บทที่ 4

บทสรุป

ในการศึกษาผลของสารพิษที่มีต่อรูปแบบของกระแสไฟฟ้าไอออนรอบรากทานตะวันด้วยระบบไวเบรติงโพรบ เลือกศึกษารากทานตะวันพันธุ์แปซิฟิก 33 อายุราก 40±2 ชั่วโมง ความยาวราก 13±2 มิลลิเมตร โดยวัดกระแสไฟฟ้าไอออนรอบๆ ราก วัดตำแหน่งแรกตรงปลายรากและวัดห่างกันตำแหน่งละ 500 ไมโครเมตร จำนวน 22 ตำแหน่งวัด ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่มีสารพิษ ในกรณีที่มีสารพิษเลือกศึกษาผลของ อลูมิเนียม แคดเมียม และอาร์ซินิก

ในสภาวะปกติ ศึกษารูปแบบของกระแสไฟฟ้าไอออนจากรากทานตะวันจำนวน 49 ราก พบรูปแบบของกระแสไฟฟ้าไอออนมีลักษณะต่างๆ กัน ซึ่งอาจจะเกิดจากความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยของอายุราก ความยาวรากหรือการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันของแต่ละราก (Weisenseel, 1979; Miller, 1986; Miller, 1989; จุฬาภรณ์, 2544) สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบหลักคือ รูปแบบที่ 1 กระแสไฟฟ้าไอออนมีทิศเข้าสู่รากบริเวณหมวกรากและอาณาเขตเซลล์แบ่งตัว และมีทิศออกจากรากบริเวณอาณาเขตเซลล์ยืดตัวและอาณาเขตขนราก (พบ 18 ราก) รูปแบบที่ 2 กระแสไฟฟ้าไอออนมีทิศเข้าสู่รากบริเวณอาณาเขตเซลล์แบ่งตัว และมีทิศออกจากรากบริเวณอาณาเขตเซลล์ยืดตัวและอาณาเขตขนรากเพียงด้านเดียว ส่วนอีกด้านหนึ่งกระแสไฟฟ้ามีทิศออกจากรากบริเวณอาณาเขตเซลล์ยืดตัวและเข้าสู่รากบริเวณอาณาเขตขนราก (พบ 18 ราก) รูปแบบที่ 3 กระแสไฟฟ้าไอออนมีทิศเข้าสู่รากบริเวณหมวกรากและอาณาเขตเซลล์แบ่งตัวและออกจากรากที่บริเวณอาณาเขตเซลล์ยืดตัวและเข้าสู่รากอีกครั้งในอาณาเขตขนราก (พบ 13 ราก) ทั้งสามรูปแบบนี้เหมือนกับที่จุฬาภรณ์ (2544) พบในรากทานตะวันสายพันธุ์ลูกผสมคาร์กิลล์ 3322

ขนาดของกระแสไฟฟ้าไอออนของทั้งสามรูปแบบมีทิศเข้าสู่รากเฉลี่ยสูงสุดบริเวณอาณาเขตเซลล์แบ่งตัวด้วยขนาด 3.5±2.1 ไมโครแอมแปร์ต่อตารางเซ็นติเมตร มีอัตรายืดเฉลี่ย 8.9±2.6 ไมโครเมตรต่อนาที และพบว่ารากทานตะวันที่มีความยาวรากมากกว่ามีแนวโน้มที่จะมีอัตรายืดมากกว่าด้วย แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรายืดกับขนาดกระแสไฟฟ้าไอออนสูงสุด

สำหรับการศึกษาผลของเวลาที่มีต่อรูปแบบของกระแสไฟฟ้าไอออนเป็นเวลา 1-4 ชั่วโมง พบว่าในสารละลาย APW pH 6.00 กระแสไฟฟ้าไอออนมีขนาดลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของทิศของกระแสไฟฟ้า อย่างไรก็ตามไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างอัตรายืดกับกระแสไฟฟ้า ในสารละลาย APW pH 4.50 กระแสไฟฟ้าไอออนมีขนาดลดลงพร้อมกับการ

เปลี่ยนทิศของกระแสไฟฟ้าจากเข้าเป็นออกในบริเวณอาณาเขตเซลล์แบ่งตัว อาณาเขตเซลล์ยืดตัว และอาณาเขตขนราก ในขณะเดียวกันอัตรายืดของรากลดลงอย่างชัดเจนทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากความเป็นพิษของสารละลายที่มี pH ต่ำๆ (Arduini *et al.*, 1998)

เมื่อรากทานตะวันได้รับสารพิษ ในรูปของอลูมิเนียม (Al^{3+}) ที่มีความเข้มข้น 1 และ 10 ไมโครโมลาร์ สารดังกล่าวมีผลน้อยมากต่อรูปแบบของกระแสไฟฟ้าไอออนและอัตรายืดของราก แต่เมื่อให้อลูมิเนียมความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ พบว่ากระแสไฟฟ้าบริเวณอาณาเขตเซลล์แบ่งตัวมีขนาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกับเมื่อพิจารณาทั้งราก และการเจริญเติบโตของรากทานตะวันถูกยับยั้งด้วยเช่นกัน ซึ่งคาดว่าการลดลงของอัตรายืดของรากทานตะวันเป็นผลมาจากการลดลงของกระแสไฟฟ้าทิศเข้าบริเวณอาณาเขตเซลล์แบ่งตัว โดย Al^{3+} จะไปจับกับประจุลบของฟอสโฟลิพิดไบเลเยอร์ (phospholipid bilayers) และ/หรือกรดอะมิโนของโปรตีนในพลาสมาเมมเบรน ทำให้ผิวของเมมเบรนมีประจุเป็นบวกมีผลยับยั้งการเคลื่อนที่ของประจุบวกเข้าสู่เซลล์ (Nichol *et al.*,1993) นอกจากนี้ค่า pH ที่ต่ำ (pH 4.50) อาจจะมีส่วนช่วยในการยับยั้งด้วย

ในทำนองเดียวกันรากทานตะวันที่อยู่ในสารละลายที่มีแคดเมียม 100 ไมโครโมลาร์ มีการไหลเข้าของกระแสไฟฟ้าไอออนบริเวณอาณาเขตเซลล์ยืดตัวลดลง และเห็นผลชัดเจนขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบผลดังกล่าวในแคดเมียม 1 ไมโครโมลาร์ นอกจากนี้แคดเมียม 100 ไมโครโมลาร์ยังมีผลยับยั้งการยืดของรากอย่างชัดเจน โดยใน pH 6.00 อัตรายืดที่ลดลงมีแนวโน้มเหมือนกับกระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่อาณาเขตเซลล์แบ่งตัวที่ลดลง การลดลงของอัตรายืดและกระแสไฟฟ้านี้น่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องกันโดยตรง ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากแคดเมียมเข้าไปทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของเซลล์ (Vassilev *et al.*, 1998) และสะสมอยู่ในไซโตพลาสซึม (Chakavarty and Srivastava, 1997) ทำให้ศักย์เมมเบรนมีค่าเป็นลบมากขึ้น (Nocito, 2002) ส่งผลให้การเคลื่อนที่เข้า-ออกของไอออนชนิดต่างๆ เปลี่ยนไป

เมื่อรากทานตะวันได้รับอาร์ซินิก 10 ไมโครโมลาร์ มีผลทำให้กระแสไฟฟ้าไอออนมีขนาดลดลง ซึ่งแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญบริเวณอาณาเขตเซลล์ยืดตัวและอาณาเขตขนราก โดยแสดงผลชัดเจนขึ้นตามระยะเวลาที่ได้รับอาร์ซินิก แต่ไม่แสดงผลการลดลงของอัตรายืดซึ่งคาดว่าผลการยับยั้งการเจริญเติบโตโดยอาร์ซินิกจะเป็นไปอย่างช้าๆ เช่นเดียวกับที่ Carbonell และคณะ (1997) พบว่าพืชตระกูลถั่ว (*phasedus vulgaris* L.) จะถูกยับยั้งการเจริญเติบโตและตายภายใน 36 วัน หลังจากได้รับอาร์ซินิก 100 ไมโครโมลาร์

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าอลูมิเนียม แคดเมียม และอาร์ซินิกเป็นพิษต่อทานตะวัน นอกจากสารพิษดังกล่าวแล้ว pH ที่เป็นกรด (pH 4.50) ยังเป็นพิษต่อรากทานตะวันด้วย โดยทำให้กระแส

ไฟฟ้าไอออนสุทธิรอบๆ รากทานตะวันมีขนาดลดลงและลดลงตามเวลา และมีส่วนทำให้การเจริญเติบโตของรากทานตะวันลดลงด้วย สิ่งที่น่าจะศึกษาต่อไปคือสารพิษเหล่านี้มีผลต่อการเคลื่อนที่เข้า-ออกของไอออนชนิดใดบ้าง การศึกษาดังกล่าวน่าจะทำได้โดยใช้ระบบที่ใช้ไอออนซีเล็กทีฟอิเล็กโทรด (Meyer and Weisenseel, 1997) ผลจากการศึกษาดังกล่าวผนวกกับผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าไอออนเหล่านี้และความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้น