาสมามีคุณสมบัติที่น่าสนใจมากมาย เช่น:

- **นำไฟฟ้าได้ดีเยี่ยม:** เนื่องจากมีอนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา
- **ตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้า:** อนุภาคที่มีประจุสามารถถูกควบคุมและเร่งความเร็วได้ด้วยสนามแม่เหล็กและไฟฟ้า
- **มีอุณหภูมิสูง:** พลาสมาบางชนิดมีอุณหภูมิสูงถึงหลายล้านองศาเซลเซียส เช่นที่พบในดวงอาทิตย์

เราสามารถแบ่งพลาสมาได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ:

- **พลาสมาที่มีอุณหภูมิสูง (Thermal Plasma):** อนุภาคประจุบวกและอิเล็กตรอนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน พบได้ในสภาพแวดล้อมที่มีพลังงานสูงมาก เช่น ในดวงดาว, เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฟิวชัน

- พลาสมาที่มีอุณหภูมิต่ำ (Non-thermal/Cold Plasma): อิเล็กตรอนมีอุณหภูมิสูงมาก แต่อุณหภูมิของอะตอมและโมเลกุลมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง พลาสมาชนิดนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมและทางการแพทย์ได้อย่างปลอดภัยโดยไม่ทำลายวัสดุหรือเนื้อเยื่อที่บอบบาง

การประยุกต์ใช้พลาสมาในด้านต่าง ๆ

ด้านอุตสาหกรรม

- การเคลือบผิววัสดุ: การใช้พลาสมาช่วยให้สามารถเคลือบผิววัสดุด้วยฟิล์มบางๆ ที่มีคุณสมบัติพิเศษ เช่น ทำให้แข็งแรงขึ้น, ทนการกัดกร่อน, หรือเป็นฉนวน
- การผลิตเซมิคอนดักเตอร์: พลาสมาถูกใช้ในกระบวนการแกะสลักวงจรขนาดเล็กบนชิปคอมพิวเตอร์อย่างแม่นยำ
- การบำบัดน้ำเสีย: พลาสมาสามารถผลิตอนุมูลอิสระ (radical) ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำ
- การฆ่าเชื้อบนพื้นผิว: พลาสมาเย็นสามารถฆ่าเชื้อโรคบนพื้นผิวต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เช่น ในอุตสาหกรรมอาหารและอุปกรณ์ทางการแพทย์

ด้านการแพทย์

- การผ่าตัดด้วยพลาสมา: เครื่องมือผ่าตัดที่ใช้พลาสมาช่วยในการตัดและห้ามเลือดไปพร้อมกัน ทำให้บาดเจ็บมีขนาดเล็กและฟื้นตัวได้เร็ว
- การรักษาบาดแผล: พลาสมาเย็นสามารถกระตุ้นการสร้างเซลล์ผิวหนังใหม่และฆ่าเชื้อโรคบริเวณบาดแผล ทำให้แผลหายเร็วขึ้น
- ทันตกรรม: ใช้ในการฆ่าเชื้อช่องปากและฟัน รวมถึงการฟอกสีฟัน

ด้านการเกษตร

- การปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์: พลาสมาสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์และเพิ่มความต้านทานต่อโรคพืช
- การยืดอายุผักและผลไม้: การใช้พลาสมาเย็นสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์บนพื้นผิวของผักและผลไม้ ช่วยลดการเน่าเสียและยืดอายุการเก็บรักษา

- การส่งเสริมการเติบโตของพืช: มีงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นว่าการใช้ น้ำพลาสมาเข้มข้น (High Strength Plasma-activated water) ซึ่งเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยพลาสมาและมีสารประกอบออกซิเจนและไนโตรเจนที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Reactive Oxygen and Nitrogen Species - RONS) สามารถช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้

ด้านอุตสาหกรรมอาหาร

- ใช้ฆ่าเชื้อบนผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ โดยไม่ทำให้เกิดสารตกค้างเหมือนคลอรีน
- ใช้ยืดอายุการเก็บรักษาอาหารสด
- ใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์ในโรงงานอาหาร

ด้านสิ่งแวดล้อมและน้ำเสีย

- ใช้บำบัดน้ำเสีย โดยการลด BOD, COD และการฆ่าเชื้อในน้ำ
- ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ยากต่อการกำจัด เช่น สีย้อม สิ่งปนเปื้อนอินทรีย์
- ใช้ร่วมกับนาโนบำบัดเพื่อเพิ่มการละลายออกซิเจนและเพิ่มประสิทธิภาพ

น้ำพลาสมาเข้มข้น (High Strength Plasma Activated Water)

เทคโนโลยีผลิตน้ำพลาสมาเข้มข้น (High Strength Plasma-Activated Water หรือ HSPAW) คือน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยพลาสมาอุณหภูมิต่ำ ซึ่งก่อให้เกิดสารประกอบออกซิเจนและไนโตรเจนที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (RONS) ทำให้คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก เทคโนโลยีนี้มีศักยภาพสูงในฐานะทางเลือกที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อแทนที่สารเคมีสังเคราะห์ในหลายอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในด้านการเกษตรและอาหาร

จากการศึกษาพบว่า PAW สามารถใช้เป็นสารฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพสูง เป็นปุ๋ยไนโตรเจนชีวภาพได้บางส่วน และยังเป็นสารออกฤทธิ์ในการกระตุ้นการงอกและการเจริญเติบโตของพืช อีกทั้งยังเร่งการแตกตัวของแร่ธาตุในดินได้อีกด้วย น้ำพลาสมาที่มีค่า pH เป็นกลาง (Neutral pH PAW) ซึ่งคุณสมบัติที่เป็นกลางนี้จะช่วยลดข้อจำกัดในการใช้งานบางอย่างและเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ที่ต้องการสภาวะ pH ที่เหมาะสม ด้วยเทคนิคการทำน้ำพลาสมาด้วยดีบีซีของบริษั (Dielectric Barrier Discharge: DBD) แบบ 8

และ 16 หัวเจ็ต ที่ปลายท่อจุ่มลงในน้ำขณะทำน้ำพลาสมา สามารถสร้างน้ำพลาสมาที่มี pH อยู่ในช่วง 7-8.4 (ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ)

ความรู้พื้นฐานเชิงลึกเกี่ยวกับน้ำพลาสมา

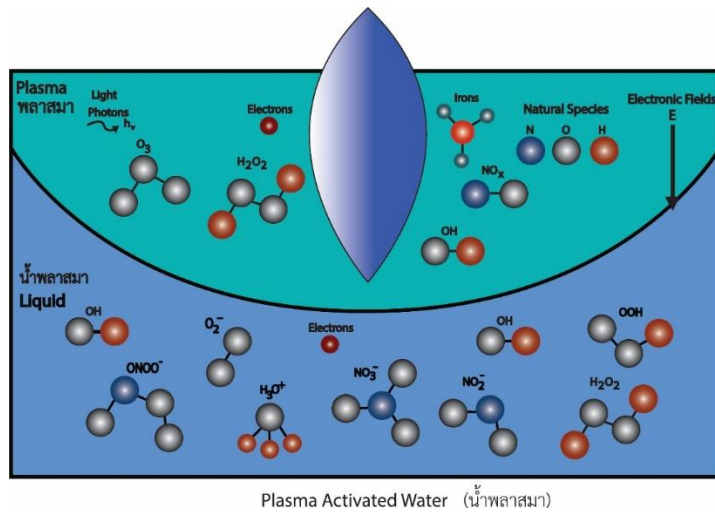
คำจำกัดความและหลักการทางเคมี-ฟิสิกส์

น้ำพลาสมาเข้มข้น (HSPAW) คือน้ำที่ถูกบำบัดด้วยการปล่อยประจุพลาสมาอุณหภูมิต่ำ (Low-temperature plasma) เมื่อก๊าซ (เช่น อากาศ) ถูกทำให้แตกตัวเป็นพลาสมา สารประกอบที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาจะถูกสร้างขึ้น การนำพลาสมาที่เกิดขึ้นมาสัมผัสกับน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและฟิสิกส์ที่สำคัญ โดยโมเลกุลของน้ำและก๊าซในอากาศจะถูกทำลายและก่อตัวเป็นสารประกอบใหม่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือน้ำที่มีความเข้มข้นของสารประกอบออกซิเจนและไนโตรเจนที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Reactive Oxygen and Nitrogen Species: RONS) ในปริมาณสูง สารเหล่านี้ประกอบด้วย สารที่คงอยู่ได้นาน (long-lived species) เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2), ไนไตรต์ (NO_2^-), ไนเตรต (NO_3^-) และโอโซน (O_3) รวมถึงสารที่คงอยู่ได้สั้น (short-lived species) เช่น อนุมูลไฮดรอกซิล ($\bullet OH$) และอนุมูลไนตริกออกไซด์ ($\bullet NO$) การเกิด RONS เหล่านี้ส่งผลให้คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ

ค่า pH: โดยทั่วไปแล้ว PAW ที่ผลิตจากน้ำกลั่นหรือน้ำ DI มักจะมีค่า pH ที่ลดลงอย่างรวดเร็วจนมีสภาพเป็นกรดรุนแรง ซึ่งงานวิจัยหลายชิ้นรายงานค่า pH อยู่ในช่วง 2.06–2.9 การลดลงนี้เป็นผลมาจากการที่อนุมูลไฮดรอกซิลและไนตริกออกไซด์ที่เกิดจากพลาสมาละลายลงในน้ำ และทำปฏิกิริยาต่อเนื่องจนเกิดเป็นกรดไนตริก แต่เทคนิคการทำน้ำพลาสมาด้วยดีบีดีของบริษัท (Dielectric Barrier Discharge: DBD) แบบ 8 และ 16 หัวเจ็ต ที่ปลายท่อจุ่มลงในน้ำขณะทำน้ำพลาสมา สามารถสร้างน้ำพลาสมา (HSPAW) ที่มี pH อยู่ในช่วง 7-8.4 (ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ)

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และศักย์รีดักชัน (ORP): ค่าการนำไฟฟ้าและศักย์รีดักชันของน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างมากหลังการบำบัดด้วยพลาสมา ค่าเหล่านี้เป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณของไอออนและสารออกฤทธิ์ที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อและการส่งเสริมการเจริญเติบโต

แรงตึงผิว (Surface Tension): มีหลักฐานที่บ่งชี้ว่าการบำบัดด้วยพลาสมาสามารถลดแรงตึงผิวของน้ำได้ คุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ช่วยให้ HSPAW สามารถแทรกซึมเข้าสู่พื้นผิวของวัตถุหรือเนื้อเยื่อได้ดีขึ้น ซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาดและการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์



การผลิตน้ำพลาสมาด้วยหัวพลาสมาเจ็ตแบบ DBD

วิธีการผลิตและปัจจัยที่มีอิทธิพล

การผลิต HSPAW สามารถทำได้หลายวิธี โดยหลัก ๆ แล้วสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลไกหลัก ได้แก่ การปล่อยประจุเหนือผิวน้ำ (Discharges on water) เช่น การใช้พลาสมาเจ็ต (Plasma Jet) และ การปล่อยประจุในน้ำ (Discharges in water) เช่น การใช้เทคโนโลยีดีอีบีดี (Dielectric Barrier Discharge: DBD)

การปล่อยประจุในน้ำมีข้อได้เปรียบที่สำคัญคือช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างพลาสมา กับน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งช่วยส่งเสริมการละลายของ RONS ที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

นอกจากกลไกการผลิตแล้ว ปัจจัยทางเทคนิคต่าง ๆ ยังมีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติและความเข้มข้นของ HSPAW ที่ผลิตได้

- **พารามิเตอร์การปล่อยประจุ** เช่น กำลังไฟฟ้า (Plasma Power) และระยะเวลาการบำบัด มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ ตัวอย่างเช่น การเพิ่มระยะเวลาการบำบัดจะ ทำให้ความเข้มข้นของ RONS สูงขึ้น
- **ชนิดของน้ำ** ที่นำมาใช้ก็เป็นปัจจัยสำคัญเช่นกัน น้ำประปา (Tap water) ที่มีสารกลุ่มคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตสูงจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ทำให้ได้ HSPAW ที่เป็นด่างอ่อน pH ประมาณ 8-8.4

พลวัตของ RONS และความคงตัวในระยะยาว

การทำความเข้าใจพลวัตทางเคมีของ PAW หลังการผลิตเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง สารประกอบออกฤทธิ์ใน PAW มีอายุการใช้งานที่แตกต่างกันไป สารที่มีอายุสั้นอย่างอนุมูลไฮดรอกซิลจะสลายตัวอย่างรวดเร็ว ในขณะที่สารที่มีอายุยาวนานเช่น H_2O_2 , NO_2^- และ NO_3^- สามารถคงอยู่ในน้ำได้นานหลายวันไปจนถึงนาน

กว่าหนึ่งเดือน อย่างไรก็ตาม แม้แต่สารที่มีอายุยาวนานก็ยังมีสลายตัวเมื่อเวลาผ่านไป การศึกษาแสดงให้เห็นว่าอนุมูลอิสระในการเก็บรักษามีผลอย่างมากต่อความคงตัวของสารออกฤทธิ์และประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ ดังนั้น การประยุกต์ใช้ HSPAW เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดจึงต้องคำนึงถึง "เวลาหลังการผลิต" เป็นปัจจัยสำคัญ

คุณสมบัติของ HSPAW: RNS และ ROS

การใช้ HSPAW ในการเกษตรจะเน้นไปที่คุณสมบัติทางเคมีของ RNS และ ROS ที่เกิดจากกระบวนการพลาสมา อนุมูลและโมเลกุลเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางชีวภาพของพืชหลายด้าน โดยสามารถแบ่งเป็นส่วนสำคัญดังนี้

Reactive Nitrogen Species (RNS): อนุมูลไนโตรเจนและสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น Nitric Oxide (NO), Nitrogen Dioxide (NO₂), และ Peroxynitrite (ONOO⁻) เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช RNS ทำหน้าที่เป็นสารส่งสัญญาณ (signaling molecules) ซึ่งมีบทบาทในการควบคุมการขยายตัวของเซลล์ การเคลื่อนย้ายและดูดซึมสารอาหาร นอกจากนี้ RNS ยังช่วยเพิ่มความต้านทานของพืชต่อความเครียดจากสภาพแวดล้อม เช่น ความแห้งแล้ง ความเค็ม และการโจมตีจากเชื้อโรคได้ ในระดับโมเลกุล RNS จะมีบทบาทในกระบวนการออกซิเดชันและการลดในเซลล์พืช ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ช่วยกระตุ้นการตอบสนองต่อสภาวะความเครียดได้ดียิ่งขึ้น

Reactive Oxygen Species (ROS): ROS เป็นอนุมูลและโมเลกุลที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น Hydrogen Peroxide (H₂O₂), Superoxide Anion (O₂⁻) และ Hydroxyl Radical (OH•) ROS มีความสามารถในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เชื้อราและแบคทีเรียที่อาจเป็นอันตรายต่อพืช นอกจากนี้ ROS ยังช่วยกระตุ้นการสร้างสารที่มีประโยชน์ต่อรากและการดูดซึมสารอาหาร ROS มีคุณสมบัติเป็นสารออกซิแดนท์ที่ช่วยในการป้องกันโรคพืช ทำลายจุลินทรีย์ และควบคุมการกระจายตัวของเชื้อโรค อย่างไรก็ตาม การใช้ ROS ต้องควบคุมปริมาณให้เหมาะสม เนื่องจาก ROS ที่มีปริมาณมากเกินไปอาจทำให้เกิดพิษต่อเซลล์พืชได้

การประยุกต์ใช้ HSPAW ในการเกษตร

HSPAW มีความสามารถที่หลากหลายและเป็นประโยชน์ในการเพิ่มผลผลิตและลดการพึ่งพาสารเคมีที่เป็นอันตราย ซึ่งประโยชน์ของ HSPAW ต่อการเกษตรมีหลายด้าน ได้แก่

การเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต

RNS และ ROS ใน HSPAW ช่วยเพิ่มการดูดซึมธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ การที่พืชได้รับ RNS จะช่วยกระตุ้นกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ทำให้พืชสามารถผลิตสารอาหารและพลังงานได้มากขึ้น การใช้ HSPAW กับพืชผักหรือ

พืชไร่ในการรดน้ำหรือการฉีดพ่น ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยที่ใช้ควบคู่กัน ทำให้ลดการใช้ปุ๋ยเคมีในระยะยาวได้

การควบคุมโรคพืชและการต้านเชื้อจุลินทรีย์

ROS ใน HSPAW มีความสามารถในการทำลายเชื้อราและแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคพืช เช่น โรคราเน่า และโรคใบจุด ส่วน RNS มีบทบาทในการเพิ่มความทนทานของพืชต่อเชื้อโรค เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเซลล์พืช ทำให้พืชสามารถสร้างสารต้านเชื้อโรคได้ การใช้ HSPAW ในการป้องกันโรคพืชจึงเป็นทางเลือกที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดการพึ่งพาการใช้สารเคมี เช่น ยาฆ่าแมลง ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

การเพิ่มคุณภาพของดินและการฟื้นฟูสภาพดิน

การใช้ HSPAW ยังส่งผลดีต่อคุณภาพดินในระยะยาว เนื่องจากช่วยฟื้นฟูสภาพดินและเสริมสร้างการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อดิน การใช้ HSPAW จะช่วยเพิ่มความสมดุลของธาตุอาหารในดิน ทำให้ดินมีความเหมาะสมต่อการปลูกพืช นอกจากนี้ การลดการใช้ปุ๋ยเคมีและยาฆ่าแมลงด้วยการใช้ HSPAW จะช่วยลดการสะสมสารเคมีที่เป็นพิษในดิน ช่วยให้ดินกลับมามีคุณภาพที่ดีขึ้นในระยะยาว ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการฟื้นฟูพื้นที่การเกษตรที่ถูกทำลายจากการใช้สารเคมีอย่างหนัก

การประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อความยั่งยืน

การใช้ HSPAW เป็นการลดการพึ่งพาสารเคมีในระบบเกษตรแบบยั่งยืน โดยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และลดปริมาณของเสียที่เกิดจากสารเคมีทางการเกษตร HSPAW มีคุณสมบัติเป็นน้ำที่มีปริมาณ RNS และ ROS ในระดับที่ควบคุมได้ ช่วยให้พืชเจริญเติบโตและต้านทานโรคได้ดีขึ้นโดยไม่ทำลายสภาพแวดล้อม การใช้ HSPAW จึงมีศักยภาพที่จะเป็นนวัตกรรมใหม่ที่ส่งเสริมเกษตรกรรมที่ยั่งยืน

การใช้ High Strength Plasma Activated Water (HSPAW) ในภาคการเกษตรมีทั้งข้อดีและข้อควรระวัง การใช้ HSPAW เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดและหลีกเลี่ยงผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ ดังนี้:

ข้อดีของ HSPAW

เสริมการเจริญเติบโตของพืช:

HSPAW มี RNS และ ROS ที่ช่วยเพิ่มความสามารถของพืชในการดูดซึมธาตุอาหารและกระตุ้นกระบวนการเมแทบอลิซึม โดยเฉพาะ RNS ที่มีบทบาทในการกระตุ้นกระบวนการทางชีวเคมีในพืช ทำให้พืชเจริญเติบโตเร็วขึ้นและแข็งแรงขึ้น

ROS ใน HSPAW มีความสามารถในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืช เช่น แบคทีเรียและเชื้อรา ซึ่งช่วยลดการพึ่งพาสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช นอกจากนี้ยังมี RNS ที่ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันของพืชต่อการโจมตีของเชื้อโรคได้

เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม:

การใช้ HSPAW สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีและยาฆ่าแมลง ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ อีกทั้งไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างในพืช ดิน หรือแหล่งน้ำ

ช่วยฟื้นฟูสภาพดิน:

HSPAW มีศักยภาพในการฟื้นฟูดินจากการสะสมของสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร ช่วยเพิ่มความหลากหลายของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในดิน และรักษาสสมดุลของธาตุอาหาร ทำให้ดินเหมาะสำหรับการเพาะปลูกในระยะยาว

ข้อควรระวังในการใช้ HSPAW

ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและสภาพแวดล้อม:

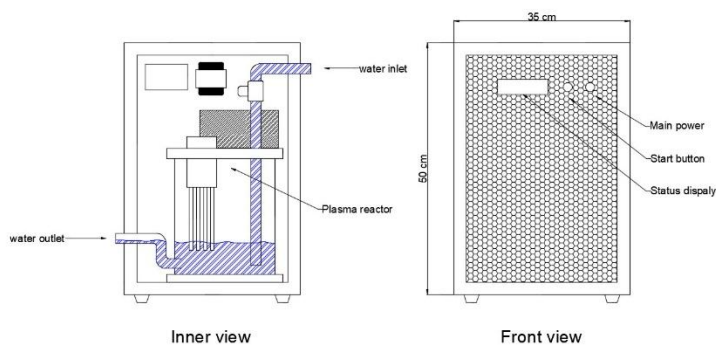
พืชแต่ละชนิดอาจตอบสนองต่อ HSPAW แตกต่างกัน อีกทั้งสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และสภาพดิน อาจส่งผลต่อการทำงานของ RNS และ ROS ที่อยู่ในน้ำพลาสมา จึงจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลของพืชก่อน

ควบคุมปริมาณการใช้ให้เหมาะสม:

การใช้ HSPAW ควรมีการวางแผนและควบคุมปริมาณให้เหมาะสม โดยเฉพาะความเข้มข้นของ ROS และ RNS ที่ใช้ในแต่ละครั้งเพื่อหลีกเลี่ยงการสะสมเกินขอบเขตที่พืชจะรับได้

การจัดเก็บ HSPAW อย่างเหมาะสม:

RNS และ ROS ใน HSPAW สามารถสลายตัวได้รวดเร็ว ควรเก็บ HSPAW ในภาชนะที่บดแสงและหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับอากาศมากเกินไปเพื่อลดการเสื่อมสภาพของ HSPAW



ภาพเครื่องผลิตน้ำพลาสมาเข้มข้น (HSPAW)