บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การลดเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุโรคใบขาวในท่อนพันธุ์อ้อย โดยใช้กระบวนการพลาสมาสารละลายนั้น ต้องอาศัยความรู้และความเข้าใจจากหลายสาขาวิชา ทั้งในด้านการเกษตรที่เกี่ยวกับอ้อย โรคใบขาวอ้อย วิธีป้องกันและการกำจัดโรค ด้านวิทยาศาสตร์สาขาชีววิทยาที่เกี่ยวกับเรื่องการตรวจสอบเชื้อไฟโตพลาสมา ด้านวิทยาศาสตร์สาขาฟิสิกส์ที่เกี่ยวกับเรื่องหลักการของพลาสมากระบวนการพลาสมาสารละลายในระบบต่างๆ ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งที่จะนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุโรคใบขาวในท่อนพันธุ์อ้อย รวมถึงความรู้ด้านวิศวกรรมศาสตร์ที่เกี่ยวกับเรื่องการออกแบบการทดลอง พร้อมทั้งใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยแต่ละเรื่องนั้นต่างเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยเรื่องนี้เป็นอย่างมาก ผู้วิจัยจึงศึกษาหลักการและทฤษฎีต่างๆ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำวิจัยนี้ ดังนี้

2.1 หลักการและทฤษฎี

2.1.1 ด้านการเกษตรที่เกี่ยวกับโรคใบขาวอ้อย

<u>เชื้อสาเหตุ</u>

โรคใบขาวอ้อยเกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมา (Phytoplasma) จัดเป็นเชื้อที่อยู่ในสมาชิกของกลุ่ม Mollicutes ภายใต้อาณาจักร Prokaryotes (Pagliari et al., 2016) ลักษณะทางกายภาพไม่มีผนังเซลล์ รูปร่างไม่แน่นอนขนาด 400 ถึง 900 นาโนเมตร อาศัยอยู่ภายในท่อลำเลียงอาหารบริเวณ Sieve tube ซึ่งกระจายอยู่ทุกส่วนของอ้อย ปัจจุบันยังไม่สามารถเพาะเลี้ยงเชื้อนี้ได้ในอาหารสังเคราะห์ (Om-Hashem et al., 2015)

<u>ลักษณะอาการของโรค</u>

เชื้อไฟโตพลาสมามีผลในการทำลายคลอโรฟิลล์ ส่วนสีเขียวที่มีหน้าที่สังเคราะห์แสงทำให้คลอโรฟิลล์เกิดความผิดปกติ มีจำนวนลดลงและหมดไป ส่งผลให้ใบอ้อยมีขนาดเล็กและสั้นลงจนกระทั่งเป็นฝอย ใบสีเขียวจะซีดลงจนกลายเป็นสีขาว ลำต้นแคระเกร็น เกิดการแตก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาและหน่อมากกว่าปกติ แต่ไม่เจริญเป็นลำ ความรุนแรงของอาการขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อที่มีอยู่ สามารถพบอาการผิดปกติได้ตั้งแต่ระยะเริ่มงอกจนถึงโตเต็มที่ (ธวัช, 2558)

ภาพที่ 2.1 ต้นอ้อยที่แสดงอาการใบขาว

<u>วิธีป้องกันและกำจัดโรค</u>

มีแนวทางสำหรับการกำจัดเชื้อไฟโตพลาสมา สาเหตุของโรคใบขาวอ้อย ซึ่งสามารถรวบรวมและสรุปได้ดังตารางที่ 2.1 แต่วิธีการเหล่านี้ยังไม่เป็นที่นิยมสำหรับเกษตรกรชาวไร่ เนื่องจากยังไม่สามารถลดเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุโรคใบขาวอ้อยได้ทั้งหมด บางวิธีการต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ ใช้เวลานาน และมีค่าใช้จ่ายสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 แนวทางการกำจัดเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุของโรคใบขาวอ้อย

วิธีการ	รายละเอียด	แหล่งอ้างอิง
แช่ท่อนพันธุ์อ้อยในน้ำร้อน	ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที	สุนี และคณะ (2558)
	ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 120 - 180 นาที	วันทนีย์ (2547)
	ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 120 - 240 นาที	พรทิพย์ (2542ข)
	ที่อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที	อนุสรณ์ (2523)
	ที่อุณหภูมิ 52 - 53 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที	พรทิพย์ (2542ข)
	ที่อุณหภูมิ 54 - 55 องศาเซลเซียส นาน 10 - 15 นาที	นิพนธ์ (2521)
	ที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส นาน 40 นาที	พรทิพย์ (2542ข)

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

วิธีการ	รายละเอียด	แหล่งอ้างอิง
แช่ท่อนพันธุ์อ้อยในยาปฏิชีวนะ	สารละลายเตตราไซคลินเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 54 - 55 องศาเซลเซียส นาน 10 - 15 นาที	นิพนธ์ (2521)
	สารละลายเตตราไซคลินเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้อง นาน 4,320 นาที (3 วัน)	อนุสรณ์ (2523)
วิธีการอื่นๆ	เลือกท่อนพันธุ์อ้อยที่ไม่เป็นโรคและต้านทานโรค	วันทนีย์ (2547)
	เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ	พรทิพย์ (2542ข) นิลุบล และคณะ (2555)

2.1.2 ด้านวิทยาศาสตร์สาขาชีววิทยาที่เกี่ยวกับเรื่องการตรวจสอบเชื้อ

<u>การตรวจสอบเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุของโรคใบขาวอ้อย</u>

แนวทางการวินิจฉัยโรคและการตรวจพิสูจน์หาเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุโรคใบขาวอ้อย สามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. การตรวจสอบเชื้อด้วยการวิเคราะห์ตามลักษณะอาการโรคที่ปรากฏ

อาการของโรคใบขาวในอ้อยสามารถปรากฏได้ทุกช่วงอายุ ขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อไฟโตพลาสมาที่มีอยู่ในท่อลำเลียงอาหาร ต้นที่มีเชื้อมากจะอ่อนแอ แตกกอ แสดงอาการใบขาวอย่างชัดเจน แต่บางต้นอาจจะเจริญเป็นลำยาวได้ตามปกติ แต่ในบริเวณกอเดียวกันจะพบหน่ออ้อยสีขาวแทรกอยู่ ซึ่งสามารถสังเกตด้วยตาได้ ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นวิธีเบื้องต้นที่ใช้ตรวจสอบโรคใบขาวอ้อย (พรทิพย์, 2542ข)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. การตรวจสอบเชื้อด้วยเทคนิค Nested Polymerase Chain Reaction (Nested PCR)

เทคนิค Nested PCR คือการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอต้นแบบที่มีอยู่ให้มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยต่างๆคือ ดีเอ็นเอต้นแบบ (Template DNA) และไพรเมอร์ที่มีความเฉพาะเจาะจง (Specific primer) จำนวน 2 คู่ ในสารละลายที่ผสมแล้วอย่างเหมาะสม ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์ดีเอ็นเออย่างต่อเนื่อง แล้วทำซ้ำเป็นจำนวน 35 - 40 รอบ โดยแต่ละรอบประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

- ขั้นตอน Denaturation คือขั้นตอนการแยกดีเอ็นเอต้นแบบจากสายคู่ให้กลายเป็นสายเดี่ยว ด้วยอุณหภูมิประมาณ 92 องศาเซลเซียส

- ขั้นตอน Annealing คือขั้นตอนการทำให้ไพรเมอร์ที่มีความเฉพาะเจาะจงเข้าจับคู่กับดีเอ็นเอต้นแบบสายเดี่ยว ด้วยการลดอุณหภูมิลงให้เหลือประมาณ 68 องศาเซลเซียส

- ขั้นตอน Extension คือขั้นตอนการสร้างดีเอ็นเอสายใหม่ ด้วยอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จะได้ดีเอ็นเอเพิ่มขึ้นสองเท่า (ยุพา, 2548)

ดังนั้นวิธีนี้สามารถใช้ตรวจสอบเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุของโรคใบขาวอ้อยที่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยได้ แต่ต้องอาศัยทักษะและความชำนาญด้านการปฏิบัติการ รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายด้านเครื่องมือและสารเคมีสูง

3. การตรวจสอบเชื้อด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำแสงส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

วิธีการตรวจเชื้อด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำแสงส่องกราด ใช้ศึกษาลักษณะรูปร่างของเชื้อไฟโตพลาสมาในเซลล์พืชที่สามารถมองเห็นได้แบบภาพสามมิติกำลังขยายหลายเท่า ซึ่งจะต้องเตรียมตัวอย่างชิ้นงานอย่างดี ทั้งการเก็บตัวอย่าง การตัด การดอง การขจัดน้ำ การทำให้แห้ง และการเคลือบทอง เพื่อให้ภายในเซลล์พืชมีลักษณะคงสภาพเดิมให้มากที่สุด วิธีนี้เป็นวิธีที่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญด้านการเตรียมตัวอย่างและยังมีค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์สูงมากเช่นกัน (อรพรรณ, 2555)

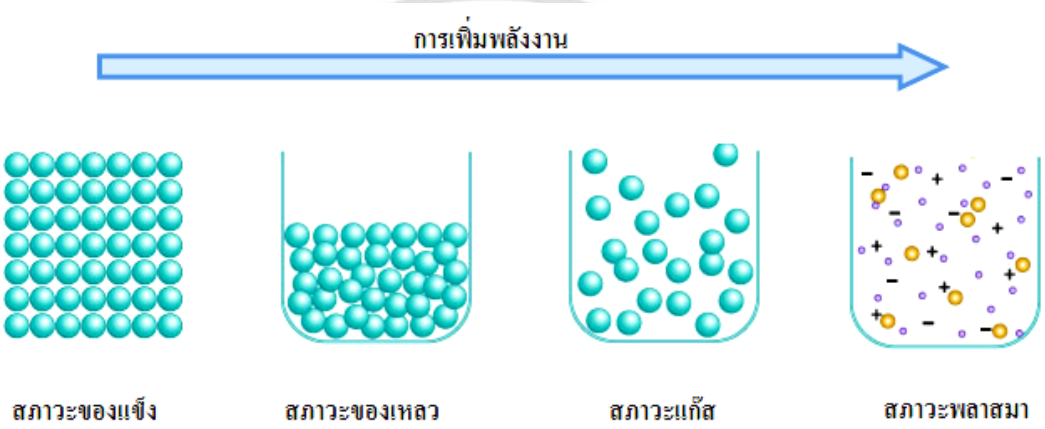
2.1.3 ด้านวิทยาศาสตร์สาขาฟิสิกส์ที่เกี่ยวกับเรื่องพลาสมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

<u>พลาสมา</u>

สถานะที่รู้จักกันโดยทั่วไป คือของแข็ง ของเหลว และแก๊ส เมื่อเรียงลำดับตามค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค จะพบว่าสถานะของแข็งมีค่าแรงยึดเหนี่ยวระห่างอนุภาคมากที่สุด รองลงมาคือสถานะของเหลว และสถานะแก๊สมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้อยที่สุด ตามลำดับ เมื่อเพิ่มพลังงานให้กับสภาวะของแข็งในปริมาณที่มากพอ ของแข็งจะกลายเป็นของเหลว แล้วกลายเป็นแก๊ส และเมื่อเพิ่มพลังงานหรือกระตุ้นสภาวะแก๊สด้วยสนามไฟฟ้าในปริมาณมากอย่างต่อเนื่องอีก จะทำให้แก๊สเกิดการแตกตัวเป็นไอออนและอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงขึ้น ส่งผลให้อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงบางส่วนวิ่งเข้าชนกับอิเล็กตรอนของอะตอมอื่นๆ เกิดเป็นปฏิกิริยาที่ต่อเนื่อง เรียกว่ากระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) หรือ

บางส่วนกลับเข้ามารวมตัวกับอะตอมเดิม พร้อมกับคายพลังงานส่วนเกินที่ได้รับออกมา นั่นคือสภาวะพลาสมา แต่เมื่อนำสิ่งเร้าจากภายนอกออกจะกลับสู่สภาวะเดิม ดังนั้นพลาสมาจึงเป็นสถานะหนึ่งของสสารที่เกิดจากการแตกตัวของแก๊สที่ถูกกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าปริมาณมาก อาจเรียกได้ว่าเป็นแก๊สทางไฟฟ้า ประกอบไปด้วยอนุภาคที่มีประจุและพลังงานสูง เช่น ไอออน อิเล็กตรอน อะตอม และโมเลกุลที่อยู่ในสถานะถูกกระตุ้น รวมถึงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น รังสีอัลตราไวโอเลต เป็นต้น (สมศักดิ์, 2552) และ (Keidar and Beilis, 2013)



ภาพที่ 2.2 สถานะของสสาร

(http://global.britannica.com/science/phase-state-of-matter, สิงหาคม 2558)

<u>กระบวนการพลาสมาสารละลาย</u>

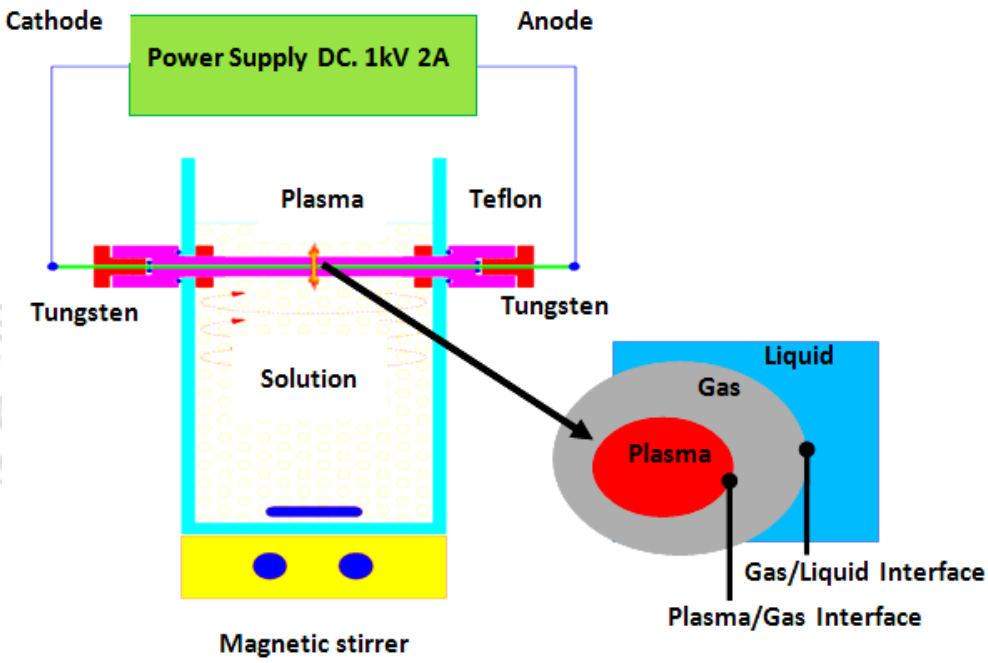
ระบบการผลิตพลาสมา สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือพลาสมาที่เกิดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Thermal plasma หรือ Hot plasma) ซึ่งจะเกิดความร้อนที่อุณหภูมิสูงมาก ควรหลีกเลี่ยงจากการนำมาประยุกต์ใช้งานกับสิ่งมีชีวิต เนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิสูงอาจส่งผลต่อเนื้อเยื่อเจริญของสิ่งมีชีวิตได้ อีกระบบหนึ่งคือระบบการผลิตพลาสมาที่เกิดภายใต้ความดันบรรยากาศ (Non-thermal plasma หรือ Cold plasma) ซึ่งระบบการผลิตพลาสมาที่ความดันบรรยากาศนั้น ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆเป็นจำนวนมาก เช่น การสังเคราะห์อนุภาค การกัดกร่อน การเคลือบผิว และการทำให้ปลอดเชื้อ เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ระบบการผลิตพลาสมาที่ความดันบรรยากาศแบบพลาสมาสารละลาย ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้พลาสมาเกิดขึ้นแล้วอยู่ในรูปของสารละลาย สามารถทำได้ที่ความดันบรรยากาศปกติและอุณหภูมิห้อง หลังจากที่กระบวนการเสร็จสิ้นลง สสารทุกอย่างจะกลับสู่สภาวะปกติ จึงถือได้ว่าเป็นแนวทางของการใช้ทรัพยากรได้อย่างเฉลียวฉลาด คุ้มค่า มีความปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้กระบวนการพลาสมาสารละลายกับระบบต่างๆ โดยแบบออกเป็น 3 ระบบ ดังนี้

1. ระบบ Wire to Wire Electrode

ระบบ Wire to Wire Electrode ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าแบบเส้น จำนวนสองเส้น อาจใช้เป็นทังสเตน เหล็ก หรืออะลูมิเนียม แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้ทังสเตน เนื่องจากทังสเตนสามารถทนความร้อน และการกัดกร่อนได้ดี โดยจะเว้นช่องว่างให้ปลายขั้วไฟฟ้าห่างกันเล็กน้อย แล้วต่อเข้ากับเครื่องจ่ายไฟ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นในอ่างแก้วหรืออะคริลิกที่บรรจุสารละลายอยู่ ดังภาพที่ 2.3 แรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการดิสชาร์จ เกิดเป็นแสงสว่างวาบขึ้นบริเวณตำแหน่งระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว โมเลกุลน้ำแตกตัวได้อิเล็กตรอน ไอออน อะตอม และโมเลกุลต่างๆที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น (Andreeva et al., 2012) ซึ่งพลาสมาที่เกิดขึ้นจะถูกล้อมรอบด้วยแก๊สและของเหลว (Takai, 2008) โดยปฏิกิริยาเบื้องต้นที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ แสดงดังตารางที่ 2.2 (Yang et al., 2012)



ภาพที่ 2.3 ระบบ Wire to Wire Electrode

ตารางที่ 2.2 ปฏิกิริยาเบื้องต้นในกระบวนการพลาสมาสารละลาย

ปฏิกิริยา	รายละเอียด
$Na_2SO_{4(s)}$ --> $2Na^+_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$ $SO_4^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)}$ --> $HSO_4^- + OH^-$	ผงโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ละลายได้ดีในน้ำ แตกตัวให้ไอออน Na^+ และ SO_4^{2-} โดย Na^+ เป็นเบสแก่ ไม่ทำปฏิกิริยาต่อ ส่วน SO_4^{2-} เป็นกรดอ่อน จะทำหน้าที่รับโปรตอน ทำให้สารละลายตั้งต้นมีคุณสมบัติเป็นเบส ส่งผลให้เกิดสภาพการนำไฟฟ้าดีขึ้น แต่จะไม่ส่งผลต่อการทำลายเชื้อ
$H_2O + hv$ --> H_2O^* $H_2O + hv$ --> $H_2O^+ + e^-$ $H_2O + hv$ --> $2H^+_{(aq)} + 1/2O_{2(g)} + 2e^-$ $H_2O + e^-$ --> $H_2O^* + e^-$ $H_2O + e^-$ --> $e^-_{(aq)}$ [Hydrate Electron]	เมื่อโมเลกุลน้ำถูกกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้าที่มีค่าเหมาะสม จะแตกตัวได้อิเล็กตรอน ไอออน อะตอมและโมเลกุลต่างๆ (Misra et al., 2016)
$e^-_{aq} + O_2(H_2O)$ --> $O_2^-(H_2O)$	เมื่อกระตุ้นสภาวะแก๊สด้วยพลังงานไฟฟ้าในปริมาณมาก จนเกิดการแตกตัวเป็นไอออน เกิด e^-_{aq} หรือที่เรียกว่า Hydrated Electron ซึ่งจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องในระดับที่รุนแรงมาก โดย e^-_{aq} จะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจนในน้ำ ($O_2(H_2O)$) แล้วได้เป็นซุปเปอร์ออกไซด์ (O_2^-)
$2O_2^- + 2H^+$ --> $H_2O_2 + O_2$	ซุปเปอร์ออกไซด์เป็นสารตั้งต้น ทำให้เกิดตัวออกซิไดซ์ที่มีความแรงมาก (ตัวออกซิไดซ์เป็นตัวรับอิเล็คตรอน สามารถทำลายเยื่อหุ้มเซลล์และโครงสร้างภายในของสิ่งมีชีวิตได้) ซุปเปอร์ออกไซด์เมื่ออยู่ในสารละลายที่มีองค์ประกอบเป็นน้ำและมีสภาพเป็นกรดที่เหมาะสม จะรวมตัวกับไฮโดรเจนไอออน (H^+) ได้ออกซิเจน (O_2) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่มีความแรงมาก เรียกปฏิกิริยา Superoxide Dismutation

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ปฏิกิริยา	รายละเอียด
H_2O^* --> H + OH• + hv $H_2O^* + e^-$ --> H• + OH• + e^- $H_2O^+ + H_2O$ --> H_3O^+ + OH•	นอกจากนี้ ซุปเปอร์ออกไซด์ยังกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (OH•) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่มีความแรงมากเช่นกัน
$M^+ + H_2O$ --> M + H_2O^+	M^+ เป็นสัญลักษณ์แทนไอออนบวก จะทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง โดยจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำ ได้ H_2O^+
$H_2O^+ + H_2O$ --> H_3O^+ + OH	H_2O^+ จะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำต่อ ได้ H_3O^+ ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดสภาพความเป็นกรดและนำไปสู่การเร่งปฏิกิริยา Superoxide Dismutation

ตัวออกซิไดซ์ที่มีความแรงมาก ได้แก่ อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็คตรอน มีโครงสร้างที่ไม่เสถียร ทำให้ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา จะมีผลรบกวนต่อชั้นผนังเซลล์ของเซลล์สิ่งมีชีวิต เช่น แบคทีเรีย โดยจะทำลายโครงสร้างผนังเซลล์และองค์ประกอบต่างๆภายในเซลล์ ส่งผลให้เซลล์เสียหายฉับพลันและตายในที่สุด

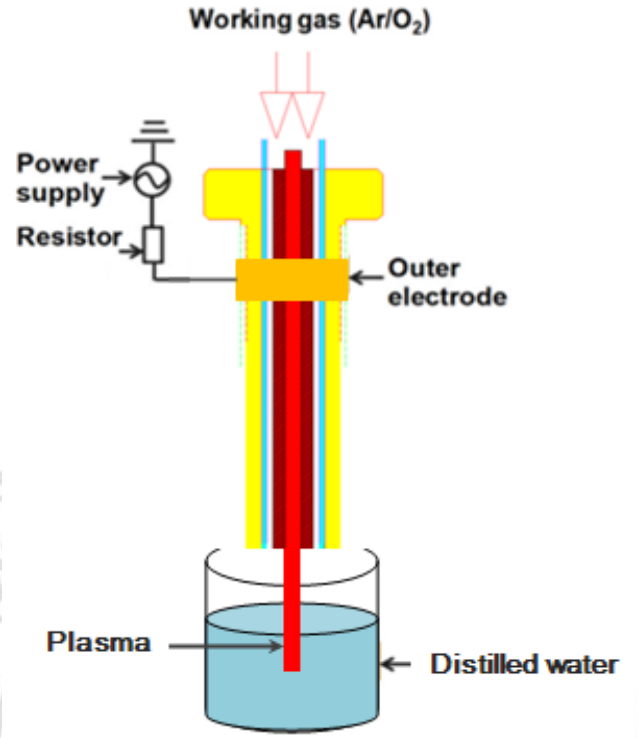
นอกจากนี้ยังมีความร้อน และรังสีอัลตราไวโอเลตช่วงความยาวคลื่น 200 - 300 นาโนเมตร ที่มีพลังงานสูงเพียงพอและสามารถเจาะทำลายได้ลึกกว่าความยาวคลื่นช่วงอื่นๆ ที่ส่งผลให้เกิดการปลอดเชื้อ (Hipper et al., 2008)

2. ระบบ Plasma Jet

Plasma Jet คือพลาสมาที่เกิดจากแก๊ส ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้แก๊สอาร์กอน เนื่องจากสามารถแตกตัวได้ดี แก๊สจะถูกบีบให้ไหลผ่านขั้วไฟฟ้าปลายแหลมที่มีสนามไฟฟ้าและความถี่สูง จากนั้นแก๊สจะเกิดการแตกตัวเป็นอิเล็กตรอน ไอออน อะตอม และโมเลกุลต่างๆที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น รวมถึงอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล แล้วถูกผลักออกมาตามแรงดันแก๊สจากแหล่งจ่าย จึงเกิดเป็นลำพลาสมาขนาดเล็กพุ่งออกมาจากหัวจ่าย (อาทิตย์ และคณะ, 2558)

ผู้วิจัยได้นำระบบ Plasma Jet มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการพลาสมาสารละลาย โดยให้ลำพลาสมาที่พุ่งออกมาผสมกับน้ำปราศจากไอออน (Distilled water) ตามภาพที่ 2.4 โดยจะให้หัวจ่ายพลาสมาสัมผัสกับน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดพลาสมาตามงานวิจัยของ Tian et al., 2015

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



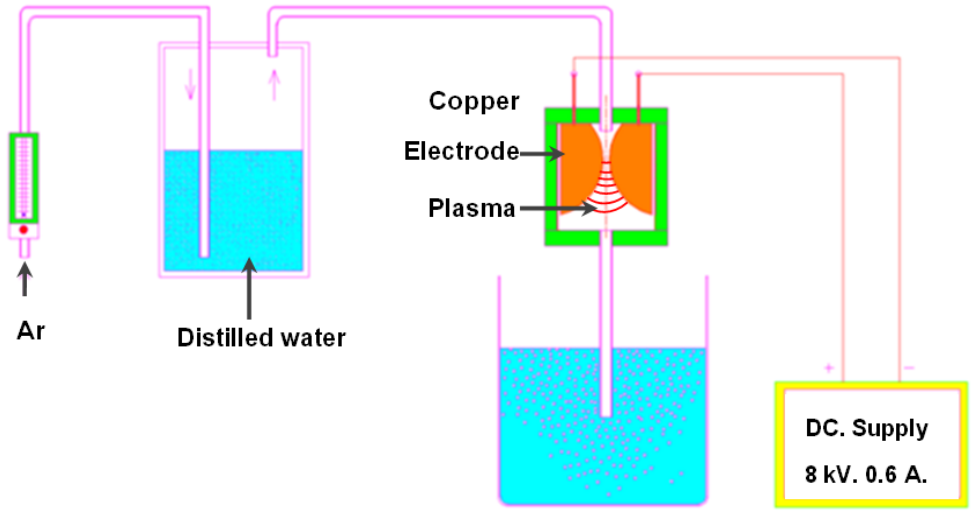
ภาพที่ 2.4 ระบบ Plasma Jet

3. ระบบ Gliding Arc

ระบบ Gliding Arc สร้างพลาสมาที่เกิดจากแก๊สคล้ายกับระบบ Plasma Jet คือแก๊สจะถูกบีบให้ไหลผ่านขั้วไฟฟ้าทั้งสองที่วางอยู่ในตำแหน่งลักษณะเป็นเส้นโค้งแยกออกจากกันซึ่งมีสนามไฟฟ้าและความถี่สูง จากนั้นแก๊สจะเกิดการแตกตัวเป็นอิเล็กตรอน ไอออน อะตอม และโมเลกุลที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น รวมทั้งอนุมูลอิสระต่างๆ เช่น NO^-, OH^-, N_2^+, O_2^+ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของสารประกอบ NO_2, HNO_2, HNO_3, H_2O_2 และถูกผลักออกมาตามแรงดันแก๊สจากแหล่งจ่าย จึงเกิดเป็นแถบพลาสมาบริเวณช่องว่างระหว่างส่วนโค้งเริ่มต้นของขั้วไฟฟ้า แล้วยืดตัวไปตามส่วนโค้งจนถึงบริเวณปลายส่วนโค้ง ดังนั้นระบบ Gliding Arc จึงมีความหนาแน่นของพลาสมาค่อนข้างสูง (El-Aragi, 2005) และ (Fridman et al., 1999)

ผู้วิจัยได้นำระบบ Gliding Arc มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการพลาสมาสารละลาย โดยติดตั้งถังน้ำปราศจากไอออน แล้วต่อท่อให้ไหลเข้าไปพร้อมกับแก๊ส พร้อมกำหนดอัตราการไหลของน้ำ เพื่อให้หยดผ่านแถบพลาสมา ได้เป็นพลาสมาสารละลาย ดังแสดงตามภาพที่ 2.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.5 ระบบ Gliding Arc

2.1.4 ด้านวิศวกรรมศาสตร์ที่เกี่ยวกับเรื่องการออกแบบการทดลอง

<u>การออกแบบการทดลอง</u>

การออกแบบการทดลอง เป็นขั้นตอนหนึ่งที่จะสามารถช่วยหาคำตอบของวัตถุประสงค์ในการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลต่อวิธีการทดลอง วิธีการวิเคราะห์ผลการทดลอง รวมถึงการใช้ทรัพยากรในการทดลองที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุดด้วย ดังนั้นในการทดลองหนึ่งควรให้ความสำคัญอย่างมากต่อการออกแบบการทดลอง โดยเริ่มจากการกำหนดวัตถุประสงค์ในการทดลอง เลือกปัจจัยพร้อมทั้งกำหนดช่วงของแต่ละปัจจัย เลือกผลตอบ และเลือกรูปแบบวิธีการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม (รังสรรค์, 2534)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวทางและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องการจัดการโรคใบขาวอ้อย และกระบวนการพลาสมาสารละลายของนักวิจัยแต่ละท่านในอดีต เพื่อใช้เป็นแหล่งอ้างอิง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 การจัดการโรคใบขาวอ้อย

ในปัจจุบันมีนักวิจัยหลายท่านศึกษาเรื่องโรคใบขาว การป้องกันและกำจัดโรค รวมถึงการขยายพันธุ์อ้อยให้ปลอดโรคใบขาวมากขึ้น ทำให้มีแนวทางการลดอัตราการเกิดโรคใบขาวในท่อนพันธุ์อ้อยที่หลากหลายดังนี้

1. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

พรทิพย์ (2542ก) นำชิ้นส่วนจากต้นอ้อยที่แสดงอาการใบขาวทั้ง 3 ส่วนได้แก่ เนื้อเยื่อตาข้าง เนื้อเยื่อใบอ่อน และเนื้อเยื่อเจริญปลายยอด มาทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในอาหารสังเคราะห์ พบว่าต้นอ่อนจากเนื้อเยื่อทั้ง 3 ส่วนเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่มีอัตราการตายเร็วกว่าต้นอ่อนจากเนื้อเยื่ออ้อยปกติ ทำให้ต้องย้ายอาหารสังเคราะห์บ่อยครั้งกว่าปกติ เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโต เมื่อย้ายลงแปลงธรรมชาติ ส่วนใหญ่ต้นอ้อยจะแตกกอย่อย ไม่เจริญเป็นลำอ้อย ตรวจพิสูจน์หาเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุโรคใบขาวด้วยเทคนิคทางชีวโมเลกุล PCR พบว่าต้นอ้อยที่มาจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อตาข้างมีอัตราการปลอดเชื้อเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ คือไม่พบต้นอ้อยที่ปลอดเชื้อเลย ส่วนต้นอ้อยที่มาจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อใบอ่อนมีอัตราการปลอดเชื้อประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ และต้นอ้อยที่มาจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเจริญปลายยอดมีอัตราการปลอดเชื้อเพียง 3 เปอร์เซ็นต์ แต่มีความแข็งแรงกว่าต้นอ้อยที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนอื่นๆ สรุปได้ว่าสามารถกระตุ้นการเติบโตของต้นอ้อยจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยการเปลี่ยนชุดอาหารสังเคราะห์ให้บ่อยครั้งกว่าปกติ แต่ไม่สามารถกำจัดเชื้อได้ทั้งหมด และพรทิพย์ (2542ก) ยังได้ทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเฉพาะส่วนปลายยอดของต้นอ้อยที่แสดงอาการใบขาวในอาหารสังเคราะห์ที่ผสมด้วยยาปฏิชีวนะเตตราไซคลินในอัตราส่วนความเข้มข้นระดับต่างๆ พบว่าความเข้มข้นของยาปฏิชีวนะในระดับต่ำจะส่งผลทำให้ต้นอ่อนมีอัตราการอยู่รอดสูง แต่มีอัตราการปลอดเชื้อต่ำ คือเมื่อย้ายต้นอ้อยลงปลูกในแปลงธรรมชาติ ต้นอ้อยจะเจริญเติบโต แต่ยังคงแสดงอาการใบขาว ส่วนความเข้มข้นของยาปฏิชีวนะในระดับสูงจะส่งผลทำให้ต้นอ้อยมีอัตราการอยู่รอดต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แต่มีอัตราการปลอดเชื้อสูง นั่นคือต้นอ้อยส่วนใหญ่จะชะงักการเจริญเติบโตและแห้งตาย มีเพียงส่วนน้อยที่รอด ซึ่งต้นอ้อยที่อยู่รอดจะปลอดเชื้อเกือบทั้งหมด ทำให้ทราบว่ายาปฏิชีวนะเตตราไซคลินที่มีความเข้มข้นในระดับที่เหมาะสมมีผลต่อเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุของโรคใบขาว สามารถลดเชื้อได้ แต่วิธีนี้ยังไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากการใช้สารเคมีนั้นยังมีข้อจำกัดสำหรับการควบคุมโรคในสภาพไร่ ส่วนนิลุบลและคณะ (2555) นำเนื้อเยื่อส่วนเจริญปลายยอดของอ้อยปกติ มาเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในอาหารสังเคราะห์ปกติ แล้วนำไปปลูกลงในแปลงธรรมชาติที่อยู่ห่างจากแปลงอ้อยอื่นอย่างน้อย 1 กิโลเมตร ตามพื้นที่จังหวัดต่างๆ พบว่าต้นอ้อยในแปลงส่วนใหญ่ปลอดเชื้อ แต่มีบางแปลงในพื้นที่บางจังหวัดที่พบว่ามีการระบาดของโรคใบขาวมากได้ตรวจพบเชื้อ ซึ่งอาจมาจากแมลงพาหะ อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นวิธีที่ยุ่งยาก ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญ ใช้เวลานาน ใช้วัสดุอุปกรณ์และสถานที่ปลอดเชื้อ และมีค่าใช้จ่ายสูง ทำให้วิธีเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อยังไม่เป็นที่นิยมของเกษตรกรชาวไร่อ้อยมากนัก

2. การใช้ความร้อนและสารเคมี

วิธีการแช่ท่อนพันธุ์อ้อยในน้ำร้อน ได้ถูกศึกษาโดยอัปสรและคณะ (2538) พบว่าสามารถกำจัดเชื้อไฟโตพลาสมาในท่อนพันธุ์อ้อยได้ ในขณะที่สุนีและคณะ (2557) ศึกษาวิธีการใช้น้ำร้อนในการกำจัดเชื้อไฟโตพลาสมาในท่อนพันธุ์อ้อยเช่นกัน พบว่าการแช่ท่อนพันธุ์อ้อยในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง สามารถลดเชื้อไฟโตพลาสมาในท่อนพันธุ์อ้อยได้ในระดับหนึ่ง แต่ไม่ได้ทั้งหมด ทำให้ทราบว่าท่อนพันธุ์อ้อยสามารถทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียสได้ แต่ในบางกรณีที่อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น อาจส่งผลกระทบต่อตาอ้อย ทำให้ตาอ้อยสูญเสียความสามารถในการงอก รวมไปถึงกระบวนการต้องใช้ระยะเวลานาน ทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายมาก ส่งผลให้ไม่เป็นที่นิยมสำหรับเกษตรกรชาวไร่อ้อย ส่วนวิธีการแช่ท่อนพันธุ์อ้อยในสารละลายเตตราไซคลินสามารถลดเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุของโรคใบขาวในอ้อยได้เช่นกัน แต่ไม่นิยมเนื่องจากต้องใช้สารเคมี ดังนั้นในการทดลองควรควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาในกระบวนการให้อยู่ในระดับ 50 องศาเซลเซียส เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการงอกของตาอ้อย

จากงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับเรื่องโรคใบขาว การป้องกันและกำจัดโรค รวมถึงการขยายพันธุ์อ้อยให้ปลอดโรคใบขาวนั้น สามารถสรุปผลของงานวิจัยและแนวคิดที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ ได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 การจัดการโรคใบขาวอ้อยจากงานวิจัยในอดีต

แหล่งอ้างอิง	วิธีจัดการโรคใบขาวของอ้อย	ผลของงานวิจัยและแนวคิดที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้
อัปสร และคณะ (2538) สุนี และคณะ (2557)	แช่ท่อนพันธุ์อ้อยในน้ำร้อน	1.น้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส สามารถลดเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุของโรคใบขาวในท่อนพันธุ์อ้อยได้ แต่ยังไม่สามารถกำจัดเชื้อได้ทั้งหมด 2.อุณหภูมิที่สูงกว่า 50 องศาเซลเซียสขึ้นไป จะมีผลกระทบต่อความสามารถในการงอกของตาอ้อย ดังนั้นในการทดลองควรควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการให้เหมาะสม
พรทิพย์ (2542ก)	เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากเนื่อเยื่อเจริญส่วนต่างๆของอ้อยที่แสดงอาการใบขาวในอาหารสังเคราะห์	การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากอ้อยที่แสดงอาการใบขาว ไม่สามารถกำจัดเชื้อได้ แต่สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตด้วยการเปลี่ยนถ่ายอาหารสังเคราะห์ให้บ่อยครั้งกว่าปกติ
	เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากเนื้อเยื่อเจริญปลายยอดของอ้อยที่แสดงอาการใบขาวในอาหารสังเคราะห์ที่ผสมยาปฏิชีวนะเตตราไซคลิน	1.ยังไม่สามารถทำให้อ้อยปลอดเชื้อได้ทั้งหมด 2.ความเข้มข้นของยาปฏิชีวนะเตตราไซคลินที่มีปริมาณมาก จะส่งผลต่ออัตราการงอกของต้นอ้อย
นิลุบล และคณะ (2555)	เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากเนื้อเยื่อเจริญปลายยอดของอ้อยที่แสดงอาการใบขาว	1.ยังไม่สามารถทำให้อ้อยปลอดเชื้อได้ทั้งหมด 2.โรคใบขาวสามารถระบาดจากแมลงพาหะ โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีการระบาดของโรคมาก ดังนั้นในการทดองควรปลูกอ้อยให้ห่างจากพื้นที่ที่เป็นแหล่งระบาดของโรคใบขาว เพื่อควบคุมปัจจัยรบกวนภายนอกไม่ให้ส่งผลต่อการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นลักษณะของท่อนพันธุ์อ้อยที่จะนำมาทดลองในงานวิจัย ควรเป็นท่อนพันธุ์อ้อยที่มาจากสายพันธุ์เดียวกัน มีขนาดลำปล้องและอายุปลูกใกล้เคียงกัน เพื่อนำมาผ่านกระบวนการพลาสมาสารละลาย ซึ่งจะต้องควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส รวมถึงการปลูกอ้อยควรควบคุมให้อยู่ห่างจากพื้นที่ที่มีการระบาดของโรคมาก เพื่อป้องกันปัจจัยรบกวนอื่นๆที่อาจจะมีผลต่องานวิจัย พร้อมกับวินิจฉัยโรคและตรวจพิสูจน์หาเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุของโรคใบขาวอ้อยด้วยเทคนิคทางชีวโมเลกุล Nested PCR โดยอ้างอิงตามศุจิรัตน์และคณะ (2555) ที่ได้ใช้เทคนิค Nested PCR จำแนกความหลากหลายทางพันธุกรรมของเชื้อไฟโตพลาสมาที่ก่อโรคในอ้อย รวมทั้งตรวจสอบเชื้อด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำแสงส่องกราด อ้างอิงจาก Lebsky and Poghosyan (2014) และ Lebsky et al., (2010) ที่ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำแสงส่องกราดตรวจหาเชื้อไฟโตพลาสมาในท่อลำเลียงอาหารจากส่วนต่างๆของพืช

2.2.2 กระบวนการพลาสมาสารละลาย

ในปัจจุบันกระบวนการพลาสมาสารละลายไม่ได้เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายมากนักโดยเฉพาะภาคเกษตรกรรม ส่วนใหญ่มักถูกนำไปประยุกต์ใช้กับการสังเคราะห์อนุภาคขนาดเล็ก การเคลือบหรือปรับผิวหน้าของโลหะ รวมไปถึงการทำให้ปลอดเชื้อ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพคุ้มค่า และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย การนำกระบวนการพลาสมาสารละลายมาประยุกต์ใช้ในด้านเกษตรกรรม ช่วยลดเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุโรคใบขาวในท่อนพันธุ์อ้อย ถือได้ว่าเป็นงานวิจัยที่น่าสนใจอย่างยิ่ง ผู้วิจัยจึงได้ศึกษางานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการพลาสมาสารละลาย พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการทำให้ปลอดเชื้อ ได้แก่ปัจจัยด้านอนุภาคที่มีประจุ และชนิดของสารประกอบในปฏิกิริยา รวมถึงปัจจัยด้านความร้อนและรังสีอัลตราไวโอเลต ซึ่งสามารถสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ปัจจัยด้านอนุภาคที่มีประจุและชนิดของสารประกอบในปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาในกระบวนการพลาสมาสารละลายจะถูกกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าปริมาณมาก เพื่อให้เกิดการแตกตัวของแก๊สได้อนุภาคที่มีประจุ เช่น อิเล็กตรอน และไอออน เกิดเป็นปฏิกิริยาที่ต่อเนื่องได้สารประกอบต่างๆ เช่น อนุมูลอิสระ โดยปริมาณสนามไฟฟ้าที่จะก่อให้เกิดอนุภาคที่มีประจุและสารประกอบต่างๆ แล้วนำไปสู่การปลอดเชื้อ ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดสนามไฟฟ้า สภาพการนำไฟฟ้าของสารละลาย รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ มีรายละเอียดดังนี้

- แหล่งกำเนิดสนามไฟฟ้า

แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าประกอบด้วย 2 ส่วนประกอบหลักคือ แหล่งจ่ายไฟ และขั้วไฟฟ้า ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์ในกระบวนการพลาสมาสารละลาย ต้องใช้ขั้วไฟฟ้าจำนวน 2 ขั้ว จุ่มลงในสารละลายโดยให้มีระยะห่างระหว่างขั้วที่เหมาะสม แล้วต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟที่มีพลังงานสูง ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนพลาสมาสารละลายของนักวิจัยแต่ละท่าน ได้ใช้แหล่งกำเนิดสนามไฟฟ้าที่มีระดับพลังงานต่างกัน ทำให้ความเสถียรในการเกิดพลาสมาต่างกัน (Baroch and Saito, 2008B) เช่น Abou-Ghazala et al., (2002) ใช้พลาสมาสารละลายทำให้ปลอดเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมลบและแกรมบวก โดยใช้ระบบเครื่อง DC pulse power supply ปรับแรงดันที่ระดับ 120 กิโลโวลต์ ความถี่ 0.0001 กิโลเฮิร์ต ความกว้างพัลส์ 0.6 ไมโครวินาที และใช้ขั้วแอโนดเป็นเส้นทังสเตนและขั้วแคโทดเป็นแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) โดยมีระยะห่างระหว่างขั้ว 23 มิลลิเมตร ส่วน Andreeva et al., (2012) ใช้พลาสมาสารละลายทำให้ปลอดเชื้อแบคทีเรียอีโคไล ด้วยแรงดันไฟฟ้า 2.0 - 2.4 กิโลโวลต์ ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ต ความกว้างพัลส์ 2 ไมโครวินาที และใช้ขั้วไฟฟ้าที่ทำจากเส้นทังสเตนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหน้าตัดยาว 1 มิลลิเมตร มีระยะห่างระหว่างขั้ว 1 มิลลิเมตร เป็นต้น ซึ่งสามารถสรุปงานวิจัยของนักวิจัยแต่ละท่านได้ดังตารางที่ 2.5

เมื่อกระตุ้นด้วยพลังงานมากพอ สารละลายที่มีองค์ประกอบหลักเป็นน้ำ จะเกิดการแตกตัวให้อิเล็กตรอน และไอออน แล้วก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่ต่อเนื่องได้สารประกอบหลัก เช่น อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (OH•) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) เป็นต้น (Locke et al., 2006) และ (Bratescu et al., 2010) โดยขณะที่เกิดการดิสชาร์จนั้น จะเกิดแสงสว่างวาบขึ้นที่บริเวณระหว่างขั้วแอโนดและแคโทด สามารถวัดชนิดและปริมาณของธาตุเหล่านี้ได้จากเครื่อง Optical Emission Spectroscopy (OES)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.4 ธาตุที่วัดได้จากเครื่อง OES (Miron et al., 2010)

ธาตุ	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
OH•	306.40
H_γ	434.04
H_β	486.13
H_α	656.28
O	777.50 / 844.60

แสดงให้เห็นว่าการที่จะเกิดสภาวะพลาสมาได้นั้น จะต้องกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้าปริมาณที่เหมาะสม รวมไปถึงชนิดของขั้วไฟฟ้า ขนาดหน้าตัดและระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทดต้องมีความเหมาะสมด้วยเช่นกัน

- สภาพการนำไฟฟ้า

สภาพการนำไฟฟ้า หรือสภาพความเป็นกรดด่างของสารละลาย ขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในกระบวนการ กล่าวคือเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้า จะทำให้สารละลายเกิดการนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ส่งผลให้ใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าลดลงและเกิดการดิสชาร์จได้ง่ายขึ้น โดยสามารถอ้างอิงได้จากงานวิจัยของธวัชชัย และอภิรักษ์ (2557) ที่ศึกษาระดับค่าพลังงานที่เหมาะสมต่อการเกิดสภาวะพลาสมาในกระบวนการพลาสมาสารละลาย โดยศึกษาสารละลาย 2 ชนิด คือสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และสารละลายโซเดียมอะซิเตท (CH_3COONa) ที่ระดับความเข้มข้น 2.5 และ 5.0 กรัมต่อลิตร พบว่าสารละลายโซเดียมซัลเฟตมีสภาพการนำไฟฟ้าที่ดีกว่าสารละลายโซเดียมอะซิเตท และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายมากขึ้นจะใช้แรงดันไฟฟ้าที่ลดลง เช่นเดียวกับ Pootawong et al., (2011) ที่นำกระบวนการพลาสมาสารละลาย มาประยุกต์ใช้กับเรื่องการขจัดเศษของเมโซพอรัสซิลิกา โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่ระดับความเข้มข้น 3.65 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีสภาพเป็นกรด (ค่า pH น้อยกว่า 7) และใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีสภาพเป็นเบส (ค่า pH มากกว่า 7) พบว่าสารละลายทั้งสองมีสภาพการนำไฟฟ้า และมีความรุนแรงในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าสารละลายที่มีสภาพเป็นกลาง ซึ่งสอดคล้องกับการนำพลาสมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารละลายมาประยุกต์ใช้ทำให้ปลอดเชื้อ โดย Andreeva et al., (2012) ได้เลือกใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟต และ Takai (2008) ได้เลือกใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟตและสารละลายโซเดียมอะซิเตท เนื่องจากเป็นสารละลายที่ไม่ได้แตกตัวให้ไอออนที่มีความสามารถในการฆ่าเชื้อ แต่ช่วยให้มีสภาพการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น ซึ่งสามารถสรุปงานวิจัยของนักวิจัยแต่ละท่านได้ดังตารางที่ 2.6

แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายที่มีคุณสมบัติแตกตัวให้ไอออนเมื่อละลายน้ำ หรือทำให้สารละลายมีสภาพเป็นกรดหรือด่างแล้วจะทำให้เกิดสภาพการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น ส่งผลให้ใช้ปริมาณแรงดันไฟฟ้าลดลง เกิดสภาวะพลาสมาง่ายขึ้น ความรุนแรงในการเกิดปฏิกิริยามีมากขึ้น และการเลือกสารละลายที่จะนำมาประยุกต์ใช้ทำให้เกิดการปลอดเชื้อในกระบวนการพลาสมาสารละลายนั้นจะต้องเป็นสารละลายที่ไม่มีผลต่อการฆ่าเชื้อด้วย เช่น สารละลายโซเดียมซัลเฟต และสารละลายโซเดียมอะซิเตท เป็นต้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟตตามงานวิจัยของ Andreeva et al., (2012) เนื่องจากสามารถละลายน้ำ แตกตัวให้ไอออนอิสระได้ดี และไม่มีผลต่อการฆ่าเชื้อ พร้อมกับใช้ขั้วไฟฟ้าเป็นเส้นทังสเตนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหน้าตัด 1 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างขั้ว 3 มิลลิเมตร และใช้แหล่งจ่ายไฟแบบ DC power supply ตามงานวิจัยของธวัชชัย และอภิรักษ์ (2557)

- ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ

Andreeva et al., (2012) ยังได้ปรับระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาสารละลาย ให้อยู่ในช่วง 0 – 5 นาที พบว่าจำนวนเชื้อแบคทีเรียจะลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ กล่าวคือเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในกระบวนการ จำนวนแบคทีเรียจะยิ่งลดลง ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกับ Prasertsung et al., (2013) ได้ใช้กระบวนการพลาสมาสารละลาย ช่วยปลดปล่อยพันธะเบต้าไคโตซาน โดยใช้เวลาในกระบวนการอยู่ในช่วง 0 – 300 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในกระบวนการ จะทำให้พันธะถูกปลดปล่อยมากขึ้น ทำให้น้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของสารละลายไคโตซานหรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะไคโตซานลดลง และยังมีงานวิจัยของ Watthanaphanit et al., (2014) ที่นำกระบวนการพลาสมาสารละลาย ช่วยปรับปรุงรูปร่างของอนุภาคทองคำขนาดระดับนาโน โดยใช้เวลาในกระบวนการ 0 – 30 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในกระบวนการจะทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการมีผลต่อการลดลงของจำนวนเชื้อ

2. ปัจจัยด้านความร้อนและรังสีอัลตราไวโอเลต

ขณะเกิดการดิสชาร์จ อิเล็กตรอนที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นบางส่วนจะกลับเข้ามารวมตัวกับอะตอมเดิม พร้อมกับคายพลังงานส่วนเกินที่ได้รับออกมา โดยอาจอยู่ในรูปของความร้อนหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นช่วง 200 - 300 นาโนเมตร คือรังสีอัลตราไวโอเลตกลุ่มซี มีความสามารถในการฆ่าเชื้อโรค ดังงานวิจัยของ Andreeva et al., (2012) ได้ใช้เครื่อง OES ตรวจหาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในขณะเกิดการดิสชาร์จ พบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 220 - 280 นาโนเมตร แล้วส่งผลให้เกิดการปลอดเชื้อแบคทีเรียอีโคไล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Laroussi (2005) และ Labas et al., (2006)

แสดงให้เห็นว่าปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลต่อการปลอดเชื้อในกระบวนการพลาสมาสารละลาย คือรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นในช่วง 200 – 300 นาโนเมตร ดังนั้นงานวิจัยนี้ควรใช้เครื่อง OES เพื่อตรวจสอบและยืนยัน ชนิดและปริมาณธาตุต่างๆ ขณะเกิดการดิสชาร์จระหว่างการทดลอง ตามงานวิจัยของ Andreeva et al., (2012)

จากหลักการและทฤษฎีต่างๆ รวมถึงการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงให้เห็นว่ากระบวนการพลาสมาสารละลาย น่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถนำมาประยุกต์เพื่อช่วยลดเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุของโรคใบขาวในท่อนพันธุ์อ้อยได้ เนื่องจากมีปัจจัยในกระบวนการพลาสมาสารละลายที่มีผลทำให้สามารถลดเชื้อ ดังนี้

1. ปัจจัยด้านอนุภาคที่มีประจุ ได้แก่ อิเล็กตรอน ไอออนที่มีพลังงานสูง ทำปฏิกิริยาก่อให้เกิดสารประกอบตั้งต้นที่จะนำไปสู่การเกิดตัวออกซิไดซ์ที่มีความแรงมาก ส่งผลให้เกิดการปลอดเชื้อ และไอออนบวกจะทำหน้าที่ทำให้สารละลายกลายสภาพเป็นกรด นำไปสู่การช่วยเร่งปฏิกิริยาเคมี แต่ก่อนที่จะเกิดอนุภาคที่มีประจุได้นั้นต้องอาศัยพลังงานจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าในปริมาณที่มากพอ เพื่อให้เกิดการแตกตัวได้ไอออน และอิเล็กตรอน เป็นปฏิกิริยาที่ต่อเนื่องในสภาวะพลาสมา โดยขึ้นอยู่กับสภาพการนำไฟฟ้าที่ได้จากการกำหนดชนิดของสารละลาย ซึ่งชนิดของสารที่เลือกใช้จะต้องสามารถละลายในน้ำได้และมีคุณสมบัติในการแตกตัวเป็นไอออนอิสระ สามารถนำไฟฟ้าได้ดี และที่สำคัญจะต้องไม่มีผลต่อการฆ่าเชื้อ เช่น โซเดียมซัลเฟต เป็นต้น และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดการแตกตัวง่ายขึ้น แต่เมื่อนำไปทดลองกับท่อนพันธุ์อ้อยควรกำหนดระดับความเข้มข้นของสารละลายในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสามารถในการงอกของท่อนพันธุ์อ้อย พร้อมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพของอัตราการลดเชื้อด้วยการปรับระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการให้เหมาะสมด้วย

2. ปัจจัยด้านความร้อนและรังสีอัลตราไวโอเลต ขณะเกิดปฏิกิริยา อิเล็กตรอนและไอออนบางส่วนกลับเข้ามารวมตัวกับอะตอมแล้วคายพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น รังสีอัลตราไวโอเลต และรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นในช่วง 200 - 300 นาโนเมตร มีพลังงานมากพอที่จะทำลายพันธะทางเคมีและถูกดูดกลืนด้วยสารประกอบได้ ทำให้มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อ เป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ช่วยลดเชื้อในท่อนพันธุ์อ้อย และท่อนพันธุ์อ้อยที่นำมาทดลองควรตัดให้มีขนาดเล็ก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.5 ระดับพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟและขั้วไฟฟ้าในกระบวนการพลาสมาสารละลาย ระบบ Wire to Wire Electrode

แหล่งอ้างอิง		แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)					ขั้วไฟฟ้า (Electrode)		
		ระบบเครื่อง	กระแส (A)	แรงดัน (kV)	ความถี่ (kHz)	ความกว้างพัลส์ (us)	ชนิดขั้วไฟฟ้า	ขนาดหน้าตัด (mm)	ระยะห่าง (mm)
ใช้พลาสมาทำให้ปลอดเชื้อ	Abou-Ghazala et al., (2002)	Bipolar DC pulse power supply	-	120.0	0.0001	0.6	เส้นทังสเตนและแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม	0.075	23.0
	Takai (2008)	Bipolar DC pulse power supply	-	0.8	-	-	เส้นทังสเตน	-	0.3
	Andreeva et al., (2012)	Bipolar DC pulse power supply	-	2.0	15.0	2.0	เส้นทังสเตน	1.0	1.0
ใช้พลาสมาสลายพันธะ	Prasertsung et al., (2013)	Bipolar DC pulse power supply	-	1.6	15.0	2.0	เส้นทังสเตน	1.0	0.2
	Watthanaphanit and Saito (2013)	Bipolar DC pulse power supply	-	1.1	15.0	2.0	เส้นทังสเตน	1.0	0.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

แหล่งอ้างอิง		แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)					ขั้วไฟฟ้า (Electrode)		
		ระบบเครื่อง	กระแส (A)	แรงดัน (kV)	ความถี่ (kHz)	ความกว้างพัลส์ (us)	ชนิดขั้วไฟฟ้า	ขนาดหน้าตัด (mm)	ระยะห่าง (mm)
ใช้พลาสมาสังเคราะห์สาร	Lee et al., (2014)	Bipolar DC pulse power supply	-	3.2	20.0	2.0	เส้นคาร์บอน	-	1.0
	Watthanaphanit et al., (2014)	Bipolar DC pulse power supply	-	-	15.0	2.0	เส้นทังสเตน	-	0.3
ใช้พลาสมาขจัดผิว	Pootawong et al., (2011)	Bipolar DC pulse power supply	-	2.4	15.0	2.0	เส้นทังสเตน	-	0.3
ใช้พลาสมาเคลือบผิว	ธวัชชัย และอภิรักษ์ (2557)	DC power supply	-	0.3	-	-	เส้นทังสเตน	1.0	1.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

แหล่งอ้างอิง		แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)					ขั้วไฟฟ้า (Electrode)		
		ระบบเครื่อง	กระแส (A)	แรงดัน (kV)	ความถี่ (kHz)	ความกว้างพัลส์ (us)	ชนิดขั้วไฟฟ้า	ขนาดหน้าตัด (mm)	ระยะห่าง (mm)
อื่นๆ	De Baerdemaeker et al., (2005)	DC power supply (30 kV 20 mA)	0.0064	17.0	-	-	เส้นอะลูมิเนียม	-	45.0
	Baroch et al., (2008A)	Bipolar DC pulse power supply	-	1.0	20.0	20.0	เส้นทังสเตน	1.0	0.3
	Baroch and Saito (2008B)	Bipolar DC pulse power supply	5.0	2.5	10.0	3.0	-	-	10.0
	Bratescu et al., (2010)	Bipolar DC pulse power supply	-	1.1	25.0	4.0	เส้นทังสเตน	1.0	-

หมายเหตุ: “-” หมายถึง ไม่มีข้อมูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.6 ชนิด ความเข้มข้นสารละลาย และเวลาที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาสารละลาย ระบบ Wire to Wire Electrode

แหล่งอ้างอิง		รายละเอียด	สารละลาย		อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	ผลและแนวคิดของงานวิจัยที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้
			ชนิดสารละลาย	ความเข้มข้น (g/l)			
ใช้พลาสมาทำให้ปลอดเชื้อ	Abou-Ghazala et al., (2002)	ทำให้ปลอดเชื้อแบคทีเรียอีโคไล	-	-	-	-	1.จำนวนแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมลบและแกรมบวกลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในกระบวนการ 2.ปัจจัยที่ช่วยให้เกิดการปลอดเชื้อคือรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีคลื่นความยาวช่วง 200-300 นาโนเมตร ซึ่งถูกสร้างขึ้นขณะเกิดการดิสชาร์จ 3.ระบบดิสชาร์จไม่มีผลต่อการทำลายโครงสร้างทางกายภาพของเชื้อแบคทีเรียและไม่ได้ทำให้อุณหภูมิในสารละลายเพิ่มขึ้นอย่างมาก
	Takai (2008)	ทำให้ปลอดเชื้อแบคทีเรียแกรมลบและบวก	โซเดียมซัลเฟตและโซเดียมอะซิเตท	-	-	0 - 0.5	
	Andreeva et al., (2012)	ทำให้ปลอดเชื้อแบคทีเรียอีโคไล	โซเดียมซัลเฟต	5.0	30.0	0 – 5	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

แหล่งอ้างอิง		รายละเอียด	สารละลาย		อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	ผลและแนวคิดของงานวิจัยที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้
			ชนิดสารละลาย	ความเข้มข้น (g/l)			
ใช้พลาสมาสลายพันธะ	Prasertsung et al., (2013)	ปลดปล่อยพันธะเบต้าไคโตซาน	กรดแอซิติก (CH_3COOH)	60.0	25.0 - 30.0	0 - 300	1.เมื่อเพิ่มเวลา ส่งผลทำให้พันธะถูกปลดปล่อยมากขึ้น 2.ไม่มีผลต่อโครงสร้างเคมีของไคโตซาน 3.ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดพลาสมาคือความเข้มข้นของสารละลาย
	Watthanaphanit et al., (2013)	ปลดปล่อยพันธะโซเดียมอัลจิเนต	โซเดียมไนเตรต ($NaNO_3$)	10.1	20.0 - 90.0	0 - 60	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

แหล่งอ้างอิง		รายละเอียด	สารละลาย		อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	ผลและแนวคิดของงานวิจัยที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้
			ชนิดสารละลาย	ความเข้มข้น (g/l)			
ใช้พลาสมาสังเคราะห์สาร	Lee et al., (2014)	สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม/คาร์บอน	กรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$)	10.0	-	30	1.เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการจะทำให้ขนาดของอนุภาคลดลง 2.การปรับระยะเวลาให้เหมาะสมสามารถควบคุมรูปร่างและขนาดของอนุภาคได้ 3.ได้ขนาดอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกัน เมื่อเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของสารละลาย
	Watthanaphanit et al., (2014)	สร้างอนุภาคทองคำขนาดระดับนาโน	ไฮโดรเจนเตตระคลอโรออเรต ($HAuCl_4$)	0.1	-	0 - 30	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

แหล่งอ้างอิง		รายละเอียด	สารละลาย		อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	ผลและแนวคิดของงานวิจัยที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้
			ชนิดสารละลาย	ความเข้มข้น (g/l)			
ใช้พลาสมาขจัดผิว	Pootawong et al., (2011)	กำจัดเทมเพลตอินทรีย์ในเมโซพอรัสซิลิกา	กรดไฮโดรคลอลิกและโซเดียมไฮดรอกไซด์	3.7 และ 4.0	23.0 - 40.0	1 - 15	1.ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดเทมเพลตอินทรีย์ในเมโซพอรัสซิลิกา คือ ค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายและระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 2.ปฏิกิริยาไม่มีผลต่อโครงสร้างทางเคมีของเมโซพอรัสซิลิกา
ใช้พลาสมาเคลือบผิว	ธวัชชัย และ อภิรักษ์ (2557)	เคลือบผิวมะนาว	โซเดียมซัลเฟตและโซเดียมอะซิเตท	2.5 - 5.0	59.0 - 74.0	-	1.สารละลายโซเดียมซัลเฟตนำไฟฟ้าได้ดีกว่าสารละลายโซเดียมอะซิเตท 2.สารละลายที่มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่เหมาะสม จะช่วยลดระดับแรงดันไฟฟ้าลง

หมายเหตุ: “-” หมายถึง ไม่มีข้อมูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.7 การประยุกต์ใช้พลาสมาสารละลายในระบบอื่นๆ

แหล่งอ้างอิง	ระบบ	รายละเอียด	สารละลาย	อุณหภูมิ (˚C)	เวลา (min)
Ma et al., (2015)	Plasma Jet	ใช้พลาสมาทำให้ปลอดเชื้อ Staphylococcus aureus บนผิวสตรอว์เบอร์รี่	ดิสชาร์จผ่านน้ำ ปราศจากไอออน	-	10 และ 20
Wang et al., (2016)	Plasma Jet	ใช้พลาสมากำจัดเชื้อไวรัส ในสัตว์ปีก	ดิสชาร์จโดยตรง	37.0	2 4 และ 6
Garcia et al., (2017)	Plasma Jet	ใช้พลาสมาปรับปรุงคุณภาพ น้ำเสีย	ดิสชาร์จโดยตรง	-	0 – 30
Kim et al., (2013)	Gliding Arc	ใช้พลาสมาทำให้ปลอดเชื้อ แบคทีเรียอีโคไล	ดิสชาร์จโดยตรง	-	25 – 240
Wright et al., (2014)	Gliding Arc	ใช้พลาสมากำจัดไบคาร์บอเนต ในน้ำเสีย	ดิสชาร์จโดยตรง	-	0 – 1,800
Khani et al., (2017)	Gliding Arc	ใช้พลาสมายับยั้งเอนไซม์ บนผิวมะเขือเทศ	ดิสชาร์จโดยตรง	40.0	7

หมายเหตุ: “-” หมายถึง ไม่มีข้อมูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved